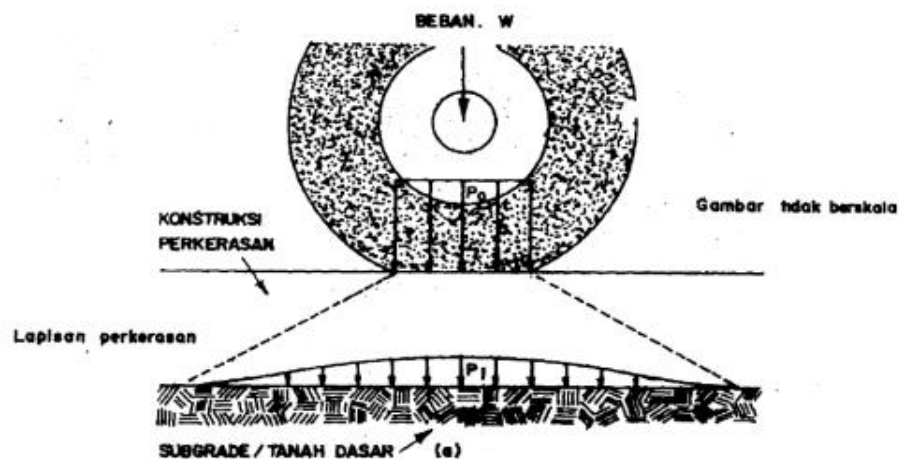


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakan diatas tanah yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) merupakan perkerasan yang menggunakan aspal panas atau *Hot Mix Asphalt* (HMA) sebagai bahan pengikat. Pada gambar 2.1 terlihat bahwa beban kendaraan dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui bidang kontak roda beban terbagi rata P_0 , beban tersebut diterima oleh lapisan permukaan dan disebarkan ke tanah dasar menjadi P_1 yang lebih kecil dari daya dukung tanah dasar.



Gambar 2.1. Penyebaran Beban Roda melalui Lapisan Perkerasan Jalan.

Sumber : (Sukirman, 1999)

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari :

1. Tanah Dasar (*Sub Grade*)
2. Lapisan Pondasi Bawah (*Sub Base*)
3. Lapisan pondasi Atas (*Base Course*)
4. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)



Gambar 2.2. Susunan lapis konstruksi Perkerasan Lentur Jalan

Sumber : (Sukirman, 1999)

Campuran aspal panas merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Untuk mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari aspal sehingga diperoleh kemudahan untuk mencampurnya, maka kedua material harus dipanaskan dulu sebelum dicampur dalam keadaan panas maka sering kali disebut “*hot mix*”.

Perencanaan campuran ini berlaku untuk jenis-jenis campuran Lapis Aspal Beton (Laston), Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir), dan Lapi Tipis Aspal Beton (Lataston).

2.2. Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapis Aspal Beton (Laston) merupakan jenis tertinggi dari *bitumen* bergradasi menerus dan cocok untuk jalan yang banyak dilalui kendaraan berat. Aspal beton biasanya dicampur dan dihamparkan pada temperatur tinggi dan membutuhkan bahan pengikat aspal semen. Agregat minimal yang digunakan yang berkualitas tinggi dan menurut proporsi didalam batasan yang ketat.

2.2.1. Teori Lapis Aspal Beton (*Asphalt Concrete*)

Lapis aspal beton pertama kali dikembangkan di Amerika Serikat *Asphalt Concrete* dengan nama *Asphalt Concrete* (AC). Menurut Bina Marga Deprtemen pekerja umum, Laston merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur dan dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang digunakan.

Sedangkan yang dimaksud gradasi menerus adalah komposisi yang menunjukkan pembagian butiran yang merata yang mulai dari ukuran yang terbesar sampai ukuran yang terkecil. Ciri lainnya memiliki sedikit rongga dalam struktur agregarnya, yang saling mengunci satu dengan lainnya, oleh karena itu beton aspal memiliki sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku.

Adapun sifat-sifat laston (AC) adalah kedap terhadap air, tahan terhadap keausan akibat lalu lintas, mempunyai nilai struktural, mempunyai stabilitas yang tinggi serta peka terhadap penyimpangan perencanaan dan pelaksanaan. Dari hal tersebut tentu Laston (AC) mempunyai fungsi sebagai pendukung beban lalu lintas, laston juga berfungsi sebagai lapisan aus atau yang terletak diatas pada perkerasan sehingga melindungi konstruksi dibawahnya selain itu laston itu laston berfungsi sebagai penyedia permukaan jalan yang rata dan tidak licin.

2.2.2. Pembagian Laston

Menurut spesifikasi campuran beraspal Departemen Pekerja Umum (2018), laston dibagi menjadi :

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), diameter butir maksimal 19,0 mm, bertekstur halus.
2. Laston sebagai lapis antara/pengikat, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete-Base*), diameter butir maksimal 37,5 mm, bertekstur kasar.
3. Laston sebagai lapis pondasi, yang dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*), diameter butir maksimal 37,5 mm, bertekstur kasar.

Laston AC-BC adalah lapisan perkerasan yang letaknya dibawah lapisan aus (AC-BC) dan tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan (Sukirman,2003).

Fungsi dari lapis AC-BC menurut pustlitbang Prasarana Transportasi (2004) adalah mengurangi tegangan dan menaham beban maksimal akibat beban lalu lintas, sehingga harus mempunyai kekuatan yang cukup. Tebal minimum lapis AC-BC adalah 6 cm. ketentuann sifat campuran beraspal panas di indonesia seperti campuran beraspal jenis AC-BC (*Binder Course*) adalah ketentuan yang telah dikeluarkan oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (Depkimpraswil) bersama-sama dengan Bina Marga, hal itu menjadi acuan dalam penelitian ini yaitu seperti tertera dalam tabel 2.1.bawah ini :

Tabel 2.1. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston AC

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlahan tumbukan per		75		112
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65		
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks.	4		6

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi II Divisi 6 Perkerasan Jalan.

2.3. Bahan Campuran Lapis Aspal Beton

Jenis perkerasan lapis aspal beton ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu (Sukirman S, 1992). Bahan laston terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* (jika diperlukan) dan aspal keras. Berikut bahan penyusun konstruksi perkerasan jalan :

2.3.1. Agregat

Agregat atau sering disebut batuan didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan *solid*. American Society For Testing and material (ASTM 1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen (pecahan sesuatu). Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% berdasarkan presentase volume.

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 memenuhi syarat akan sangat menentukan keberhasilan pembangunan jalan.

Secara umum agregat yang digunakan dalam campuran beraspal dibagi atas 2 (dua) fraksi, yaitu : agregat kasar dan agregat halus.

2.3.1.1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material yang tertahan pada saringan no.4 (4,75 mm) agregat kasar untuk campuran aspal harus terdiri batu pecah yang bersih, kuat, kering, awet, bersudut, bebas dari kotoran lempung dan meterial asing lainnya serat mempunyai tekstur permukaan yang kasar dan tidak bulat agar dapat memberikan sifat *interlocking* atau mengunci yang baik dengan material yang lain. Tingginya kandungan agregat kasar membuat lapis perkerasan lebih permeable (dapat ditembus). Hal ini dapat menyebabkan rongga udara meningkat dan menurunnya daya lekat aspal, maka terjadi pengelupasan aspal dari batuan.

Agregat kasar pada umumnya harus memenuhi syarat yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera pada tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Metoda Pengujian	Nilai
Kekakuan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat		SNI 3407:2008	Maks.12 %
	magnesium sulfat			Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90 ^{*)}	
	Lainnya		95/90 ^{**)}	
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	SNI 8287: 2016 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%	
	Lainnya		Maks. 10%	
Material lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Sumber : Spesifikasi Bina marga 2018 Revisi II Divisi 6 perkerasan aspal

2.3.1.2. Agregat Halus

Agregat halus atau pasir alam merupakan hasil desintegrasi alami batuan atau pasir yang di hasilkan oleh industri pemecah batu. Agregat halus adalah material yang lolos saringan no.4 (4,75 mm). agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan penguncian (*interlocking*) antar butiran. Selain itu agregat halus juga mengisi ruang antar butir, bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah atau pasir alam atau campuran

dari keduanya. Pasir yang boleh digunakan dalam campuran beraspal dengan presentase maksimum yang disarankan untuk laston AC adalah 15%. Agregat halus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki.

Agregat halus pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera pada tabel 2.3. berikut ini.

2.3.1.3. Bahan Pengisi

Bahan pengisi (*filler*) adalah bahan yang harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan mempunyai sifat non plastik. *Filler* harus mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (0,075) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya (Bina Marga 2018, Revisi II).

Fungsinya adalah sebagai pengisi rongga udara pada material sehingga memperkaku lapisan aspal. Apabila campuran agregat kasar dan halus belum masuk dalam spesifikasi yang telah ditentukan, maka campuran laston perlu ditambah dengan *filler*. *Filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah semen portland yang umum digunakan dalam berbagai pekerja konstruksi.

Bahan pengisi yang ditambahkan (Filler added), untuk semen harus rentang 1% sampai 2% terhadap berat total agregat dan untuk bahan pengisi lainnya harus dalam rentang 1% sampai dengan 3% terhadap berat total agregat kecuali SMA (Stone Matrix Asphalt). khusus untuk SMA tidak boleh menggunakan semen.

2.3.2. Bahan Pengikat (Aspal)

Aspal didefinisikan sebagai material yang berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan pada suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman. Jika temperatur mulai turun, aspal tersebut akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya atau bersifat termoplastik (Silvia Sukirman, 1993).

Fungsi aspal pada perkerasan jalan yaitu :

1. Sebagai bahan pengikat agregat maupun antara aspal itu sendiri.

2. Sebagai bahan pengisi, mengisi rongga antar butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri

Jenis aspal yang umumnya digunakan untuk perkerasan jalan yaitu aspal minyak. Jika dilihat bentuknya pada temperatur ruang, maka aspal terdiri dari aspal keras, aspal cair, dan aspal emulsi.

1. Aspal keras/semen aspal (*Asphalt Cement, AC*) merupakan aspal hasil penyulingan yang bersifat viskoelastis atau mengental sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya.
2. Aspal cair/dingin (*cutback asphalt*) yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang dan merupakan hasil dari pelarutan aspal keras dengan bahan pelarut berbasis minyak.
3. Aspal emulsi (*Emulsified Asphalt*) yaitu suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi. Yang digunakan dalam keadaan dingin ataupun panas. Aspal emulsi ini lebih cair dari pada aspal cair, tetapi umumnya digunakan pada campuran dingin atau penyemprotan dingin.

Campuran beraspal panas diatas harus memenuhi spesifikasi yang telah dibuat sebagai standar pekerjaan jalan. Namun tidak jarang perkerasan jalan diatas mengalami tingkat penurunan pelayanan jalan yang disebabkan terjadinya kerusakan dini perkerasan diawal umur pelayanan. Akibatnya tingkat keamanan dan kenyamanan berkendara berkurang karena karena kondisi bentuk dan hasil pemeliharaan rutin maupun peningkatan jalan yang tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Oleh sebab itu dilakukan evaluasi dengan cara mengontrol kualitas perkerasan konstruksi pada spesifikasi yang ditetapkan pada pekerjaan jalan.

Penelitian ini menggunakan aspal pertamina penetrasi 60/70 yang merupakan aspal minyak karena tingkat penetrasi ini dianggap cocok dengan dengan iklim di Indonesia. Aspal penetrasi 60/70 diperkirakan memiliki kemampuan untuk menghindari terjadinya pelunakan pada temperatur tinggi saat musim kemarau dan pada umumnya jenis aspal ini harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai ketentuan yang ada, seperti pada tabel 2.4. berikut ini.

Tabel 2.3. Spesifikasi Aspal Keras Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Jenis Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70	Tipe II AspalModifikasi	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25 C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser osilasi 10 rad/detik kPa, (C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135 C (cSt) ³⁾	ASTM D2170-10	300	3000	
4	Titik Lembek (C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽²⁾	
5	Daktilitas pada 25 C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6	Titik Nyala (C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: PerbedaanTitik Lembek (C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	2,2	
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002) :					
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8	≤ 0,8	
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamisosilasil rad/detik (C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13	Penetrasi pada 25 C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	54
14	Daktilitas pada 25 C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa					
No	Jenis Pengujian	Jenis Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70	Tipe II AspalModifikasi	
				PG70	PG76
15	Temperatur yang menghasilkan Geser osilasi 10 rad/detik kPa, (C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi II Divisi 6 Perkerasan Aspal.

2.4. Gradasi Agregat

2.4.1. Pengertian Gradasi Agregat

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisa saringan. Gradasi agregat dinyatakan dalam bentuk persentasi lolos, atau persentasi tertahan, yang dihitung berdasarkan berat gradasi. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan *workability* (sifat mudah dikerjakan) dan stabilitas campuran. Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat kasar berada dalam rentang ukuran tertentu dan masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat.

Gradasi agregat ditentukan oleh analisa saringan, dimana contoh agregat harus melalui satu set saringan. Ukuran saringan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawatnya dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inchi persegi gradasi saringan tersebut. Satu set saringan dan ukuran bukaan agregat, seperti tertera pada gambar 2.3 dan tabel diberikut ini.



Gambar 2.3. Satu Set Saringan

Sumber : (Sukirman, 2003)

Tabel 2.4. Ukuran Bukaannya Saringan

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Ukuran Saringan	Bukaan (mm)
4 inci	100	3/8 inci	9,5
3½ inci	90	No. 4	4,75
3 inci	75	No. 8	2,36
2½ inci	63	No. 16	1,18
2 inci	50	No.30	0,6
1½ inci	37,5	No.50	0,3
1 inci	25	No.100	0,15
¾ inci	19	No. 200	0,075
½ inci	12,5		

Sumber : Standar ASTM

2.4.2. Jenis dan sifat-sifat gradasi agregat

Gradasi dapat dibedakan atas : gradasi seragam, gradasi rapat, dan gradasi senjang.

2.4.2.1. Gradasi seragam (*Uniform Graded*)

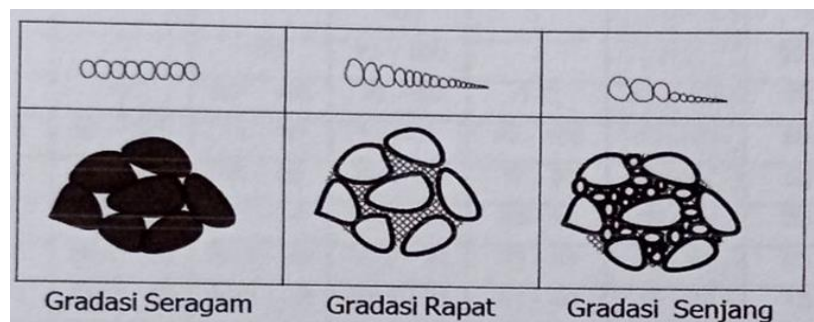
Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga atau ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil.

2.4.2.2. Gradasi rapat (*Dense Graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sering juga disebut gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). Campuran dengan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.

2.4.2.3. Gradasi senjang (*Gap Graded*)

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau tidak fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Campuran agregat dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari kedua gradasi yang disebut diatas.



Gambar 2.4. Jenis gradasi Agregat

Sumber : (Sukirman, 2003)

Sifat-sifat yang dimiliki ketiga gradasi dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Sifat-sifat Gradasi

Gradasi Seragam	Gradasi rapat	Gradasi senjang
Kontak antar butir baik	Kontak antar butir baik	Kontak antar butir jelek
Kepadatan bervariasi tergantung dari segregasi yang terjadi	Seragam dan kepadatan tinggi	Seragam tapi kepadatan jelek
Stabilitas dalam keadaan terbatas	Stabilitas tinggi	Stabilitas sedang
Stabilitas dalam keadaan lepas rendah	Kuat menahan deformasi	Stabilitas sangat rendah
Sukar untuk dipadatkan	Sukar sampai sedang untuk memadatkan	Mudah dipadatkan
Tidak dipengaruhi kadar air	Tingkat permeabilitas cukup	Tingkat permeabilitas rendah
Mudah direapi air	Pengaruh variasi kadar air cukup	Kurang dipengaruhi oleh variasi kadar air

Sumber : (Sukirman, 1999)

2.4.3. Gradasi Agregat

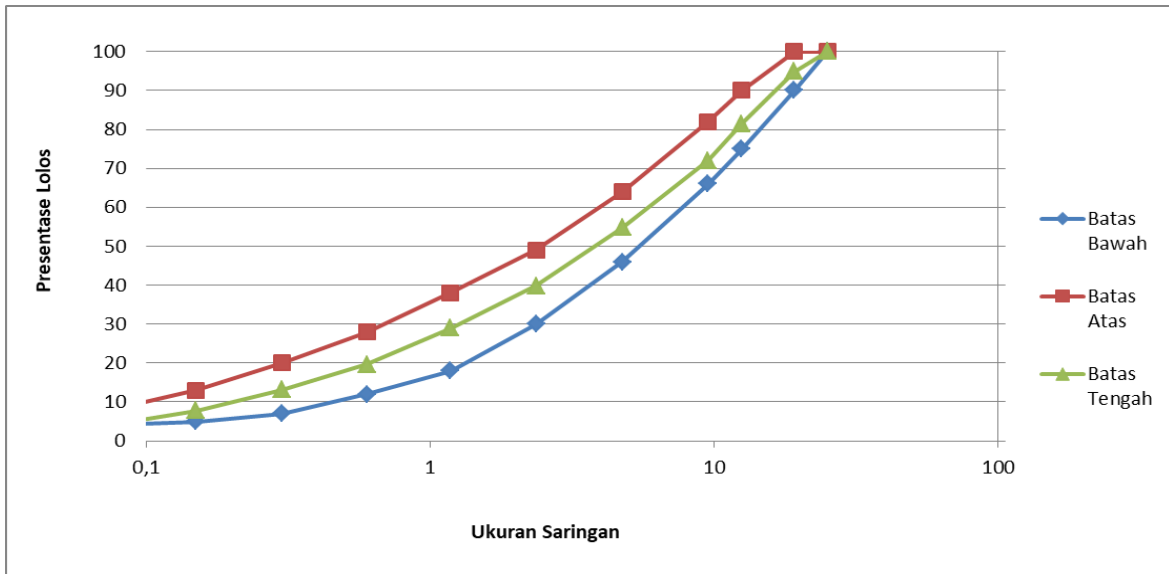
Gradasi agregat gabungan dalam campuran aspal ditunjukkan persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi. Gradasi yang digunakan pada penelitian ini adalah Laston AC-BC gradasi kasar yang tertera pada amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal pada spesifikasi Bina Marga 2018 revisi II Divisi 6 halaman 6-38 seperti yang tertera pada tabel 2.6 berikut ini.

Tabel 2.6 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90 - 100
¾"	19		100	90 - 100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
½"	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
⅜"	9,5	70 - 95	50 - 80	25 - 60	75 - 85	65 - 90	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No.4	4,75	30 - 50	20 - 35	20 - 28			53 - 69	46 - 64	35 - 54
No.8	2,36	20 - 30	16 - 24	16 - 24	50 - 72	35 - 55	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No.16	1,18	14 - 21					21 - 40	18 - 38	13 - 30
No.30	0,600	12 - 18			35 - 60	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No.50	0,300	10 - 15					9 - 22	7 - 20	6 - 15
No.100	0,150						6 - 15	5 - 13	4 - 10
No.200	0,075	8 - 12	8 - 11	8 - 11	6 - 10	2 - 9	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi II Divisi 6 Perkerasan aspal.

Bentuk gradasi agregat yang biasanya digambarkan dalam suatu grafik hubungan antara ukuran saringan dinyatakan pada sumbu vertikal dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini :



Gambar 2.5 Gradasi Agregat Kasar Campuran Laston (AC-BC)

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

2.4.4. Rancangan Campuran Dengan Metode Analitis

Rumus dasar dari proses pencampuran dua, tiga atau lebih fraksi agregat dapat dituliskan dalam bentuk dibawah ini

Rumus :

$$P = Aa + Bb + Cc \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan pengertian

P = Persen lolos agregat campuran dengan ukuran tertentu, peroleh dari spesifikasi campuran

A,B,C = Persen lolos agregat pada saringan masing-masing ukuran

a,b,c = Proposi masing-masing agregat yang digunakan, dengan total 100

$$(a + b + c) = 1 \text{ atau } 100\%$$

Nilai a,b,c diperoleh dengan “*trial and error*”, karena perhitungan P yang dilakukan untuk satu ukuran saringan belum tentu secara keseluruhan dapat menghasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi. Dari penggabungan beberapa fraksi agregat, maka akan hanya ditemukan satu gradasi agregat yang optimum, yang mendekati gradasi yang diinginkan. Bila ditemukan kesulitan mendapatkan gradasi yang diinginkan maka dapat dipilih gradasi lain khusus atau sesuai dengan keadaan gradasi agregat setempat, asalkan dapat memenuhi kriteria sifat campuran yang disyaratkan.

2.4.5. Pengaruh Gradasi Terhadap Karakteristik Campuran

Gradasi agregat pada dasarnya sangat mempengaruhi besarnya rongga antara butir yang akan menentukan stabilitas dan memberikan kemudahan selama proses pelaksanaan. Gradasi agregat merupakan kondisi agregat yang dapat dibentuk untuk mencapai persyaratan yang diinginkan. Untuk gradasi menerus masuk kedalam kategori agregat bergradasi baik, sedangkan gradasi seragam dan senjang masuk dalam kategori agregat beragregat buruk. Efek pengaruh gradasi terhadap karakteristik campuran dapat lihat pada tabel 2.7 berikut ini.

Tabel 2.7. Pengaruh Gradasi Terhadap Karakteristik Campuran

Karakteristik	Agregat bergradasi baik	Agregat bergradasi buruk
Stabilitas	Buruk	Baik
Permeabilitas	Baik	Buruk
Kepadatan (<i>Density</i>)	Buruk	Baik
VIM	Besar	Kecil

Sumber : (Sukirman, 2003)

Stabilitas (*stability*) yang baik atau tinggi diperoleh dari gaya gesek dan sifat saling (*interlocking*) diantar butiran agregat. Kekedapan (*impermeable*) yang baik diperoleh dari sebaran butirannya, semakin merata sebaran butirannya maka semakin rapat suatu gradasi sehingga sifat kekedapan air dan udara akan meningkat. Kepadatan (*density*) yang baik atau semakin tinggi nilai densitynya suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatan semakin baik. Campuran dengan nilai density yang tinggi akan menahan beban yang lebih besar dibanding campuran dengan nilai density yang rendah, alasannya karena butiran agregat mempunyai bidang kontak yang luas sehingga gaya gesek antar butiran agregat lebih besar. Kerapatan semakin baik maka campuran semakin kedap terhadap air dan udara. Gradasi agregat juga berpengaruh terhadap rongga dalam campuran (VIM) maka semakin tinggi nilai VIM menunjukkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi (penggabungan air dan udara). Air akan melarutkan komponen-komponen yang teroksidasi sehingga terus berkurangnya kadar aspal dalam campuran. Nilai VIM akan semakin kecil apabila kadar aspal semakin besar. VIM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak.

Oleh karena itu diperlukan ketelitian saat melakukan analisa saringan untuk memperoleh gradasi sesuai dengan yang diinginkan. Dalam penelitian ini menggunakan tipe gradasi Bina Marga dengan ukuran butiran maksimal 25,4 mm untuk menghasilkan nilai karakteristik *Marshall* yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga.

2.5. Sifat-sifat pengujian agregat

2.5.1. Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berat jenis dan penyerapan air adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Agregat dengan berat jenis kecil, mempunyai volume yang besar atau berat yang ringan (sukirman, (2007)).

Rumus yang digunakan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air sebagai berikut :

1. Analisa saringan

$$a. \% \text{tertahan} = \frac{\text{Kumulatif berat tertahan saringan}}{\text{Berat awal}} \times 100 \dots \dots \dots (2.2)$$

$$b. \% \text{lolos} = 100\% - \text{kumulatif persen tertahan tiap saringan..} (2.3)$$

2. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

$$a. \text{ Berat jenis kering (bulk)} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$b. \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$c. \text{ Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$d. \text{ Penyerapan air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \dots (2.7)$$

Dengan :

B_k = berat benda uji kering oven (gram)

B_j = berat benda uji permukaan jenuh (gram)

B_a = berat benda uji dalam air (gram)

3. Berat jenis dan penyerapan agregat halus

a. Berat jenis kering (*bulk*) $= \frac{B_k}{B+500-B_t}$ (2.8)

b. Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) $= \frac{500}{B+500-B_t}$ (2.9)

c. Berat jenis semu (*Apparent*) $= \frac{B_k}{B+B_k-B_t}$(2.10)

d. Penyerapan air $= \frac{500-B_k}{B_k} \times 100\%$ (2.11)

Dengan :

B_k = berat piknometer + air (gram)

B = Berat Piknometer berisi air (gram)

B_t = berat piknometer + air + benda uji (gram)

500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

2.5.2. Analisa Saringan (gradasi)

Menurut sukirman (2007), gradasi adalah susunan butiran sesuai ukurannya. Ukuran butiran agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisa saringan. Satu set saringan umumnya terdiri dari saringan berukuran 1'', 3/4'', 1/2'', 3/8'', No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, No. 200.

Ukuran saringan dalam bukaan panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor saringan menunjukkan banyaknya bukaan dalam inchi panjang. Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar.

2.5.3. Ketahanan Agregat Terhadap Mesin *Los Angeles* (Abrasi)

Ketahanan agregat terhadap mesin *Los Angeles* (Abrasi) adalah menentukan daya tahan agregat kasar terhadap beban mekanis diperiksa dengan melakukan pengujian abrasi menggunakan alat abrasi *Los Angeles*. Gaya mekanis pada pemeriksaan dengan alat abrasi *Los Angeles* diperoleh dari bola baja yang dimaksudkan bersama dengan agregat yang diuji. (sukirman 2007).

Rumus-rumus yang digunakan dalam pengujian ketahanan agregat terhadap mesin *Los Angeles* (Abrasi) sebagai berikut :

$P = \frac{a-b}{a} \times 100\%$ (2.12)

Dengan :

a = Berat benda uji semula(Gram)

b = Berat benda uji tertahan saringan No. 12 (gram)

2.6. Karakteristik Campuran Aspal Beton

Untuk menghasilkan campuran perkerasan yang baik harus diperhatikan mengenai karakteristik campuran yang dimiliki oleh aspal beton. Menurut Sukirman,S (1992), terhadap tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh aspal beton yaitu :

1. Stabilitas (*stability*)
2. Keawetan (*durability*)
3. Kelenturan (*flexiblity*)
4. Tahanan geser/ kekasatan (*skid resistance*)
5. Kedap air (*impreability*)
6. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)
7. Kemudahan Pelaksanaan (*workability*)

2.6.1. Stability (*stability*)

Stabilitas perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur atau lapisan aspal yang meleleh keluar (*bleeding*). Nilai stabilitas yang terlalu tinggi menyebabkan lapis perkerasan menjadi kaku dan cepat mengalami retak.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas aspal beton adalah :

1. Gesekan internal yang berasal dari kekasaran permukaan butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal.
2. Kohesi yang merupakan gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat.

Dengan demikian stabilitas yang tinggi diperoleh dengan mengusahakan penggunaan agregat dengan gradasi yang rapat/menerus (*dense graded*), agregat dengan permukaan yang kasar, agregat berbentuk kubus, aspal dengan penetrasi rendah, aspal dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir.

2.6.2. Keawetan (*durability*)

Durabilitas adalah kemampuan aspal beton menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antar roda kendaraan dan permukaan jalan serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air atau perubahan suhu.

2.6.3. Kelenturan (*flexibility*)

Fleksibilitas pada lapis perkerasan adalah kemampuan aspal beton untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (*konsolidasi/settlement*) dan akibat pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak.

2.6.4. Tahanan geser/kekesatan (*skid resistance*)

Kekesatan adalah kemampuan permukaan aspal beton terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip.

2.6.5. Kedap Air (*impermeability*)

Kedap air merupakan kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara lapisan aspal beton. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kededapan air campuran.

2.6.6. Ketahanan Terhadap Kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan campuran beraspal terhadap leleh adalah kemampuan lapisan aspal beton menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur atau retak.

2.6.7. Kemudahan Pelaksanaan (*workability*)

Workabilitas adalah kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Kemudahan pelaksanaan menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor kemudahan dalam proses pelaksanaan adalah viskositas aspal, kepekatan aspal terhadap perubahan temperatur dan gradasi serta kondisi agregat. Namun kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sukar.

2.7. Kadar Aspal Rencana

Perkiraan awal kadar aspal optimum dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan penggabungan pada tiga fraksi agregat. Sedangkan perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

P_b : Pertimbangan kadar Aspal Optimum

CA : Nilai presentase agregat kasar

FA : Nilai presentase agregat halus

FF : Nilai presentase *Filler*

K : Konstanta(kira-kira 0,5-1,0) untuk laston

Hasil perhitungan P_b dibulatkan ke 0,5% keatas terdekat

2.8. Sifat Volumetrik Campuran Aspal Beton

Kinerja aspal beton sangat ditentukan oleh volumetrik campuran aspal beton yang terdiri dari :

2.8.1. Berat Jenis *Bulk*/Curah Agregat Campuran (G_{sb})

Berat jenis *bulk* adalah perbandingan antara berat bahan diudara (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 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 :

$$(G_{sb}) = \frac{P_1+P_2+ \dots\dots+P_n}{\frac{P_1}{G_1}+\frac{P_2}{G_2}+ \dots\dots+\frac{P_n}{G_n}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

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

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

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

2.8.2. Berat Jenis Efektif Agregat Campuran (G_{se})

Berat jenis campuran adalah perbandingan antara berat bahan di udara (tidak termasuk rongga yang menyerap aspal). Pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air destilasi dengan volume yang sama suhu tertentu pula, yang dirumuskan:

$$G_{se} = \frac{P_{mn} - P_b}{\frac{P_{mn}}{G_{mn}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

P_{mn} = Presentase berat total campuran (=100%)

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

P_b = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum yang diuji dengan ASTM 2041, persen terhadap berat total campuran

G_b = Berat jenis aspal

2.8.3. Berat Jenis Maksimum Campuran (G_{mm})

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

$$G_{mm} = \frac{P_{mn}}{\frac{P_s}{G_s} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

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

P_{mn} = Presentase berat total campuran (=100%)

P_b = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum yang diuji dengan ASTM 2041, persen terhadap berat total campuran

P_s = Kadar agregat persen terhadap berat total campuran

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

2.8.4. Penyerapan Aspal (P_{ba})

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

$$P_{ba} = 100 \frac{(G_{se} - G_{sb})}{G_{sb} \times G_{se}} G_b \dots\dots\dots(2.17)$$

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

2.8.5. Kadar Aspal Efektif

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

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

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

P_b = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum yang diuji dengan ASTM 2041, persen terhadap berat total campuran

P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat

P_s = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

2.8.6. Rongga diantar Mineral Agregat (VMA)

Rongga diantara mineral agregat atau bahasa inggris disebut *Voids in the Mineral Aggregate* (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.

2.8.6.1. Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots(2.19a)$$

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

2.8.6.2. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100+P_b)} \times 100 \dots\dots\dots(2.19b)$$

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

2.8.7. Rongga didalam Campuran (VIM)

Rongga didalam campuran atau dalam bahasa inggris Void In Mix (VIM) adalah banyaknya rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. Volume rongga udara dalam persen dapat ditentukan dengan rumus :

$$VIM = 100 \times \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

VIM = Rongga udara campuran, persen total campuran

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

G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat

2.8.8. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal atau dalam bahasa inggris *Void Filled With Asphal* (VFA) adalah persentase 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 :

$$VFA = \frac{100 \times (VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(2.21)$$

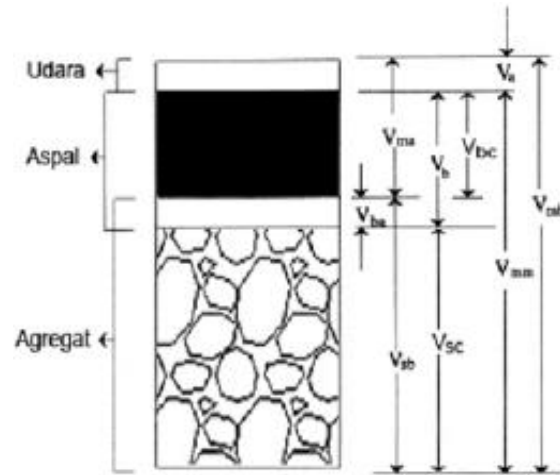
keterangan :

VFA = Rongga terisi aspal, persentase dari VMA

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

VIM = Rongga didalam campuran, persen total campuran.

Volumetrik campuran beraspal diilustrasikan sebagaimana diperhatikan pada gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.6. Skema Volumetrik Campuran Beraspal

Sumber : (Sukirman, 2003)

Keterangan :

VIM = Volume rongga udara dalam campuran

VFA = Volume rongga terisi aspal

V_{se} = Volume agregat (berdasarkan berat jenis efektif)

V_{MA} = Volume rongga diantara mineral agregat

V_{ab} = Volume aspal yang terabsorpsi atau diserap agregat

V_{sb} = Volume agregat (berdasarkan berat jenis *bulk*/curah)

V_b = Volume aspal

V_{mm} = Volume campuran tanpa rongga udara

V_{mb} = Volume *bulk*/curahh campuran aspal beton padat

2.9. Metode Marshall

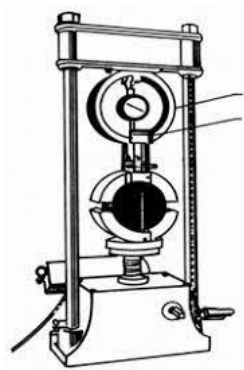
2.9.1. Alat Uji Marshall

Konsep pengujian *marshall* diperkenalkan pertama kali oleh *Bruce Marshall*, yang bekerja sebagai *Bitumios Engineering* pada Departemen Jalan Raya Negeri Bagian Missisipi. Pada atahun 1948, uji tersebut telah di adopsi oleh beberapa organisasi maupun pemerintahan pada banyak negara, selanjutnya dikembangkan oleh *U.S. Corp of Engineer* dan mengikuti prosedur PC-0201-76, AASHTO T 245-74 atau ASTM D 1559-62T.

Pengujian Marshall bertujuan untuk mengukur daya tahan (*stabilitas*) campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastik (*flow*). *Flow* didefinisikan sebagai perubahan deformasi atau rengangan suatu campuran mulai dari tanpa beban, sampai beban maksimum.

Alat *marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi alat penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung, cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 22,2 KN (5000 Ibs) yang digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm dan arloji pengukur arloji pengukur alir (*flowmeter*) dengan ketelitian 0,25 mm untuk mengukur kelelahan plastik (*flow*) beserta perlengkapannya pada kecepatan 51 mm/menit dan suhu 60°C. kadar aspal optimum ditentukan berdasarkan parameter tersebut. Pengujian stabilitas bertujuan untuk mengukur ketahanan campuran terhadap beban lalu lintas dan uji kelelahan plastik untuk menentukan perubahan bentuk yang terjadi akibat beban lalu lintas. Benda uji *Marshall* berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm). prosedur pengujian *Marshall* mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHT 245-90.

Pada kondisi lalu lintas berat perencanaan *Marshall* menetapkan pemadatan benda uji 2×75 tumbukan dengan batas rongga 3,0 sampai 5,5% (spesifikasi Bina Marga 2018). Hasil pengamatan selama beberapa tahun ruas-ruas jalan di indonesia mengindikasikan rongga dalam campuran (VIM) setelah beberapa tahun dilalui lalu lintas mencapai kurang dari 1% sehingga terjadi perubahan plastik.



Gambar 2.7 Alat Uji *Marshall*

Sumber : (sukirman, 2003)

2.9.2. Karakteristik Marshall

Karakteristik campuran aspal panas aspal dapat di ukur dengan sifat-sifat *Marshall* yang ditunjukkan pada nilai-nilai sebagai berikut :

2.9.2.1. Kerapatan (*Density*)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Nilai *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi campuran, jenis dan kualitas bahan penyusun, faktor pemadatan, penggunaan kadar aspal dan pemadatan maupun temperatur pemadatan, penggunaan kadar aspal dan penambahan bahan adiktif dalam campuran.

2.9.2.2. 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 (*ruting*). 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 mudah mengalami *ruting*, 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.

2.9.2.3. Kelelahan (*flow*)

Kelelahan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga durabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya.

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 (*ruting*).

2.9.2.4. Void in the Mix (VIM)

Void in the Mix (VIM) merupakan persentasi 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 akan mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang mengakibatkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (*reveling*) dan pengelupasan permukaan (*striping*) pada lapis perkerasan.

2.9.2.5. Void in the Mineral Aggregate (VMA)

Void in the mineral aggregate (VMA) adalah rongga udara antara butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu data dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kedapatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai VMA yang disyaratkan adalah minimum 16% (spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi III).

2.9.2.6. Void Filled With Asphalt(VFA)

Void Filled With Asphalt(VFA) merupakan presentase rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedapatan campuran terhadap air dan udara serta sifat campuran. Dengan kata lain VFA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai VFA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedapatan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai VFA terlalu tinggi akan mengakibatkan bleeding. Nilai VFA 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 secara campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak akan lama.

2.9.2.7. Hasil Bagi Marshall (MQ)

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *Flow*. Nilai MQ akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai MQ berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Nilai MQ disyaratkan minimal 250 kg/mm. nilai MQ dibawah 250 kg/mm mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *wasboarding*, *ruting* dan *bleeding*.

2.9.3. Hubungan Antara kadar Aspal dengan Parameter *Marshall*

Kecendrungan bentuk lengkung hubungan antar kadar aspal dengan parameter *Marshall* adalah :

1. Stabilitas akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum, dan setelah nilai stabilitas itu menurun
2. Kelelehan atau *flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal
3. Lengkung berat volume identik dengan lengkung stabilitas, tetapi nilai stabilitas tercapai pada kadar aspal yang sedikit lebih tinggi dari kadar aspal untuk mencapai VMA stabilitas maksimum
4. Lengkung VIM akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai maksimum
5. Lengkung VMA akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambahnya kadar aspal.
6. Lengkung FVA akan bertambah dengan bertambahnya kadar aspal, karena dalam hal ini makin banyak terisi oleh aspal.

2.10. Penentuan Kadar Aspal Optimum

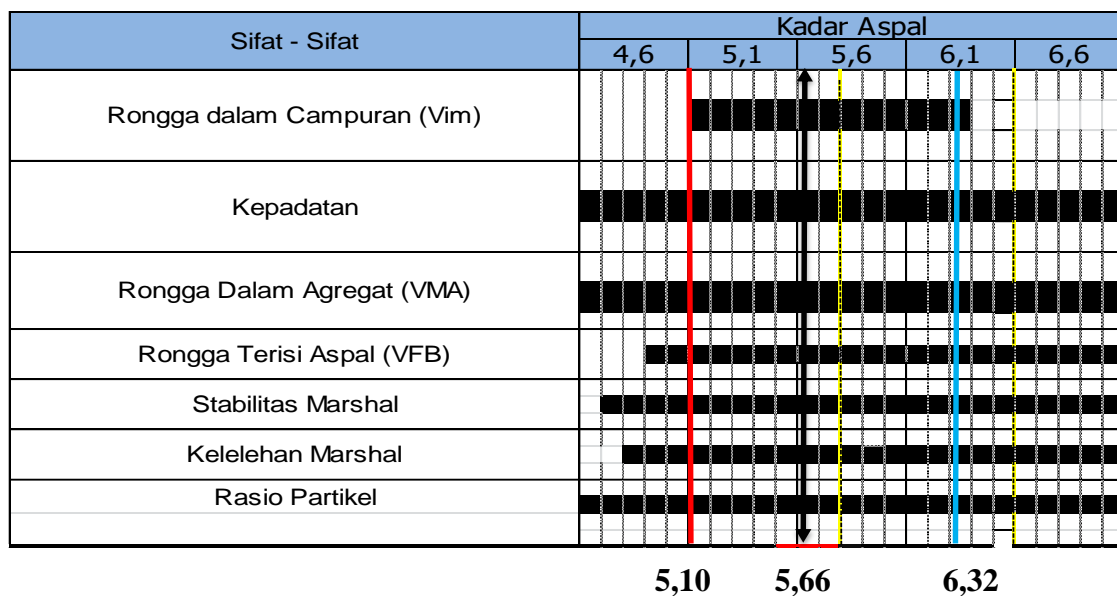
Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Berdasarkan gambar diatas maka diperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO) yang memenuhi seluruh parameter *marshall* yaitu ketahanan (stabilitas), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), *marshall bagi* (MQ), dan kepadatan (*density*) yang memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan berdasarkan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018, Revisi 2 didapat nilai kadar aspal antara 5,10% sampai 6,32% sehingga kadar aspal optimum yang didapatkan yaitu 5,66% dari hasil rata-rata kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter aspal *Marshall*.

Tabel 2,8 Rentang Kadar Aspal Yang Memenuhi Spesifikasi Proporsi Awal

Parameter Marshall	Spesifikasi	Rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi (%)
Kepadatan	Min. 2gr/cm ³	4,6 - 6,6
Stabiitas	Min : 800 kg	4,6 - 6,6
VIM	Min : 3.0 % Maks : 5.0 %	5,1 - 6,3
VMA	Min : 14%	4,6 - 6,6
VFA	Min : 65%	4,9 - 6,6
Kelelahan	2 - 4 mm	4,8 - 6,6
Rasio Partikel	0,6-1,6 %	4,6 - 6,6

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium





Hasil dari parameter-parameter *marshall* yang memenuhi spesifikasi inilah yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum.



Gambar 4.25 Diagramm Batang Kadar Aspal Optimum Variasi I

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Keterangan grafik :

-  : Kadar Aspal Optimum (KAO)
-  : MAX
-  : MIN
-  : Parameter Marshall (yang memenuhi Spesifikasi)