



CAMPURAN STONE MASTIC ASPHALT DAN PENGARUH KANDUNGAN AGREGAT HALUSNYA

Furqon Affandi

RINGKASAN.

Penggunaan campuran beraspal jenis Stone Mastic Asphalt (SMA) telah berkembang dengan cepat sejak tahun 90 dan banyak dipergunakan di Jerman, Amerika, Canada, Inggris, Sehubungan dengan kemampuannya untuk menahan air, retak serta mempunyai keawetan yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh prosentase agregat kasar dalam komposisi SMA yang membentuk rangka dan memberikan kontak antar agregat kasar serta dipengaruhi oleh jumlah agregat halus yang ada pada campurannya.

Jumlah agregat halus pada campuran yang masih memberikan kontak antar agregat kasar bisa ditentukan dengan menggunakan indikator Void in Mineral Aggregate (VMA) dan Void in Coarse Aggregate (VCA) serta metoda "fry rodded" sebagai mana terdapat pada ASTM C 29.

Hasil percobaan yang telah dilakukan pada gradasi tertentu memberikan batasan jumlah maksimum dari agregat halus yang masih memberikan kontak antar agregat kasar, yaitu agregat halus sebesar 30%, lebih dari itu SMA tidak bisa terwujud.

Diuraikan pula pengaruh rongga dalam campuran terhadap sensitivitas dan stabilitas dimana stabilitas campuran akan menurun sesuai dengan penurunan jumlah agregat halus dalam campuran.

SUMMARY

Stone mastic asphalt has been wide by used since nineties in German, America, Canada, UK, because of the capacity performance of water resistance, crack resistance and high durability. These performance held because of the amount of coarse aggregate (%) in SMA composition build a frame structure (skeleton) and contact among the aggregate and also affected by the fine aggregate in the mixture.

The Composition of "effective fine agregat" in the mixture can be difined from the indicator of VMA and VCA with fry rodded method (ASTM C29). From the experience, particular gradation give $n = 30\%$ maximum limitation of a fine aggregate that still give a contact between coarse aggregate. SMA can not be made if $n > 30\%$. In this paper can also be read how the void in the mixture can be affect sensitivity and stability.

I. PENDAHULUAN

Campuran beraspal yang telah lama dikenal di Indonesia diantaranya ialah campuran aspal beton (Asphalt Concrete) dan Hot Roll Sheet (HRS). Selain itu masih banyak campuran lainnya, dan salah satunya ialah campuran beraspal yang disebut dengan Stone Mastic Asphalt (SMA).

Dalam perencanaan campuran beraspal pada umumnya, campuran tersebut dituntut untuk mempunyai sifat awet, kokoh, lentur dan tahan terhadap beban berulang di mana hal tersebut di atas sangat dipengaruhi antara lain oleh kadar aspal dalam campuran, rongga udara, jenis agregat, gradasi serta sifat aspalnya sendiri.

SMA ini termasuk jenis campuran dengan gradasi senjang (gap graded) dimana prosentase agregat kasarnya cukup tinggi sekitar 70 sampai 80 %, sehingga diharapkan kontak antar agregat kasar bisa

membentuk kerangka (skeleton) yang bisa mendukung kinerja perkerasan tersebut dengan baik. Perbedaan kontak antar agregat pada SMA dan Aspal beton lainnya dapat dilihat pada Gambar 1.1.

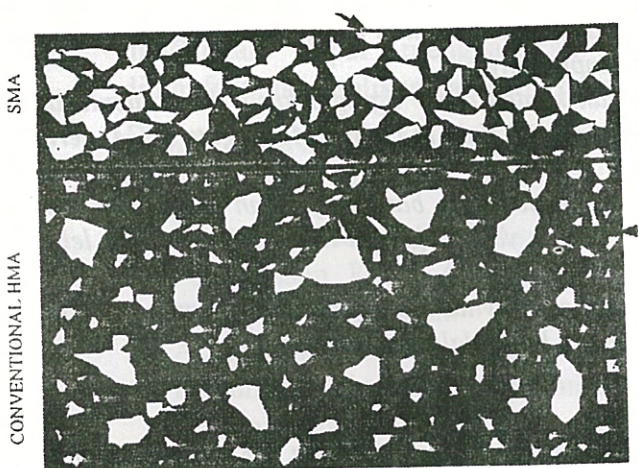
Jenis campuran ini diperkenalkan oleh Jerman sekitar 30 tahunan yang lalu, namun pada saat itu perkembangannya kurang mendapat perhatian dan sekarang pada tahun 90 an, banyak negara selain Jerman yang mengembangkan dan menggunakan jenis campuran beraspal ini, antara lain di beberapa negara bagian Amerika, Eropah, Canada, dan Inggris.

Salah satu kelebihan dari campuran ini, ialah mempunyai ketahanan terhadap alur yang lebih baik, disebabkan oleh saling menguncinya agregat kasar, dengan kadar aspal sekitar 6 sampai 7 %. Disebabkan oleh prosentase agregat kasar yang cukup tinggi, maka aspal dalam campuran bisa mudah "mengalir" (drain down) sewaktu dalam pencampuran, pengangkutan dan waktu pelaksanaan, sehingga diperlukan teknik khusus untuk mengatasi masalah ini, yaitu dengan menambahkan fiber pada campuran atau dengan menggunakan aspal yang telah dimodifikasi, sehingga aspal tidak mudah mengalir dari campuran. Fiber yang dipergunakan pada campuran beraspal jenis SMA ini, hanya sebagai bahan stabilisasi saja, dan bisa mempertahankan viskositas campuran yang

tinggi tetapi tidak merubah sifat aspalnya sendiri, sehingga kadar aspal yang dipakai dapat efektif mengikat dan menyelimuti agregat, dan akan memberikan lapisan film aspal yang cukup tinggi, yang selanjutnya bisa memperlambat pengaruh oksidasi dan masuknya air dan pada akhirnya memperpanjang keawetan jalan tersebut. Jenis campuran ini bisa dipergunakan untuk lapisan permukaan, pada berbagai jenis jalan raya dari lalu lintas padat sampai lalu lintas berat, sesuai dengan ukuran maksimum agregat yang dipergunakan.

Gambar 1.1

PENAMPANG YANG MEMPERLIHATKAN PERBEDAAN KONTAK ANTAR AGREGAT ANTARA SMA DAN ASPAL BETON LAINNYA



II. PERBANDINGAN AGREGAT DAN JENIS FIBER UNTUK SMA

2.1 Perbandingan agregat dalam campuran

Sebagai mana telah disinggung di muka tadi, bahwa SMA didasarkan pada saling menguncinya agregat kasar yang umumnya berukuran seragam, sesuai dengan tebal lapisan yang akan dihampar. Agregat kasar ini membentuk semacam "kerangka" dan diantara agregat kasar tersebut terbentuk rongga yang cukup besar.

Rongga tersebut selanjutnya diisi oleh mortar yang terdiri dari agregat halus, bahan pengisi (filler), aspal dan bahan stabilisasi aspal seperti fiber tadi. Campuran ini direncanakan sedemikian rupa sehingga mempunyai rongga dalam campuran (Voids in Mixs ~ VIM) sekitar 3 - 5 %. Dengan demikian berdasarkan struktur campuran tersebut, beban lalu lintas akan disalurkan melalui saling menguncinya antar agregat kasar, sedangkan mortar berfungsi untuk mengikat "kerangka agregat" dan membuat lapisan tahan terhadap air.

Ukuran maksimum agregat serta gradasi dari campuran SMA ini, bervariasi antara satu negara dengan negara lainya tetapi pada dasarnya adalah sama, yaitu bergradasi senjang, yang mempunyai prosentase agregat kasar yang cukup tinggi. Berikut ini disajikan salah satu gradasi SMA yang dipergunakan di Inggris dan Jerman untuk lalu lintas berat, sebagai mana terlihat pada Tabel 2.1

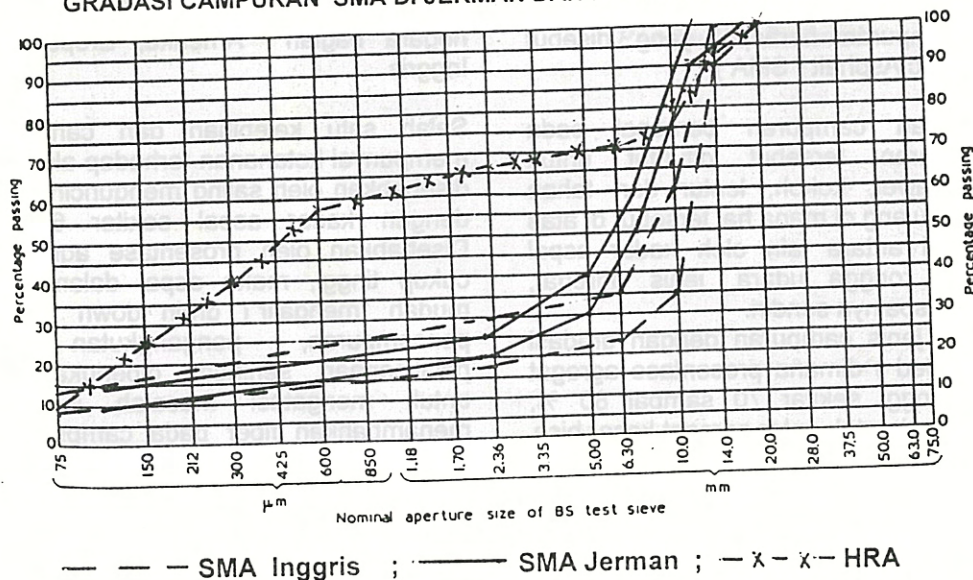
Tabel 2.1
SALAH SATU GRADASI SMA DI NEGARA JERMAN DAN INGGRIS

Jerman maks nom size 11mm		Inggris maks nom size 12mm	
Saringan (mm)	% lolos	Saringan (mm)	% lolos
16	100	20	100
11	90 -100	14	90 - 100
8	50 -60	10	35 - 60
5	30 -40	6,3	23 - 35
2	20 -25	2,6	18 - 30
0,09	9-13	75 µm	8 - 13

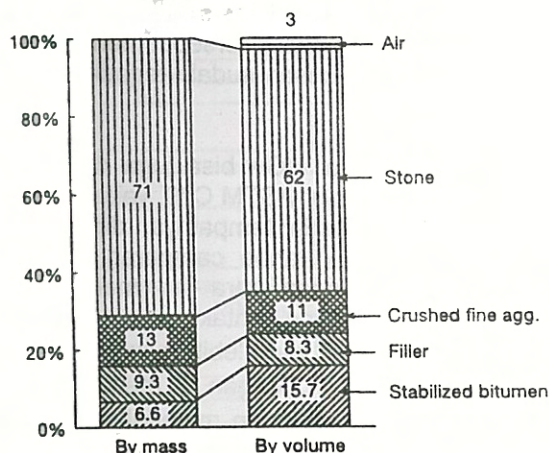
sedangkan gambar gradasi dari campuran tersebut bisa dilihat pada Gambar 2.1 serta perbandinganya dengan gradasi Hot Roll.

Sebagai perbandingan umum, komposisi campuran dari SMA baik secara berat maupun secara volume dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Gambar 2.1
GRADASI CAMPURAN SMA DI JERMAN DAN INGGRIS SERTA HOT ROLL



Gambar 2.2
PERBANDINGAN BERAT DAN VOLUME
DARI SMA 14 mm.



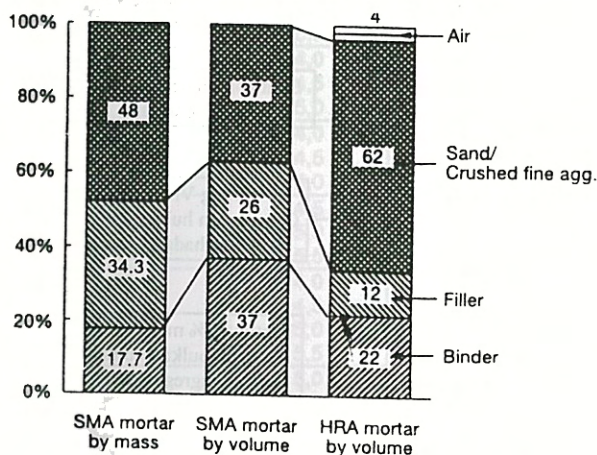
Dari Gambar tersebut, terlihat bahwa agregat kasar sekitar 70 % dalam perbandingan berat, yang berarti kurang sekitar 60 % pada perbandingan volume. Hal ini meninggalkan rongga sekitar 40% yang selanjutnya diisi mortar sekitar 35 % dan sisanya sekitar 5% untuk rongga dalam campuran. Rongga dalam campuran ini, dibuat sedemikian rupa sehingga sehingga tidak terlalu besar yang mana akan mengurangi keawetan dari campuran.

Perbandingan berat maupun volume pada mortarnya dapat dilihat pada Gambar 2.3. Terlihat pada gambar tersebut, perbandingan volume antar mortar SMA dan HRA dimana pada SMA agregat halus sekitar 37%, bahan pengisi 26% , dan 22 % aspal, sedangkan pada HRA umumnya agregat halus 62% , bahan pengisi 12% aspal sekitar 22% dan rongga udara 4%.

2.2 Fiber yang umum dipergunakan pada campuran SMA

Ada beberapa jenis fiber yang umum dipasaran, diantaranya ialah Selulosa, Mineral, Galss, dan Polyester dimana sifat dan ukuran dasarnya adalah sebagai berikut :

Gambar 2.3
PERBANDINGAN BERAT DAN VOLUME ANTARA
MORTAR SMA DAN HRA

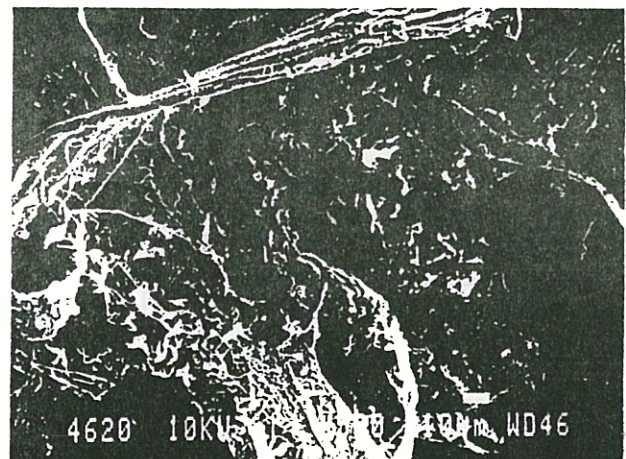


Jenis Fiber. Kualitas.

- Selulosa..... Dari bahan dasar sejenis cemara, panjang maksimum 5 mm, dan rata rata 1,1 mm.
- Mineral..... Dari Lime stone dan Diabase, panjang rata-rata 0,2 - 2 mm.
- Galss Dari bahan glas C , panjang pada umumnya 1 mm atau antara 2 - 5 mm.
- Polyester..... Dari bahan syntetis, panjang rata rata 6 mm.

Struktur dan luas permukaan fiber tergantung pada jenis fibernya sendiri. Fiber jenis Selulosa mempunyai bentuk pita (ribbon type) porus dan penampangnya datar. Bagian seratnya mudah patah dan sobek, sehingga akan menambah luas permukaan sekitar 2,6 m²/ gr sampai 1,5 m²/gr, disamping itu fiber ini bisa membentuk 3 arah dalam aspal, sehingga bisa menahan jumlah aspal yang lebih banyak dalam campuran. Gambar mikrostruktur dari fiber jenis mineral dan glass berbeda dengan Selulosa, dimana penampangnya hampir bulat, permukaannya halus serta luas permukaannya kecil dibandingkan dengan jenis Selulosa, yaitu hanya 0,1 m²/gr untuk jenis mineral dan 0,2 m²/gr untuk jenis glass.

Gambar 2.4
MIKROSTRUKTUR FIBER SELULOSA



III. KONTAK ANTAR AGREGAT KASAR DALAM SMA DAN PENGARUH MINERAL HALUS PADA CAMPURAN.

Kontak antara agregat kasar dalam campuran dengan jumlah prosentase agregat kasar yang cukup banyak seperti halnya dalam SMA ini, akan memberikan sumbangan yang besar terjadinya "kerangka" yang akan memberikan ketahanan campuran terhadap terjadinya alur. Karena itu perlu sekali evaluasi terjadinya kontak antara agregat kasar dalam campuran yang tentunya merupakan

fungsi dari ukuran dan jumlah agregat lainnya terutama agregat yang lolos saringan 4,75 mm.

Untuk mengetahui hal ini, telah dibuat beberapa campuran dengan gradasi yang berbeda, terutama perbedaan antara jumlah prosentase agregat halus yang lolos saringan 4,75 mm, dimana jumlah prosentase agregat yang lolos saringan 4,75 mm dibuat bervariasi mulai dari 50%, sampai dengan 15%. Berikut ini diperlihatkan tabel gradasi dengan prosentase material yang lolos saringan 4,75 mm yang bervariasi, sebagai mana terlihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1
GRADASI DENGAN VARIASI PROSENTASE MATERIAL LOLOS 4,75 mm.

Ukuran Saringan mm inchi		Persen lolos					
		A	B	C	D	E	F
12,5	1/2	100	100	100	100	100	100
9,5	3/8	75	70	65	63	60	58
4,75	No 4	50	40	30	25	20	15
2,36	No 8	40	32	25	21	18	15
1,18	No 16	34	28	22	19	16	15
0,60	No 30	30	25	20	18	15	14
0,30	No 50	22	19	17	16	15	14
150µm	No 100	15	15	14	14	13	12
75µm	No 200	10	10	10	10	10	10

Masing masing gradasi diatas, dibuat campurannya dengan menggunakan kadar aspal yang bervariasi dengan kenaikan sebesar 0,5% percampuran serta penambahan serat selulosa sebesar 0,3% terhadap berat campuran, dan dipadatkan dengan menggunakan pemadat Marshall sebanyak 2x 50 tumbukan.

Kadar aspal optimum selanjutnya ditentukan berdasarkan rongga dalam campuran (VIM) sebesar 3%. Rongga dalam campuran atau VMA dan VCA atau rongga dalam agregat kasar dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$VMA = 100 - \frac{V_{ag}}{VT}(100) \dots\dots\dots (1)$$

$$VCA = 100 - \frac{V_{ca}}{VT}(100) \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- V_{ag} = volume agregat yang menggunakan bulk specific gravity
- V_T = total volume dari campuran agregat
- V_{ca} = Volume agregat kasar , yang dihitung dengan menggunakan bulk specific gravity.

Nilai VCA dan VMA dari masing masing gradasi pada kadar aspal optimumnya, digambarkan terhadap jumlah prosentase agregat yang lolos saringan

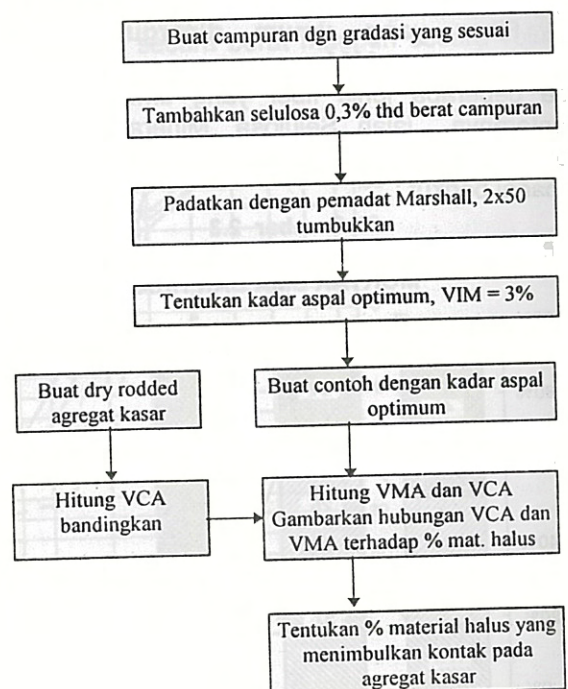
4,75 mm. Titik dimana pada kurva VMA terhadap pengurangan prosentase material lolos saringan 4,75 mm mulai naik, atau dimana titik pada kurva VCA versus pengurangan material lolos saringan 4,75 mm mulai mendatar, maka keadaan tersebut menunjukkan kontak antara agregat kasar sudah terjadi secara optimum.

Selain cara diatas, besar VCA bisa juga dilakukan dengan mengikuti prosedur ASTM C29, yaitu agregat kasar yang diletakan pada tempatnya, dipadatkan dalam keadaan kering (tanpa campuran aspal). VCA yang didapat dengan cara ini, menyatakan keadaan agregat yang saling kontak.

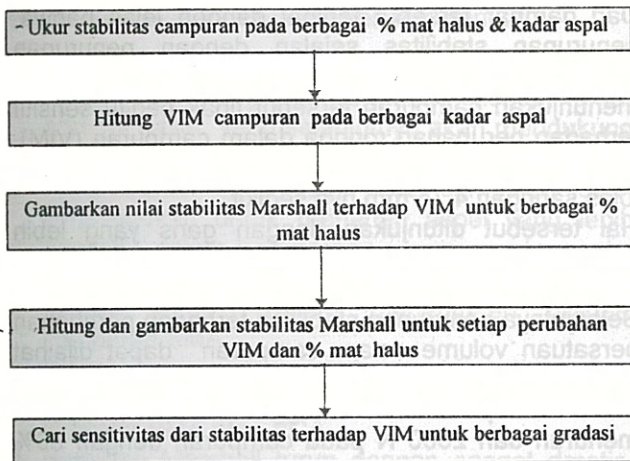
Untuk mendapatkan hasil yang lebih mewakili, maka nilai yang didapat dengan menggunakan pengurangan prosentase ukuran material yang lolos saringan 4,75 mm dibandingkan dengan nilai yang didapat dengan menggunakan prosedur yang menurut metoda ASTM C29.

Langkah untuk mendapatkan sensitivitas akibat pengurangan material yang lolos saringan 4,75 mm terhadap stabilitas adalah sebagai mana terlihat pada bagan alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan 3.2. Selain itu, bisa dilihat pula pengaruh pengurangan prosentase material yang lolos saringan 4,75 mm terhadap stabilitas, walaupun dalam hal ini stabilitas dari hasil pengujian dengan cara Marshall pada campuran ini bisa memberikan pengertian yang kurang tepat.

Gambar 3.1
BAGAN ALIR UNTUK MENENTUKAN JUMLAH PROSENTASE AGREGAT HALUS YANG MASIH MEMBERIKAN KONTAK PADA AGREGAT KASAR



Gambar 3.2
BAGAN ALIR PENENTUAN SENSITIVITAS
CAMPURAN TERHADAP STABILITAS



IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian rongga

Hasil pengujian VMA dan VCA untuk berbagai campuran dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan nilai stabilitas campuran dapat dilihat pada Tabel 4.2, sedangkan gambar dari variasi prosentase material lolos saringan 4,75 mm, terhadap nilai VCA dan VMA dapat dilihat pada Gambar 4.1

Tabel 4.1.
HASIL PENGUJIAN YANG MENUNJUKAN NILAI
RONGGA DAN STABILITAS CAMPURAN

Persen lolos 4,75 mm	kadar aspal	VIM	VMA	VCA
50	5,1	2,9	13,8	56,9
40	5,2	2,9	14,0	48,4
30	5,4	2,8	14,4	40,1
25	5,9	3,2	15,6	36,7
20	6,6	2,9	18,1	34,4
15	8,0	2,9	19,5	31,5
dry rodded	-	-	-	37,6

Tabel 4.2.
HASIL PENGUJIAN STABILITAS MARSHALL

Persen lolos 4,75 mm	Kadar aspal (%)	Stabilitas Marshall (kg)
50	4,0	1590
	4,5	1414
	5,0	1173
	5,5	934
40	4,0	-
	4,5	1258
	5,0	1160
30	4,0	1250
	4,5	940
	5,0	882
25	4,5	1057
	5,0	980
	5,5	858
20	4,0	935
	4,5	912
	5,0	865
	5,5	826
15	5,0	850
	5,5	845
	6,0	783

Selanjutnya nilai VCA yang didapat dengan menggunakan metoda ASTM C 29 digambarkan pada Gambar tersebut.

Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa kurva VCA mulai membelok pada prosentase material lolos saringan 4,75 mm di nilai 30%, dan selanjutnya kurva VCA yang didapat dari pengurangan material yang lolos saringan 4,75 mm dan dari percobaan "dry rodded", berpotongan pada nilai 26 %. Dari hal tersebut menunjukkan bahwa kontak antar agregat kasar akan terjadi pada % material yang lolos saringan 4,75 mm antara 26 sampai 30 %.

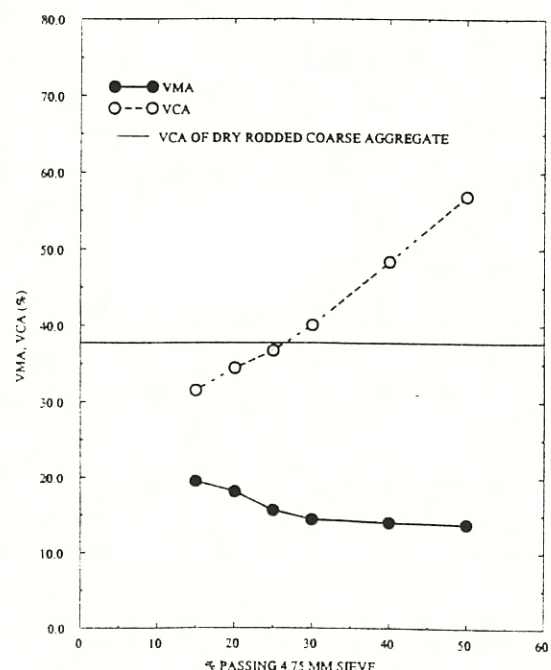
Pada kurva VMA, nilai VMA akan mulai menaik ketika prosentase agregat lolos saringan 4,75 mm menurun, dimana kontak antara agregat kasar sudah terjadi. Ketika kontak antara agregat kasar mulai terbentuk, pengurangan jumlah material yang lolos saringan 4,75 mm tidak menghasilkan penurunan yang sama pada VCA

sehingga VMA akan mulai menaik. Berdasarkan hal ini, pengurangan agregat halus tidak akan menyumbangkan pemadatan selanjutnya pada agregat kasar pada campuran, dan hal ini selanjutnya akan menaikkan nilai VMA.

VCA dari pemadatan kering (dry rodded), hampir mendekati nilai VCA untuk campuran dengan prosentase agregat yang lolos saringan 4,75 mm sebanyak 30%.

Berdasarkan hal diatas, maka kontak antar agregat kasar akan timbul pada saat prosentase material yang lolos saringan 4,75 mm lebih kecil dari 30 %, atau dengan kata lain kontak antar agregat kasar tidak akan terjadi bila jumlah material yang lolos saringan 4,75 mm lebih besar dari 30 %. Dengan demikian metoda "dry rodded " sebagai mana diuraikan pada ASTM C29 merupakan metoda yang baik untuk menentukan kepadatan agregat kasar yang diperlukan agar terjadi kontak antar agregat kasar dalam campuran.

Gambar 4.1
VARIASI RONGGA TERHADAP PROSENTASE
MATERIAL LOLOS # 4,75mm



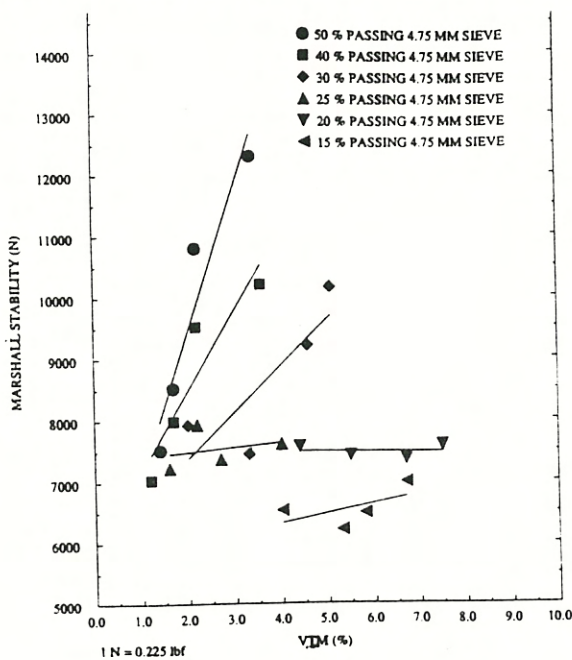
4.2 Pengaruh Dari Material Halus (<4,75 mm) Terhadap Stabilitas Campuran

Ketika kontak antar agregat secara bertahap dicapai pada campuran, sejalan dengan menurunnya prosentase material halus yang lolos saringan 4,75 mm maka campuran tidak begitu sensitif terhadap perubahan rongga dalam campuran (VIM).

Jadi pada keadaan telah terjadi kontak antar agregat kasar, dimana jumlah material halus sedikit, campuran akan berperilaku seperti "bahan yang mudah mengalirkan air dan mempunyai pengaruh tekanan pori yang lebih sedikit", dan hal ini menyebabkan campuran tidak begitu sensitif terhadap perubahan kadar aspal.

Dalam hal ini, stabilitas Marshall dicoba dikaitkan dengan campuran pada berbagai kadar agregat yang lolos saringan 4,75 mm dan meninjau pengaruh sensitifitasnya. Stabilitas Marshall dipilih karena pengujianya relatif sederhana. Nilai hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.2, sedangkan gambarnya dapat dilihat pada Gambar 4.2

Gambar 4.2
HUBUNGAN STABILITAS MARSHALL TERHADAP RONGGA UNTUK BERBAGAI GRADASI CAMPURAN



4.3 Pengaruh rongga dalam campuran terhadap stabilitas campuran.

Dari berbagai campuran yang telah dibuat, terlihat bahwa rongga dalam campuran memberikan pengaruh yang berbeda terhadap stabilitas, tergantung pada prosentase material halus yang lolos saringan 4,75 mm.

Untuk campuran dengan prosentase material halus 50%, 40%, dan 30%, trend dari stabilitas menurun dengan drastis sejalan dengan menurunnya rongga dalam campuran tersebut, tetapi pada campuran dengan prosentase material yang lolos saringan 4,75 mm antara 25% dan 20% stabilitas campuran relatif konstant walaupun rongga dalam campuran menurun.

Hubungan antara stabilitas dan rongga dalam campuran (VIM) untuk berbagai campuran tersebut dapat dilihat kembali pada Gambar 4.2.

Dari gambar tersebut terlihat dengan jelas bahwa, penurunan stabilitas sejalan dengan penurunan prosentase material lolos saringan 4,75 mm dan juga menunjukkan campuran tersebut tidak begitu sensitif terhadap perubahan rongga dalam campuran (VIM), pada campuran yang mengandung material yang lolos saringan 4,75 mm nya sedikit.

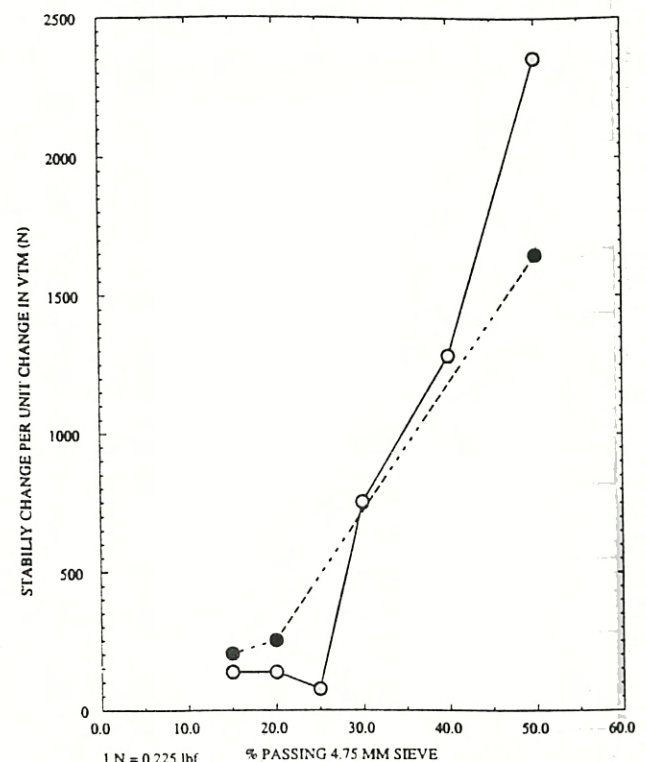
Hal tersebut ditunjukkan dengan garis yang lebih mendatar pada campuran dengan prosentase material lolos 4,75 mm yang lebih sedikit.

Selanjutnya penurunan stabilitas terhadap perubahan persatuan volume dalam campuran dapat dilaihat pada Gambar 4.3, dimana perubahan stabilitas persatuan perubahan rongga dalam campuran menurun dari 2300 N pada campuran dengan 50% material yang lolos saringan 4,75 mm sampai 75 N pada campuran dengan 25% material yang lolos saringan 4,75 mm.

Tetapi pada campuran dengan kandungan material yang lolos saringan 4,75 mm lebih kecil dari 25 %, yaitu 20% dan 15%, perubahan itu naik sedikit dan masih tetap sekitar 150 N per perubahan satuan rongga dalam campuran.

Data yang disajikan menyatakan pula bahwa prosentase material halus, yang lolos saringan 4,75 %, yaitu dimana terjadinya kontak antar agregat kasar pada campuran SMA adalah merupakan satu titik pemisah dari campuran yang sensitif dan tidak sensitif terhadap perubahan rongga dalam campuran.

Gambar 4.3
PERUBAHAN STABILITAS MARSHALL PER SATUAN RONGGA (VIM) UNTUK BERBAGAI CAMPURAN



V. KESIMPULAN

Dari apa yang disajikan pada tulisan diatas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Prosentase agregat halus dalam campuran SMA sangat mempengaruhi terjadinya kontak antar agregat kasar, yang selanjutnya akan mendukung kinerja dari campuran ini.
2. Penambahan serat fiber pada campuran SMA dimaksudkan untuk menahan aspal yang lebih banyak dalam campuran, namun kerangka agregat kasar yang terbentuk merupakan hal yang sangat penting dalam menentukan gradasi campuran SMA.
3. Kontak antara agregat kasar bisa ditentukan dengan menggunakan metoda yang mempunyai indikator VMA atau VCA.
4. Stabilitas Marshall turun dengan sangat drastis, sebagai akibat dari penurunan rongga dalam campuran terutama pada campuran yang mengandung material halus diatas dan pada 30%. Tetapi pada campuran dengan material halus dibawah 30% stabilitas campuran tidak begitu terpengaruh akibat penurunan rongga dalam campuran..
5. Perubahan stabilitas per satuan perubahan rongga dalam campuran, tidak begitu sensitif pada campuran dengan prosentase material halus yang kecil.
6. Metoda dry rodded, sesuai dengan acuan ASTM C29 bisa digunakan untuk mengukur kepadatan agregat kasar dalam campuran.

7. Nilai prosentase agregat halus dalam campuran yang menunjukkan timbulnya kontak antar agregat kasar, juga sekaligus memberikan batas dari campuran yang sensitif dan tidak sensitif terhadap stabilitas akibat perubahan rongga dalam campuran..

DAFTAR PUSTAKA

1. Asphalt Institute MS-2, Sixth Edition; Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types.
2. Brown E.R and Rajib, Evaluation of Stone on Stone Contact in Stone Mastic Asphalt; Transport Research Record 1492.
3. Cliff Nicholls; Asphalt Surfacing, A Guide to Asphalt Surfacing and Treatments used for the Surface Course of Road Pavements; Transport Research Laboratory
4. Hans Haussler; Viatop & Arbocel fiber - Stabiliser for Stone Mastic Asphalt; JRS
5. Kevin D Stuart and Walaa S.M; Effect of Coarse Aggregate Content on Stone Matrix Asphalt Durability and Low Temperature Cracking. Transport Research Record 1442.

Penulis :

Ir. Furqon Affandi, M.Sc. Peneliti Muda Bidang Perkerasan Jalan, Pusat Litbang Jalan