

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur merupakan perkerasan jalan yang umum dipakai di Indonesia. Konstruksi perkerasan lentur disebut “lentur” karena konstruksi ini mengizinkan terjadinya deformasi vertikal akibat beban lalu lintas yang terjadi. Perkerasan lentur biasanya terdiri dari 3 lapis material konstruksi jalan diatas tanah dasar, yaitu lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas, dan lapis permukaan. (*Silvia Sukirman, 2003*)

Lapis permukaan merupakan lapisan yang letaknya berada paling atas dari sebuah perkerasan lentur dan merupakan lapisan yang berhubungan langsung dengan kendaraan sehingga lapisan ini rentan terhadap kerusakan akibat aus. Oleh karena itu perencanaan dan pembuatan lapisan ini harus dibuat dengan tepat agar mampu memberikan pelayanan yang baik kepada sarana transportasi yang melewati jalan tersebut. (*Silvia Sukirman, 2003*)

B. Lapis Aspal Beton (LASTON)

Lapis aspal beton adalah salah satu jenis campuran beraspal yang digunakan sebagai lapis permukaan pada perkerasan lentur. Lapisan penutup konstruksi jalan ini mempunyai nilai struktural yang pertama kali dikembangkan di

Amerika oleh *Asphalt Institute* dengan nama AC (*Asphalt Concrete*), Campuran beraspal ini terdiri dari dari agregat menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Sedangkan yang dimaksud gradasi menerus adalah komposisi yang menunjukkan pembagian butiran yang merata mulai dari ukuran yang terbesar sampai ukuran yang terkecil. Ciri lainnya adalah memiliki sedikit rongga dalam struktur agregatnya, saling mengunci satu dengan yang lainnya, oleh karena itu aspal beton memiliki sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku. (*Menurut Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum 2010*)

Laston terdiri dari tiga macam campuran, yaitu Laston Lapis Aus AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Coarse*), Laston Lapis Pengikat AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Coarse*) dan Laston Lapis Pondasi AC-Base (*Asphalt Concrete Base*). (*Menurut spesifikasi campuran beraspal Kementerian Pekerjaan Umum 2010*).

Ketentuan sifat - sifat campuran beraspal dikeluarkan oleh Dinas Permukiman dan Prasarana Wilayah bersama-sama dengan Bina Marga, ketentuan sifat-sifat campuran beraspal jenis laston yang juga menjadi acuan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1. Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Beraspal AC

Sifat-sifat Campuran		AC					
		AC-WC		AC-BC		AC-Base	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar Aspal Efektif (%)	Min.	5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan Aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah Tumbukan per Bidang		75				112	
Rongga dalam Campuran (%)	Min.	3,5					
	Maks.	5,0					
Rongga dalam Agregat (%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800	
Pelelehan (mm)	Min.	3,0				4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250				300	
Stabilitas Marshall Sisa setelah Perendaman 24 jam , 60 C (%)	Min.	90					
Rongga dalam Campuran pada Kepadatan Membal (%)	Min.	2,5					

Sumber: Direktorat jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.3.(1c)

C. Agregat

Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam prasarana transportasi, khususnya pada konstruksi perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan ditentukan sebagian besar oleh karakteristik agregat yang digunakan. Dengan pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi syarat akan sangat menentukan keberhasilan pembangunan jalan. Berdasarkan ukuran butirnya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*).

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material yang tertahan pada saringan no.8 (2,36 mm).

Agregat kasar untuk campuran beraspal harus terdiri dari batu pecah yang bersih, kuat, kering, awet, bersudut, bebas dari kotoran lempung dan

material asing lainnya serat mempunyai tekstur permukaan yang kasar dan tidak bulat agar dapat memberikan sifat *interlocking* yang baik dengan material yang lain. Berikut ini adalah Tabel 2.2 yang berisi tentang ketentuan untuk agregat kasar.

Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3407:2008	Maks.12 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC bergradasi kasar	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 03-2439-1991	Min. 95 %
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)		DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No.621	95/90 1
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)			80/75 1
Partikel Pipih dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1 :5	Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No. 200		SNI 03-4142-1996	Maks. 1 %

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.2.(1a)

2. Agregat Halus

Agregat halus merupakan hasil desintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Agregat halus adalah material yang lolos saringan no.8 (2,36mm). Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan penguncian (*interlocking*) Bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya.

Berikut ini adalah Tabel 2.3 yang berisi tentang ketentuan mengenai agregat halus.

Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi Halus
		Min 70% untuk AC bergradasi kasar
Material Lolos Ayakan No. 200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Kadar Lempung	SNI 3423 : 2008	Maks 1%
Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	SNI 03 – 1969 -1990	Bj Bulk < 2.5 Penyerapan > 5%

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.2.(2a)

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) merupakan material yang harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan merupakan bahan yang 75% lolos ayakan no. 200 dan mempunyai sifat non plastis. *Filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah *portland cement*.

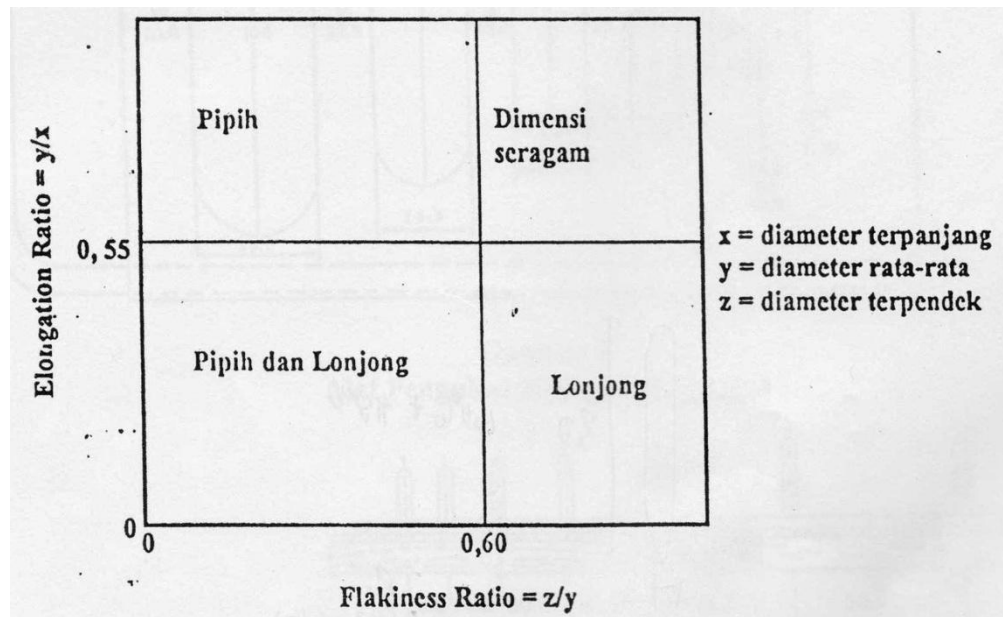
D. Analisa Indeks Kepipihan

Suatu partikel agregat dapat dikatakan pipih apabila agregat tersebut memiliki dimensi (ukuran) lebih kecil dari dua dimensi lainnya. Agregat pipih yaitu agregat yang memiliki dimensi lebih kecil dari 0.6 kali rata-rata dari lubang saringan yang mana membatasi ukuran fraksi dari partikel tersebut. Indeks kepipihan (*flakiness index*) adalah berat total agregat yang lolos slot dibagi dengan berat total agregat yang tertahan pada ukuran nominal tertentu.

Pemeriksaan indeks kepipihan dilakukan dengan menggunakan alat *thickness gauge* yaitu dengan menghitung prosentase agregat yang tidak lewat / tertahan lubang pada alat sesuai ukuran saringannya. Untuk pengujian tingkat kepipihan dilakukan terhadap agregat yang tertahan saringan No.4 keatas (saringan 3/8" dan 1/2"). Sedangkan persyaratan untuk prosentase maksimum partikel pipih adalah maksimum sebesar 10% berdasarkan Standar ASTM D – 4791 yang dikutip dari (*Spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal*).

Cara pengujian agregat kasar dengan alat uji kepipihan diperlukan untuk menentukan kualitas agregat kasar yang akan digunakan dalam campuran. Penentuan besarnya rasio pada waktu pengujian agregat, disesuaikan dengan persyaratan yang diinginkan. Butiran agregat yang berbentuk pipih jika digunakan dalam konstruksi, dapat berpengaruh terhadap kepadatan atau kekuatan dalam campuran. Metode uji ini dimaksudkan untuk mengontrol jumlah butiran yang dapat digunakan sesuai dengan batasan dalam spesifikasi. Hasil pengujian akan memberikan keterangan tentang kualitas bahan terhadap produsen penghasil agregat pecah, perencana, dan pelaksana (*RSNI T-01-2005*).

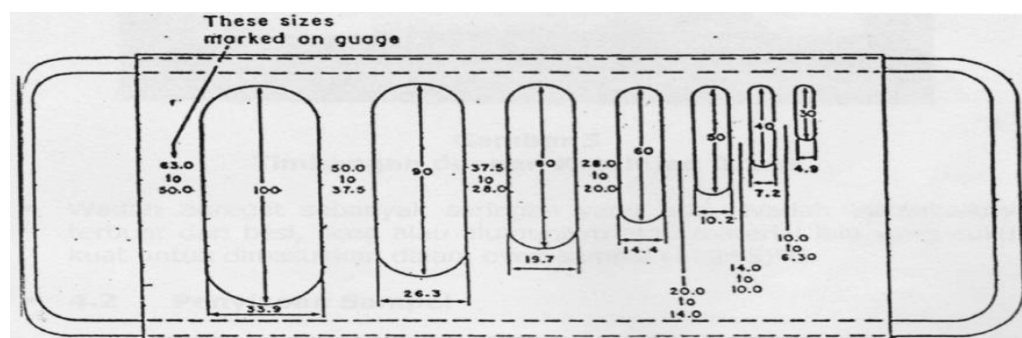
Menurut BSI (*British Standard Institution*) 1975 yang dikutip dari (*Buku panduan praktikum 2012*), jika perbandingan antara diameter terpendek dengan diameter rata-rata kurang dari 0,60 maka bentuk agregat tersebut adalah pipih. Berikut adalah pembagian agregat menurut BSI :



Gambar 2.1 Pembagian Bentuk Agregat Menurut BSI (1975)

Tollist (1985), dikutip dari (*Buku Panduan Praktikum 2012*) mendefinisikan bahwa agregat berbentuk pipih jika agregat tersebut lebih tipis dari minimal 60% dari diameter rata-rata. Diameter rata-rata dihitung berdasarkan ukuran saringan. Misalnya untuk agregat yang lolos saringan 12,7 mm dan tertahan 9,5 mm maka diameter rata-ratanya 11,100

Alat yang digunakan yaitu :



Gambar 2.2 Alat Pengukur Kepipihan Agregat (*Thickness Gauge*)

E. Aspal

Aspal pada lapis perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan yang lebih besar dari kekuatan masing-masing agregat. Aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil penyulingan minyak mentah produksi *Shell*.

Aspal merupakan material yang bersifat *viscoelastic* dan memiliki ciri-ciri beragam, yaitu :

1. Aspal mempunyai sifat *Thixotropy*, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan-tegangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.
2. Aspal adalah bahan yang *Thermoplastis*, yaitu viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah, demikian pula sebaliknya.
3. Aspal mempunyai sifat *Rheologic*, yaitu hubungan tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu pembebanan yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, namun jika lama pembebanan yang terjadi cukup lama, sifat aspal menjadi plastis.

Jenis-jenis aspal buatan hasil penyulingan minyak bumi teridri dari :

1. Aspal keras

Aspal keras merupakan aspal hasil destilasi yang bersifat *viskoelastis* sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya.

2. Aspal cair

Aspal cair merupakan aspal hasil dari pelarutan aspal keras dengan bahan pelarut berbasis minyak.

3. Aspal emulsi

Aspal emulsi dihasilkan melalui proses pengemulsian aspal keras. Pada proses ini partikel-partikel aspal padat dipisahkan dan didispersikan dalam air.

Berikut ini adalah Tabel 2.4. yang berisi spesifikasi dari aspal keras penetrasi 60/70.

Tabel 2.4. Spesifikasi Aspal Keras Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2	Viskositas 135 °C	SNI 06-6441-1991	385
3	Titik Lembek; °C	SNI 06-2434-1991	≥ 48
5	Daktilitas pada 25 °C	SNI 06-2432-1991	≥ 100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥ 232
7	Kelarutan dlm <i>Toluene</i> %	ASTM D 5546	≥ 99
8	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥ 1,0
9	Berat yang Hilang %	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8

Sumber: Direktorat jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.2.5

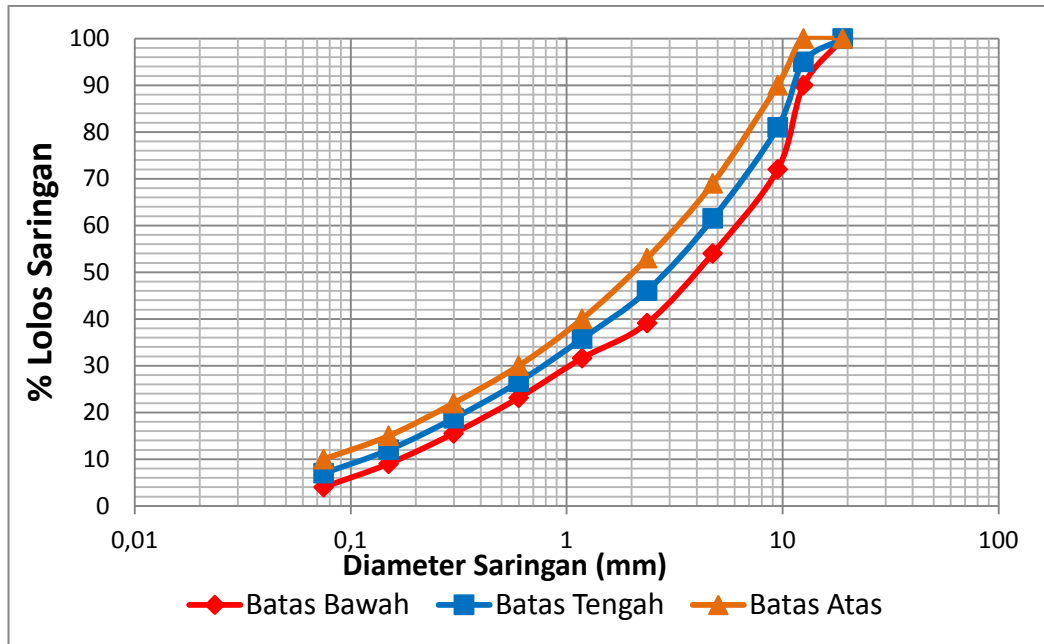
F. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi dari ukuran partikel agregat dan dinyatakan dalam persentase terhadap total beratnya. Gradasi agregat ditentukan oleh analisa saringan, dimana contoh agregat ditimbang dan dipersentasekan agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan terhadap berat total. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan apakah gradasi agregat memenuhi spesifikasi atau tidak. Gradasi agregat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.5. dibawah ini pada kolom yang diwarnai .

Tabel 2.5. Gradasi Agregat Untuk Campuran AC

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos					
		AC					
		Gradasi Halus			Gradasi Kasar		
(inch)	(mm)	AC-WC	AC-BC	AC-Base	AC-WC	AC-BC	AC-Base
1 _{1/2} "	37,5	-	-	100	-	-	100
1"	25	-	100	90 - 100	-	100	90 – 100
3/4"	19	100	90 – 100	73 - 90	100	90 – 100	73 – 90
1/2"	12.5	90 - 100	74 – 90	61 - 79	90 - 100	71 – 90	55 – 76
3/8"	9.5	72 - 90	64 – 82	47 - 67	72 - 90	58 – 80	45 – 66
No.4	4.75	54 - 69	47 – 64	39,5 - 50	43 - 63	37 – 56	28 - 39,5
No.8	2.36	39,1 - 53	34,6 – 49	30,8 - 37	28 - 39,1	23 - 34,6	19 - 26,8
No.16	1.18	31,6 - 40	28,3 – 38	24,1 - 28	19 - 25,6	15 - 22,3	12 - 18,1
No.30	0.6	23,1 - 30	20,7 – 28	17,6 - 22	13 - 19,1	10 - 16,7	7 - 13,6
No.50	0.3	15,5 - 22	13,7 – 20	11,4 - 16	9 - 15,5	7 - 13,7	5 - 11,4
No.100	0.15	9 - 15	4 – 13	4 - 10	6 – 13	5 - 11	4,5 – 9
No.200	0.075	4 - 10	4 – 8	3 - 6	4 – 10	4 – 8	3 - 7

Sumber: Direktorat jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.2.2.3



Gambar 2.3. Gradasi Agregat Campuran AC-WC Terpakai (Batas Tengah)

G. Karakteristik Campuran Beraspal

Menurut Sukirman (2003), terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas (*stability*), keawetan (*durability*), kelenturan (*flexibility*), ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser (*skid resistance*), kedap air dan kemudahan pelaksanaan (*workability*).

Di bawah ini adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik tersebut :

1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*.

2. Keawetan (*Durability*)

Keawetan adalah kemampuan perkerasan jalan untuk mencegah terjadinya perubahan pada aspal dari kehancuran agregat dan mengelupasnya selaput aspal pada batuan agregat akibat cuaca, air, suhu udara dan keausan akibat gesekan dengan roda kendaraan.

3. Kelenturan (*Flexibility*)

Kelenturan adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi/*settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas ataupun akibat beban sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli.

4. Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.

5. Kekesatan/tahanan geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan/tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran.

6. Kedap Air (*Impermeability*)

Kedap air adalah kemampuan aspal beton untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat.

7. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

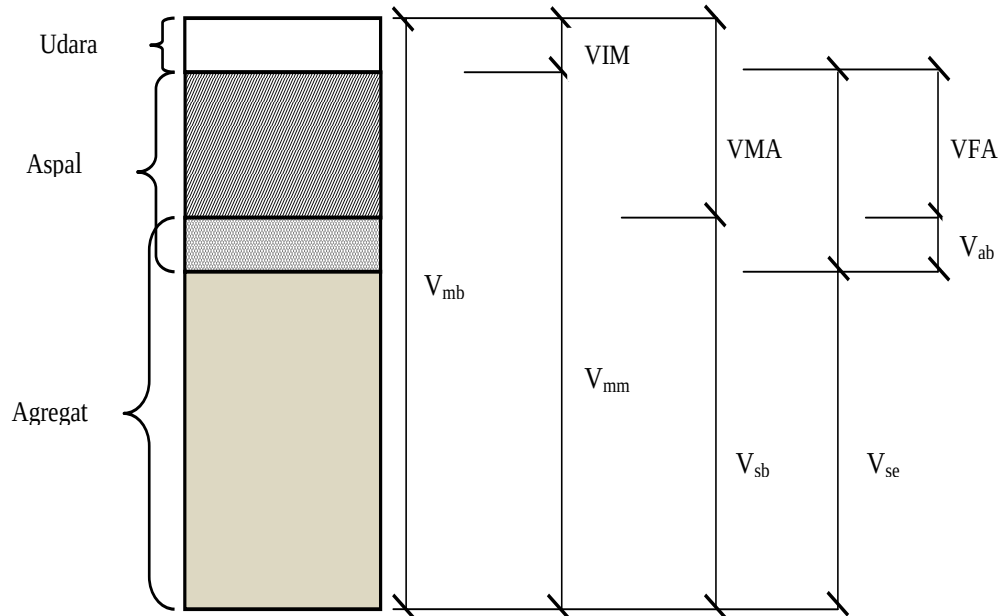
Kemudahan pelaksanaan adalah kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Kemudahan pelaksanaan menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekatan aspal terhadap perubahan temperatur dan gradasi serta kondisi agregat.

Ketujuh sifat campuran aspal beton ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu campuran. Sifat-sifat aspal beton mana yang dominan lebih diinginkan akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan. Jalan yang melayani lalu lintas ringan seperti mobil penumpang sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang mempunyai sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi daripada memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi.

H. Volumetrik Campuran Beraspal

Volumetrik campuran beraspal yang dimaksud adalah volume benda uji campuran yang telah dipadatkan. Komponen campuran beraspal secara volumetrik tersebut adalah : Volume rongga diantara mineral agregat (VMA), Volume bulk campuran padat, Volume campuran padat tanpa rongga, Volume rongga terisi aspal (VFA), Volume rongga dalam campuran (VIM), Volume

aspal yang diserap agregat, Volume agregat berdasarkan berat jenis bulk dan Volume agregat berdasarkan berat jenis efektif seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Komponen Campuran Beraspal secara Volumetrik

Keterangan :

V_{ma} = Volume rongga diantara mineral agregat (VMA)

V_{mb} = Volume *bulk* campuran padat

V_{mm} = Volume campuran padat tanpa rongga

V_{fa} = Volume rongga terisi aspal (VFA)

V_a = Volume rongga dalam campuran (VIM)

V_b = Volume aspal

V_{ab} = Volume aspal yang diserap agregat

V_{sb} = Volume agregat berdasarkan berat jenis bulk

V_{se} = Volume agregat berdasarkan berat jenis efektif

Perhitungan Berat Jenis dan Volume Rongga campuran beraspal adalah menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut :

1. Berat Jenis Bulk Agregat

Berat jenis bulk adalah perbandingan antara berat bahan di udara (termasuk rongga yang cukup kedap dan yang menyerap air) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air suling serta volume yang sama pada suhu tertentu pula.

Karena agregat total terdiri dari atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda maka berat jenis *bulk* (G_{sb}) agregat total dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

G_{sb} = Berat jenis *bulk* total agregat

$P_1, P_2 \dots P_n$ = Persentase masing-masing fraksi agregat

$G_1, G_2 \dots G_n$ = Berat jenis bulk masing-masing fraksi agregat

2. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif adalah perbandingan antara berat bahan diudara (tidak termasuk rongga yang menyerap aspal) pada satuan volume dan suhu

tertentu dengan berat air destilasi dengan volume yang sama dan suhu tertentu pula, yang dirumuskan :

$$G_{sb} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

P_{mm} = Persentase berat total campuran (=100)

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara 0 (Nol)

P_b = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum

G_b = Berat jenis aspal

3. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung dengan menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) rata-rata sebagai berikut :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara 0 (Nol)

P_{mm} = Persentase berat total campuran (=100)
 P_b = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum

P_s = Kadar agregat persen terhadap berat total campuran

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

G_b = Berat jenis aspal

4. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total tidak terhadap campuran yang dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_b \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat

G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

G_b = Berat jenis aspal

5. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya menentukan kinerja perkerasan aspal. Kadar aspal efektif ini dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{be} = P_b \times \frac{ba}{100} \times P_s \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan :

P_{be} = Kadar aspal efektif, persen total agregat

P_b = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran

P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat

P_s = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

6. Rongga diantara Mineral Agregat (VMA)

Rongga diantara mineral agregat (VMA) adalah ruang diantara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan Berat Jenis *Bulk* Agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *bulk* campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan VMA terhadap campuran total dengan persamaan :

a. Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots \dots \dots (8a)$$

Keterangan :

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk

G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat

G_{mb} = Berat jenis *bulk* campuran padat

P_s = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

b. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \times 100 \dots \dots \dots (8b)$$

Keterangan :

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk

G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat

G_{mb} = Berat jenis *bulk* campuran padat

P_b = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran

7. Rongga di Dalam Campuran (VIM)

Rongga di dalam campuran atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam persen dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$Va = 100 \times \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan :

Va = Rongga udara campuran, persen total campuran

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran agregat rongga udara 0 (Nol)

G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat

8. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Untuk mendapatkan rongga terisi aspal (VFA) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$VFA = \frac{100 (VMA - Va)}{G_{mm}} \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan :

VFA = Rongga terisi aspal, persen VIM

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume *bulk*

Va = Rongga udara campuran, persen total campuran

I. Metode *Marshall*

1. Uji *Marshall*

Rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* ditemukan oleh Bruce Marshall. Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (*flow*). *Flow* didefinisikan sebagai perubahan deformasi atau regangan suatu campuran mulai dari tanpa beban, sampai beban maksimum.

Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *Proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *Marshall Standart* berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm).

2. Parameter Pengujian *Marshall*

Sifat-sifat campuran beraspal dapat dilihat dari parameter-parameter pengujian marshall antara lain :

a. Stabilitas *Marshall*

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum *dial*. Stabilitas merupakan merupakan yang

menunjukkan batas maksimum beban diterima oleh suatu campuran beraspal saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang.

b. Kelelehan (*Flow*)

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum *dial* (dalam satuan mm). Suatu campuran yang memiliki kelelehan yang rendah akan lebih kaku dan cenderung untuk mengalami retak dini pada usia pelayanannya.

c. Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Hasil bagi *Marshall* merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelehan (*flow*). Semakin tinggi MQ, maka akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan.

d. Rongga Terisi Aspal (VFA atau VFB)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat.

e. Rongga Antar Agregat (VMA)

Rongga antar agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat).

f. Rongga Udara (VIM)

Rongga udara dalam campuran (Va) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri dari atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal.

J. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang terkait dengan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian yang dilakukan oleh M. Aminsyah, 2010 yang berjudul “ *Pengaruh Kepipihan Dan Kelonjongan Agregat Terhadap Perkerasan Lentur Jalan Raya* ” . Pemakaian agregat pipih/lonjong dalam pencampuran dibuat dalam tiga kombinasi serta satu campuran standar yang berfungsi sebagai pembanding. Untuk proporsi masing-masing kombinasi dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Campuran Standar/ Pembanding, fraksi agregat kasar & halus sesuai spesifikasi HRS-WC.
2. Variasi I, terdapat fraksi agregat pipih/lonjong 25%.
3. Variasi II, terdapat fraksi agregat pipih/lonjong 37,5%.
4. Variasi III, terdapat fraksi agregat pipih/lonjong 50%.

Hasil stabilitas yang didapatkan dari kombinasi pemakaian agregat pipih/lonjong dalam pencampuran dengan campuran pembanding (sesuai spesifikasi) dapat diketahui bahwa Stabilitas (Variasi I > Campuran Pembanding > Variasi II > Variasi III). Nilai stabilitas yang didapatkan dari semua hasil pemakaian kombinasi agregat pipih/ lonjong ini memenuhi spesifikasi campuran HRS-WC dimana stabilitas > 800 kg.

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai kelelehan dari campuran, yaitu kelelehan (Variasi III > Variasi II > Variasi I > Campuran Pembanding). Nilai kelelehan yang didapatkan dari semua hasil pemakaian kombinasi agregat pipih/lonjong ini memenuhi spesifikasi campuran HRS-WC dimana kelelehan merupakan indikator terhadap lentur (fleksibilitas), yaitu kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan tanpa terjadinya retak. Hasil pengujian didapatkan perbandingan nilai VIM antara campuran pembanding dengan campuran kombinasi dapat diilustrasikan sebagai berikut VIM (Campuran Pembanding > Variasi I > Variasi II > Variasi III). Nilai VIM yang didapatkan pada setiap kombinasi memenuhi spesifikasi campuran sebesar 4-6%. Untuk campuran aspal beton HRS-WC mensyaratkan nilai minimum untuk rongga antar butir agregat sebesar 18%. Dari data yang didapatkan untuk pemakaian agregat pipih/lonjong dibandingkan dengan campuran standar dapat dilihat bahwa VMA (Variasi III > Variasi I > Variasi II > Campuran Pembanding). Pada kombinasi III dengan penggunaan agregat pipih/lonjong 50% dalam campuran, didapatkan nilai VMA yang besar dibandingkan yang lainnya. Hal ini disebabkan oleh agregat kasar yang pipih/lonjong patah menjadi partikel yang lebih kecil sehingga memperbanyak pori antar agregat. Untuk campuran HRS-WC ditetapkan nilai *Marshall Quetient* (MQ) minimal 200 kg/mm. Hasil pengujian terhadap nilai MQ dapat diilustrasikan sebagai berikut MQ (Variasi I > Campuran Pembanding > Variasi II > Variasi III). Selanjutnya nilai MQ ini dapat digunakan untuk menentukan batas

persentase agregat pipih/ lonjong yang masih aman digunakan dalam pencampuran.

Dari hasil penelitian didapatkan grafik perbandingan parameter Marshall terhadap % agregat kasar yang pipih/lonjong yang masih aman digunakan sebagai material untuk pencampuran perkerasan, yaitu persentase agregat kasar yang pipih/ lonjong yang aman digunakan adalah sebesar 43%.

- b. Penelitian yang dilakukan oleh I Made Agus Ariawan, 2011 yang berjudul *“Variasi Agregat Pipih Sebagai Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Lapisan Aspal Beton (Laston)”*. Determination of Flakyness Index BS.812 membatasi indeks agregat pipih dalam Laston maksimum 25% sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi agregat pipih sebagai agregat kasar terhadap nilai-nilai karakteristik campuran Laston.

Variasi agregat pipih sebagai agregat kasar adalah 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% dari berat agregat total. Dengan menggunakan KAO 6,25% didapatkan karakteristik campuran Laston, yaitu penurunan nilai stabilitas dari 1144 kg menjadi 1096,9 kg, nilai MQ dari 313,21 kg/mm menjadi 150,52 kg/mm, nilai VMA dari 16,48% menjadi 13,68%, nilai VIM dari 5,90% menjadi 2,73%, sedangkan peningkatan terjadi terhadap nilai flow dari 3,65 mm menjadi 7,21 mm, nilai VFB dari 64,2% menjadi 80,1%.

Dari hasil analisis regresi dan korelasi, bahwa penambahan kadar agregat pipih sangat kuat mempengaruhi nilai karakteristik campuran Laston. Ini membuktikan adanya perubahan perlakuan yaitu dengan memvariasikan

kadar agregat pipih membuat adanya perbedaan nilai karakteristik campuran Laston. Berikut ini adalah Tabel 2.6. yang berisi hasil dari penelitian.

Tabel 2.6. Nilai Karakteristik Campuran AC Dengan Variasi Kadar Agregat Pipih

Karakteristik Campuran	Kadar Agregat Pipih						Standar Mutu
	0%	15%	20%	25%	30%	35%	
Stabilitas (kg)	1144	1136,1	1129,6	1119,9	1104,7	1096,9	750-1250 kg
Flow (mm)	3,653	4,033	4,907	5,953	6,373	7,213	2-4 mm
MQ (kg/mm)	313,2	282,03	233,24	188,41	175,51	150,52	180-500 kg/mm
VIM (%)	5,9	5,15	4,67	4,32	3,31	2,73	3-6 %
VMA (%)	16,48	15,82	15,4	15,08	14,19	13,68	≥ 15%
VFB (%)	64,2	67,5	69,7	71,4	76,7	80,1	≥ 63%

Sumber : I Made Agus Ariawan “Variasi Agregat Pipih Sebagai Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Lapisan Aspal Beton (Laston)”

c. Penelitian yang telah dilakukan oleh Andreas Partogi Silalahi 2005, dengan judul” *Pengaruh Indeks Kepipihan Agregat Terhadap Karakteristik Campuran Aspal BituPlus_®* “. Variasi indeks kepipihan yang digunakan adalah 23%, 25%, 30% dan 35% dan kadar aspal yang digunakan adalah 5% sampai dengan 7% dengan kenaikan 0,5%. Dari variasi kadar aspal dan indeks kepipihan akan dihasilkan 60 buah benda uji yang akan diuji menggunakan *Marshall Test*. Dari hasil penelitian diketahui nilai stabilitas, kelelehan, kekakuan, VIM dan VMA yang masih memenuhi syarat Departemen PU meski agregat yang digunakan memiliki indeks kepipihan yang tinggi.

d. Penelitian yang telah dilakukan oleh Alfian, 2002 “*Pengaruh Komposisi Agregat Pipih Pada Karakteristik Marshall Campuran Aspal AC-WC Agregat Bergradasi Rapat Hasil Perancangan Dengan Metode Test*

Pemadatan Kering”. Variasi yang digunakan dalam perancangan tersebut yaitu dengan 5% agregat pipih dengan kadar aspal 5,3% sampai 6,5%, variasi 10% agregat pipih dengan kadar aspal 5,6% sampai 6,8%, variasi 15% agregat pipih dengan kadar aspal 5,9% sampai 7,1%, variasi 20% agregat pipih dengan kadar aspal 6,2% sampai 7,4% dan variasi 25% agregat pipih dengan kadar aspal 6,5% sampai 7,7%, kemudian diuji dengan alat uji Marshall untuk mengetahui pengaruh agregat pipih tersebut pada kinerja campuran hasil perancangan sebelumnya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keberadaan agregat pipih sangat berpengaruh pada campuran aspal-agregat bergradasi rapat (hasil perancangan sebelumnya) terutama pada stabilitas campuran yang semakin menurun yaitu dari 2145,4 kg sampai 1263,8 kg; meningkatnya kelelahan campuran (flow) dari 3,5 mm sampai 4,8 mm; menurunnya Marshall Quotient (MQ) dari 607,5 kg/mm sampai 261,4 kg/mm. Keberadaan agregat pipih pada campuran aspal-agregat bergradasi rapat juga memberikan pengaruh pada meningkatnya jumlah aspal optimum yang diperlukan yaitu dari 5,5% sampai 7,0% dan meningkatnya porositas campuran yang ditandai dengan meningkatnya VIM campuran tersebut yaitu dari 4,1% sampai 4,3%; meningkatnya VMA dari 14,4% sampai 17,7%; meningkatnya VFA dari 71,6% sampai 75,9%. Setelah dilakukan prediksi untuk semua parameter tersebut di atas, agregat pipih masih dapat dipergunakan sampai 27% pada campuran aspal-agregat bergradasi rapat.