

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Perkerasan Jalan Raya

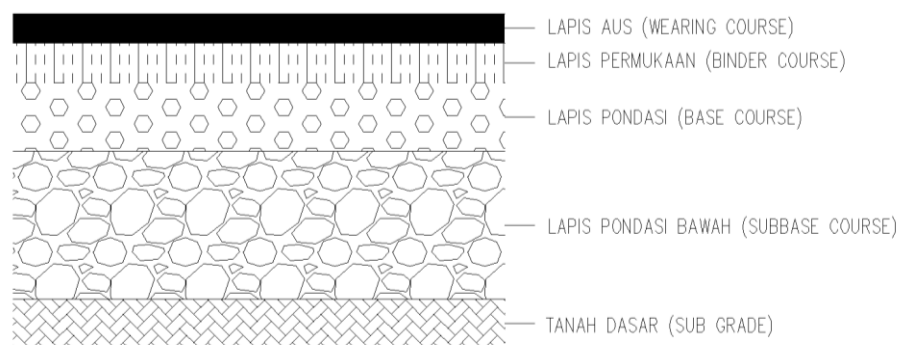
Perkerasan Jalan Raya adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu yang memiliki ketebalan dan kekuatan yang sudah direncanakan agar mampu menerima dan menyalurkan beban kendaraan lalu lintas ke tanah dasar secara efektif. Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti (Sukirman S, 2003).

Teknologi jalan dimulai dengan adanya jalan tanah pada jaman dahulu, jalan tanah adalah jalan dengan permukaan tanah yang datar kemudian dipadatkan dengan alat pemadat yang sederhana. Jalan seperti ini mudah rusak akibat kontak beban yang sangat berat, untuk meningkatkan kualitas jalan tanah, maka jalan tanah yang sudah dipadatkan dilapisi dengan batu kerikil yang biasanya berukuran 4 sampai 6 cm. Jalan jenis ini menggunakan batu dari sungai umumnya licin dan mudah lepas sehingga pada perkembangannya mulai digunakan batu pecah. Hingga saat ini perkerasan jalan di Indonesia menggunakan batu pecah dicampur terlebih dahulu antara batuan dengan aspal kemudian dihamparkan dan dipadatkan. Dengan cara pencampuran terlebih dahulu maka didapatkan campuran agregat dan aspal yang seragam dan memiliki stabilitas yang tinggi.

Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan.

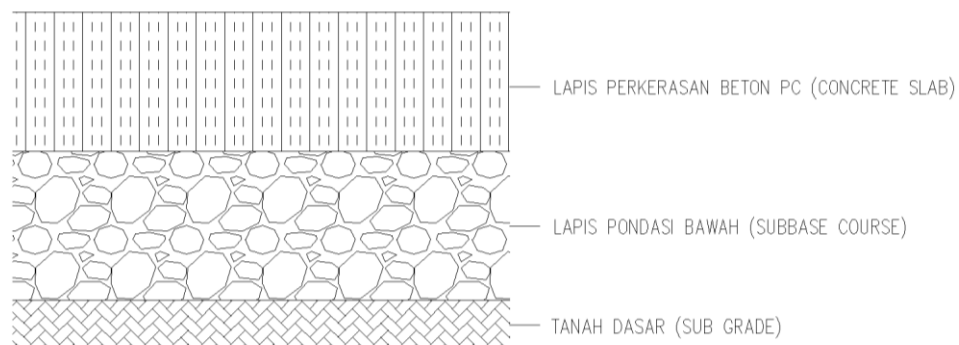
Berdasarkan bahan pengikatnya, pada jenis konstruksi perkerasan jalan dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. *Flexible Pavement* (Perkerasan Lentur), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat agregatnya, terdiri dari beberapa lapisan yang berfungsi sebagai menyebarkan beban ke tanah dasar yang telah dipadatkan setiap lapisan, lapisan tersebut adalah lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*sub-base course*) dan lapisan tanah dasar (*subgrade*). Komponen *flexible pavement* disajikan pada Gambar 2.1.



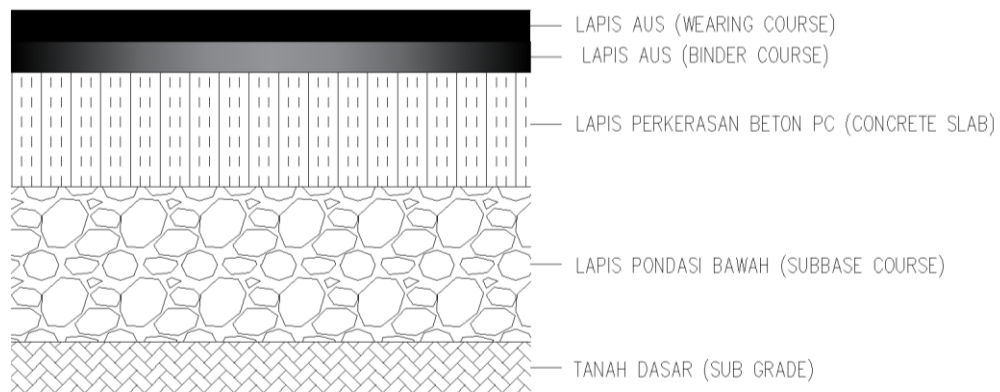
Gambar 2.1. Komponen *Flexible Pavement* (Komponen Perkerasan Lentur)

2. *Rigid Pavemenet* (Perkerasan Kaku) yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikatnya, membentuk pelat beton (*slab*) yang kaku dengan atau tanpa tulangan yang diletakkan diatas tanah dasar tanpa perkuatan pondasi bawah. Komponen *rigid pavement* disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Komponen *Rigid Pavement* (Komponen Perkerasan Kaku)

3. *Composite Pavement* (Gabungan antara *Flexible* dan *Rigid Pavement*), yaitu gabungan antara *flexible* dan *rigid pavement*, gabungan ini bertujuan agar mampu menahan lebih beban lalu lintas akibat beban kendaraan yang lewat. Komponen *composite pavement* disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Komponen *Composite Pavement* (Komponen Gabungan antara *Flexible* dan *Rigid Pavement*)

2.2. Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapis Beton Aspal (Laston) adalah lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri atas agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal keras yang dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu, laston secara umum direncanakan dengan memperoleh kepadatan yang tinggi, nilai struktural yang tinggi namun kadar aspal yang rendah (Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pt T-01-2002-B). Laston dibedakan menjadi 3 macam campuran yaitu:

1. *AC-WC (Asphaltic Concrete-Wearing Course)* adalah Laston sebagai lapisan aus dengan ketebalan lapisan minimum 4 cm.
2. *AC-BC (Asphaltic Concrete-Binder Course)* adalah Laston sebagai lapisan antara dengan ketebalan lapisan minimum 6 cm.
3. *AC-Base (Asphaltic Concrete-Base Course)* adalah Laston sebagai lapisan pondasi dengan ketebalan lapisan minimal 7,5 cm.

Sebagai lapis permukaan perkerasan jalan, Laston (AC) yang mempunyai nilai struktur, kedap air, dan mempunyai stabilitas tinggi. Ketentuan sifat-sifat campuran beraspal panas menurut Spesifikasi Umum 2010 untuk Laston (AC) bergradasi halus. Adapun sifat-sifat laston (AC) ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Spesifikasi sifat-sifat laston (AC) gradasi halus.

Sifat-sifat Campuran		LASTON		
		AC-WC	AC-BC	AC-Base
Kadar Aspal efektif	Min	4,3	4,0	3,5
Penyerapan Aspal (%)	Max	1,2		
Jumlah Tumbukan Perbidang		75		112
Rongga dalam Campuran (VIM) (%)	Min	3		
	Max	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (VFA) (%)	Min	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min	800		1800*
Pelelehan (mm)	Min	3		5
<i>Marshall Quotient</i> (Kg/mm)	Min	250		300
Rongga dalam Campuran (%)	Min	2,5		

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 Perkerasan aspal Tabel 6.3.3. (1c)

2.3. Bahan Campuran Perkerasan Jalan Lentur

Bahan campuran pada perkerasan lentur pada umumnya aspal sebagai pemeran utama pada campuran pengikat agregat yang dicampurkan sehingga menjadi satu kesatuan yang padat dan berisi (*solid*), campuran ini sudah digunakan sejak dahulu hingga sekarang untuk perkerasan jalan raya di Indonesia. Bahan campuran perkerasan lentur terdiri dari, aspal, agregat dan *filler*.

2.3.1. Aspal (*Asphalt*)

Aspal merupakan material yang *termoplastis* yaitu melunak dan menjadi cair jika dipanaskan, dan kental kembali menjadi padat jika didinginkan kembali (Ismanto B, 2011). Sedangkan sifat-sifat aspal atau dalam istilah baku *asphaltic bitumen*, terdiri dari unsur *carbon* (*c*), sebagai komponen utama $\pm 80\%$ dalam keadaan *kolloid* disebut *asphaltene* bercampur dalam cairan yang disebut *maltene*, *hidrogen* (*H*) $\pm 10\%$ sisanya unsur *sulfur* (*S*), membentuk berbagai persenyawaan *hidrokarbon*. Aspal dihasilkan dari minyak bumi melalui proses residu *oil* (Sukirman S, 1999). Bahan bensin, solar, minyak tanah merupakan hasil destilasi pada temperatur yang berbeda. Aspal merupakan campuran bitumen dan mineral yang banyak digunakan pada perkerasan lentur untuk konstruksi jalan, aspal yang sering digunakan untuk bahan konstruksi jalan terdiri dari:

1. Aspal alam yaitu aspal yang ditemukan di Pulau Buton (Sulawesi Tenggara, Indonesia), Perancis, Swiss dan Amerika Latin. Menurut sifat tingkat kekerasan aspal alam dapat diperingkat sebagai berikut:
 - a. Batuan (*Rock Asphalt*)
 - b. Plastis (*Trinidad Lake Asphalt*)
 - c. Cair (*Bermuda Lake Asphalt*)

Sedangkan menurut tingkat kemurniannya dapat diperingkat sebagai berikut:

- a. Murni dan hamper murni (*Bermuda Lake Asphalt*)
 - b. Tercampur dengan mineral (*Rock Asphalt*)
2. Aspal batuan yaitu aspal yang dibuat dari bahan dasar minyak bumi sehingga umum dikenal sebagai aspal minyak, tetapi aspal jenis ini menjadi keras pada suhu ruangan maka sering juga disebut sebagai aspal keras. Minyak bumi dapat digolongkan ke dalam *paraffin base crude oil* adalah minyak bumi berkadar *paraffin* tinggi dan *asphaltene* atau *napthen base crude oil* adalah minyak bumi berkadar *paraffin* rendah dan *mixed base crude oil* merupakan campuran dari keduanya. Minyak bumi tersebut disuling untuk memisahkan bagian-bagian yang mudah menguap dari bagian yang sukar menguap. Residu atau sisa dari destilasi ini disuling sekali lagi pada suhu yang sama akan tetapi pada tekanan rendah (hampa udara) dan menghasilkan fraksi fraksi seperti gas, oil, minyak pelumas, sebagai sisa dihasilkan *straight run asphalt*. Pada umumnya *straight*

run asphalt menghasilkan aspal dengan penetrasi yang tinggi sehingga untuk menghasilkan aspal dengan penetrasi yang dibutuhkan, aspal tersebut masih harus diproses dengan cara *blowing* menjadi *semi blown asphalt*, *blowing* merupakan proses penyulingan hampa udara yang dicampur dengan udara pada suhu 400-550⁰ F.

3. Aspal cair yaitu aspal keras yang dicairkan hingga 20% kerosin untuk mencapai nilai viskositas tertentu dan memiliki fraksi destilasi tertentu. Viskositas dibutuhkan agar aspal mampu menutupi agregat dalam waktu yang singkat.
4. Aspal emulsi adalah aspal yang lebih cair dari pada aspal cair dan mempunyai sifat dapat menembus pori-pori halus dalam batuan yang tidak dapat dilalui oleh aspal cair biasa. Aspal emulsi terdiri dari butir-butir aspal halus.
5. Ter yaitu menyerupai cairan yang diperoleh dari material organis seperti kayu atau batu bara yang melalui proses pemijiran atau destilasi dengan suhu tinggi tanpa zat asam, penamaan tar diberikan sesuai dengan asalnya seperti tar batu bara atau tar kayu. Pemakaian tar pada konstruksi jalan jarang digunakan karena produksi tar sangat sedikit dan mutunya tidak seragam.

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis aspal emulsi yang diproduksi oleh *Shell*.

Konstruksi jalan yang dibangun dengan berbagai jenis aspal yang bisa digunakan untuk segala jenis lalu lintas, seperti lalu lintas ringan, sedang, berat serta landasan pacu. Adapun klasifikasi aspal menurut AASHTO ditampilkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Klasifikasi Aspal Keras

Berdasarkan Nilai Penetrasi	Nilai Penetrasi									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	min	max	min	max	min	Max	min	max	min	max
Penetrasi	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Titik Nyala	232	-	232	-	232	-	218	-	177	-
Daktilitas	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-
Kelarutan pada <i>trichloroethele</i>	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-
Kehilangan berat	-	0,8	-	0,8	-	1,0	-	1,3	-	1,5
Penetrasi setelah kehilangan berat	58	-	54	-	50	-	46	-	40	-
Daktilitas setelah kehilangan berat	-	-	50	-	75	-	100	-	100	-
Berdasarkan Nilai Viskositas	Nilai Viskositas									
	AC-2.5		AC-5		AC-10		AC-20		AC-30	
Viskositas 60 ⁰ C	250±50		500±100		1000±20 0		2000±40 0		3000±60 0	
Viskositas 135 ⁰ C	125		175		250		300		350	
Penetrasi	220		140		80		60		50	
Titik Nyala	163		177		219		232		232	
Kelarutan pada <i>trichloroethene</i>	99		99		99		99		99	
Kehilangan Berat	-		1,0		1,0		0,5		0,5	

Sumber: AASHTO 1980

2.3.2. Agregat

Kadar agregat dalam campuran bahan perkerasan jalan pada umumnya berkisar antara 90-95 % dari berat total atau berkisar antara 75-95 % dari volume total. Agregat merupakan bahan utama untuk menahan beban roda kendaraan yang melintas pada konstruksi jalan tersebut. Definisi agregat adalah suatu bahan keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran, yang berupa butiran atau pecahan, yang termasuk didalamnya pasir, kerikil, agregat pecah (batu gunung), abu (debu) agregat (W Sulaksono S, 2012).



Gambar 2.4. Agregat Pecah

2.3.3. Bahan Pengisi Rongga (*filler*)

Bahan pengisi rongga (*filler*) berfungsi sebagai pengisi rongga udara pada material sehingga memperkaku lapisan aspal. Apabila campuran agregat masih belum masuk dalam spesifikasi yang telah ditentukan, maka pada campuran Laston perlu ditambah dengan *filler*. Bahan pengisi (*filler*) harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan mempunyai sifat non plastis, *filler* yang baik adalah yang tidak tercampur dengan kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki dalam keadaan kering (kadar air maksimum 1%). Bahan pengisi dalam penelitian ini adalah limbah mesin fotocopi (*Waste Toner*).

2.4. Limbah Toner

Limbah *Toner* merupakan serbuk atau serum berwarna hitam yang dihasilkan dari mesin fotocopi atau printer laser untuk membentuk cetakan teks dan gambar pada kertas, *toner* terbuat dari bubuk karbon dan dicampur dengan bahan adiktif seperti *styrene akrilat kopolimer*, *styrene kopolimer*, *styrene polimer*, *resin hidrokarbon* atau bahan lain sehingga daya rekat pada kertas meningkat. *Toner* yang berukuran lebih kecil akan menghasilkan cetakan yang lebih baik pula, karena hasilnya akan terlihat tajam (Mang, 2010). Partiker-partikel yang bekerja pada mesin fotocopi membuat tinta bubuk meleleh akibat peleburan pada suhu yang tinggi kemudian melekat pada kertas. Kandungan *toner* dengan merek dagang Canon IR 5000 yang sering digunakan oleh *outlet-outlet* fotocopi tersebut mengandung 60,41% Karbon, 12,5% Oksida, 27,00 % Besi, 00,54% Si sebagai *impurity*. Untuk merek dagang *Toner* HP 1102 mengandung karbon 53,40%, oksida 10,85%, dan besi 35,27% (Prita Yustisia Wardani, 2013). Limbah *toner* pada mesin fotocopi umumnya dibuang begitu saja tanpa ada manfaat yang berlebih, pada penelitian ini akan memanfaatkan limbah *toner* sebagai *filler* laston terhadap AC-BC gradasi halus.



Gambar 2.5. Limbah Toner

2.4.1. Pengaruh Senyawa *Toner* Terhadap Karakteristik Campuran Aspal

1. Karbon (C)

Karbon atau zat arang merupakan unsur non-logam dan *bervalensi 4 (tetravalent)*, yang berarti bahwa terdapat empat elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Karbon lebih sulit teroksidasi dari senyawa lainnya tetapi karbon dapat bereaksi dengan oksigen, menghasilkan oksida karbon dalam suatu reaksi yang mereduksi oksida menjadi logam. Korelasi terhadap campuran aspal, karbon mampu mereduksi senyawa oksida yang rentan untuk konstruksi perkerasan jalan raya.

2. Oksida (O)

Oksida adalah senyawa kimia yang sedikitnya mengandung sebuah atom oksigen serta sedikitnya unsur lain, oksida ini cenderung menjadi gas, cairan atau padatan dengan titik leleh rendah, oksida merupakan kandungan sebuah atom oksigen, atom ini merupakan salah satu senyawa yang harus diminimalisir pada konstruksi perkerasan jalan raya.

3. Besi (Fe)

Besi adalah senyawa yang sangat berlimpah, besi merupakan sebagian besar bagian inti dan dalam bumi, besi merupakan contoh *alotropi* pada logam yang stabil apabila menerima tekanan yang sangat tinggi dengan volume yang rendah. Besi juga dikenal sebagai *ferit* yaitu bentuk besi paling stabil pada temperatur normal dan apabila dicampur dengan logam tertentu dan karbon akan membentuk baja. Korelasi terhadap campuran aspal, besi mampu menambah kuat tekan (*stability*) pada konstruksi perkerasan jalan raya.

4. Silika (Si)

Silika merupakan unsur *metalloid tetravalensi* bersifat lebih tidak reaktif (*paramagnetic*), silika memiliki daya tahan yang tinggi hal ini dibuktikan dengan banyaknya senyawa silika modern yang digunakan untuk pembuatan keramik berdaya tahan tinggi. Dengan karakteristik silika yang memiliki daya tahan yang tinggi diharapkan silika mampu menambah *durability* dari campuran beraspal.

2.5. Gradasi

Gradasi atau butir memiliki ragam ukuran (diameter) dari bahan agregat, butir tersebut terbagi kedalam beberapa kelompok ukuran (fraksi). Adapun fraksi-fraksi tersebut dapat dikelompokkan pada Tabel 2.3.

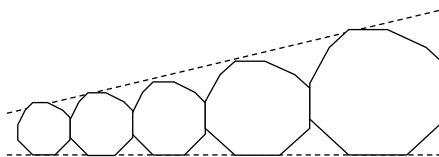
Tabel 2.3. Klasifikasi fraksi gradasi

Klasifikasi	Nama	Batas Ukuran (mm)
Fraksi Halus	Pasir Halus	0,05 - 0,5
Fraksi Debu	Debu Batu	
Fraksi Sedang	Krasak atau Pasir Kasar	0,5 - 5
Fraksi Kasar	Kerikil atau Koral	5 - 30

Sumber: *Konstruksi Jalan Raya Cetakan ke 4, penerbit YBPPU 1987*

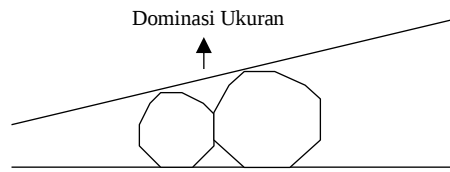
Pada umumnya semakin bermacam ragam ukuran butir atau semakin banyak fraksi gradasi yang digunakan, rongga-rongga antar butir (*voids*) akan semakin kecil sehingga konstruksi perkerasan jalan semakin kuat. Gradasi pada umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu:

1. Gradasi Rapat (*Dense Graded/Well Graded*), yaitu campuran agregat yang memiliki komposisi yang seimbang antara agregat halus dan agregat kasar, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik (*well graded*). Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapis perkerasan dengan stabilitas tinggi, kedap air dan berat volume besar.



Gambar 2.6. Gradasi Rapat (*Dense Graded/Well Graded*)

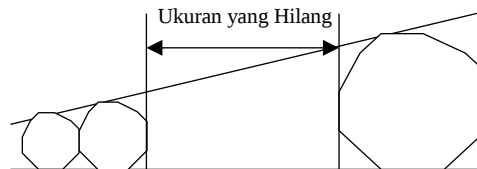
2. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*), yaitu campuran agregat yang memiliki ukuran yang hampir sama, sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang dan berat volume kecil.



Gambar 2.7. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*)

3. Gradasi Senjang (*Poorly Graded/Gap Graded*)

Gradasi senjang merupakan gradasi yang tidak memenuhi dari gradasi rapat dan gradasi seragam, Agregat dengan gradasi senjang menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak diantara kedua jenis di atas.



Gambar 2.8. Gradasi Senjang (*Poorly Graded/Gap Graded*)

Penentuan distribusi ukuran agregat akan mempengaruhi kekakuan jenis campuran aspal. Gradasi rapat akan menghasilkan campuran dengan kekakuan yang lebih besar dibandingkan gradasi terbuka. Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang telah diberikan, pada penelitian ini gradasi yang digunakan adalah gradasi nilai tengah dari spesifikasi AC-BC, yang ditampilkan pada Tabel 2.4.

Kurva gradasi agregat campuran laston AC-BC % Lolos Vs Diameter Saringan (mm). Untuk campuran AC-BC digunakan spesifikasi yang diperoleh dari persamaan 2.1.

$$p = 100 \times \left(\frac{d}{D} \right)^{0,45} \quad (2.1)$$

Keterangan:

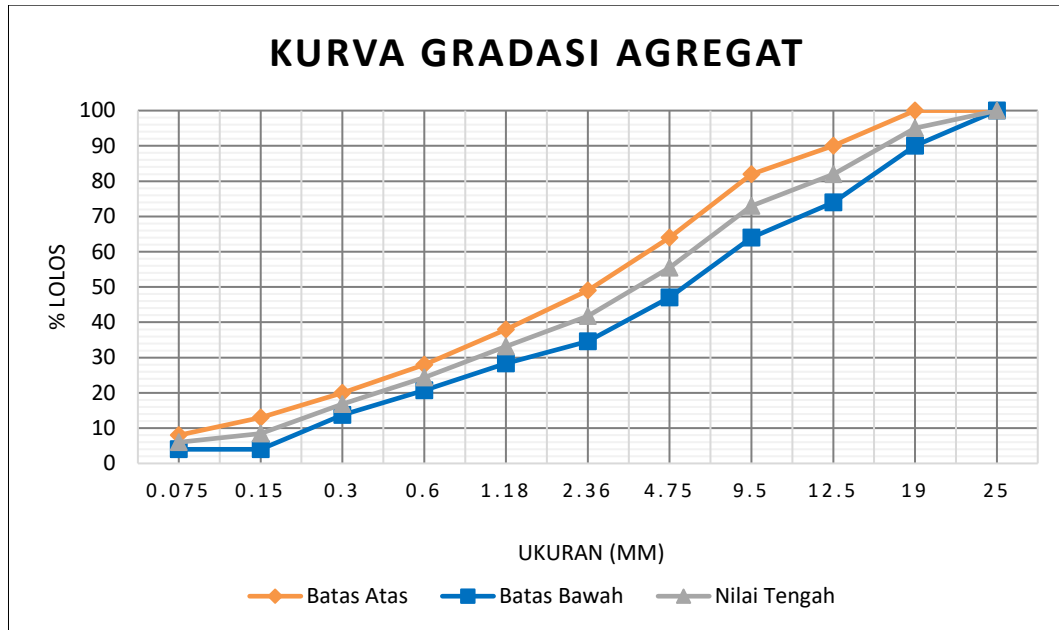
- p = Persentase bahan yang lolos saringan d (%)
- D = Ukuran butir terbesar (mm)
- d = Ukurang saringan yang ditinjau (mm)

Tabel 2.4. Gradasi Agregat AC-BC Gradasi Halus

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang Lolos Terhadap Agregat Dalam Campuran Aspal		
	Laston (AC)		
	Gradasi Halus		
	WC	BC	Base
37,5			100
25		100	90 - 100
19	100	90 – 100	73 - 90
12,5	90 – 100	74 – 90	61 - 79
9,5	72 – 90	64 – 82	47 - 67
4,75	54 – 69	47 – 64	39,5 - 50
2,36	39,1 – 53	34,6 – 49	30,8 - 37
1,18	31,6 – 40	28,3 – 38	24,1 - 28
0,600	23,1 – 30	20,7 – 28	17,6 - 22
0,300	15,5 – 22	13,7 – 20	11,4 - 16
0,150	9 – 15	4 – 13	4 - 10
0,075	4 - 10	4 - 8	3 - 6

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 Perkerasan Aspal

Komponen ini mengacu pada kurva *fuller* menggunakan *Power* 0,45. kurva gradasi agregat disajikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Kurva Grafik Agregat Campuran Laston AC-BC

2.6. Volumetrik Campuran Aspal Beton

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

1. *Bulk Specific Gravity* (Berat Jenis Curah) adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. 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 dinyatakan dalam model matematik sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.2.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat

P_1, P_2, P_n = Persentase masing-masing fraksi agregat

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

2. *Effective Spesific Gravity* (Berat Jenis Efektif) 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 dan suhu tertentu pula. Berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) diukur dengan AASHTO T-209-90, maka berat jenis efektif campuran (G_{se}) termasuk rongga dalam partikel agregat yang menyerap aspal dinyatakan dalam model matematik sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.3.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

G_{se} = Berat Jenis Efektif

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. *Theoritis Spesific Gravity* (Berat Jenis Maksimum Campuran) untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung dengan menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) dinyatakan dalam model matematik sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.4.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

P_s = Kadar agregat persen terhadap berat total campuran

4. Kadar Aspal Efektif merupakan 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 dinyatakan dalam model matematik sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.5.

$$P_{be} = P_b \times \frac{ba}{100} \times P_s \quad (2.5)$$

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

5. Penyerapan Aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total tidak terhadap campuran yang dinyatakan dalam model matematik sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.6.

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_b \quad (2.6)$$

6. *Void in Mineral Aggregate* (Rongga udara dalam agregat) adalah rongga udara antar 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 jumlah dan temperature pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. 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 ini dinyatakan dalam model matematik sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.7 dan 2.8.

- a. Terhadap berat campuran total

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (2.7)$$

- b. Terhadap berat agregat total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \times 100 \quad (2.8)$$

Keterangan:

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

G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat

P_s = Kadar agregat persen terhadap berat total campuran

P_b = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran

7. *Void in The Mix* (Rongga udara dalam campuran) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat *porous*. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (*2 leveling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan. Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding* karena suhu yang tinggi, maka viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Pada saat itu apabila lapis perkerasan menerima beban lalu lintas maka aspal akan terdesak keluar permukaan karena tidak cukupnya rongga bagi aspal untuk melakukan penetrasi dalam lapis perkerasan. Volume rongga udara dalam persen ini dinyatakan dalam model matematik sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.9.

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (2.9)$$

8. *Void Filled with Asphalt* (Rongga terisi aspal) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, yaitu jumlah dan temperature pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain VFA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Untuk mendapatkan rongga terisi aspal dapat dinyatakan dalam model matematik sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.10.

$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{G_{mm}} \quad (2.10)$$

2.7. Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal rencana merupakan dugaan awal kadar aspal optimum yang direncanakan setelah pemilihan dan penggabungan dari tiga fraksi agregat, fungsi aspal adalah sebagai pengikat dan pengisi rongga udara maka kadar aspal yang akan direncanakan harus optimum. Kadar aspal yang terlalu sedikit akan mengakibatkan berkurangnya ikatan antar agregat (*interlocking*) dan masuknya air kedalam rongga, sedangkan dengan kadar aspal yang terlalu berlebih akan mengakibatkan pengumpulan aspal dipermukaan perkerasa (*bleeding*) yang berkontak langsung dengan roda kendaraan, hal ini akan mempercepat pengelupasan aspal dari agregat sehingga terjadi lubang dan berkurangnya ikatan antar agregat.

Penentuan kadar aspal optimum dapat dinyatakan dalam model matematik sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.11.

$$Pb = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \quad (2.11)$$

Keterangan:

Pb = Dugaan kadar aspal optimum

CA = Nilai persentase agregat kasar

FA = Nilai persentase agregat halus

FF = Nilai persentase *filler*

K = Konstanta (0,5-1,0)

2.8. Marshall Test

Konsep uji *Marshall* dalam campuran aspal dikembangkan oleh *Bruce Marshall*, seorang insinyur bahan aspal bersama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian *The U.S. Army Corp of Engineers*, melanjutkan penelitian dengan intensif dan mempelajari hal-hal yang ada kaitannya, selanjutnya meningkatkan dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian *Marshall* dan pada akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran pengujiannya, kemudian distandarisasikan didalam *American Society for Testing and Material 1989 (ASTM d-1559)*.

2.8.1. Uji Marshall

Uji *Marshall* ini hanya untuk menguji campuran beton aspal panas yang menggunakan aspal keras dengan penetrasi tertentu dan agregat yang memiliki ukuran maksimum 1 inci (Marpaung L, 2004). Pada percobaan ini menggunakan benda uji standar berupa sebuah cetakan yang berdiameter 101,6 mm (4 inci) dan tinggi 75 mm (3 inci). Benda uji didapatkan dengan menggunakan alat pemadat *Marshall (Marshall Compaction Hummer)* dengan berat 4,54 kg (10 lbs), diameter 3. 7/8 inci dan tinggi jatuh 457 mm (18 inci) yang dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit.

2.8.2. Parameter Pengujian Marshall

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

1. Stability (Daya tahan)

Stabilitas berhubungan erat dengan kekuatan campuran menahan deformasi akibat beban lalu lintas (Sony Sulaksono W, 2003). Stabilitas dapat diperoleh dari tahanan fraksi antar agregat, agregat yang saling mengunci (*interlocking*) dan daya kohesi dari aspal. Untuk meningkatkan stabilitas pada campuran diperoleh dengan cara menggunakan agregat yang bersudut dan

berkarakteristik kasar, menggunakan gradasi rapat (*Dense Graded*) dan menggunakan aspal berpenetrasi rendah.

2. *Flow* (Kelelehan plastis)

Kelelehan plastis adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, jumlah gradasi agregat dan temperatur pemadatan.

3. *Marshall Quotient* (Stabilitas dan kelelehan serta hasil bagi) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar rasio *Marshall Quotient* tersebut menyatakan campuran semakin kaku sedangkan semakin rendah *Marshall Quotient* menyatakan campuran semakin *flexible*.

4. Penentuan nilai MQ dapat dinyatakan dalam model matematik sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.12.

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (2.12)$$

Keterangan:

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

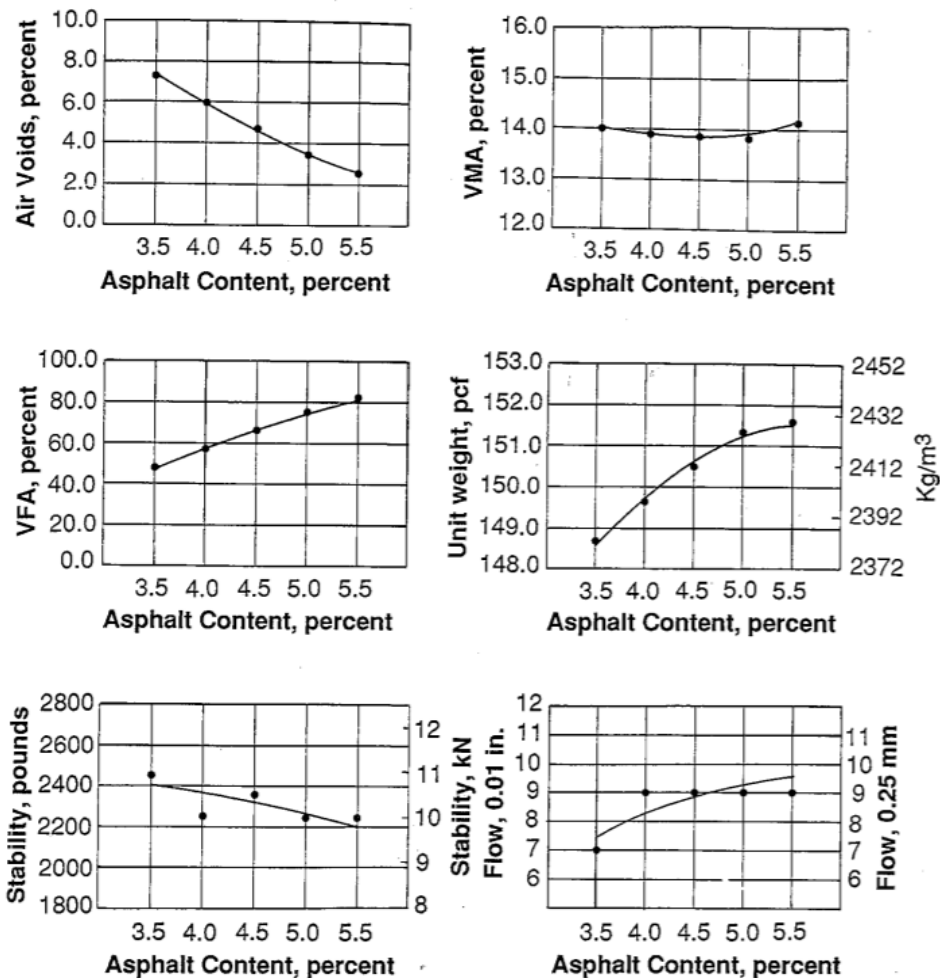
S = Nilai stabilitas terkoreksi (kg)

F = Nilai *flow* (mm)

5. *VMA (Void in Mineral Aggregate)* adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume.

6. *VIM (Void in The Mix)* merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran.

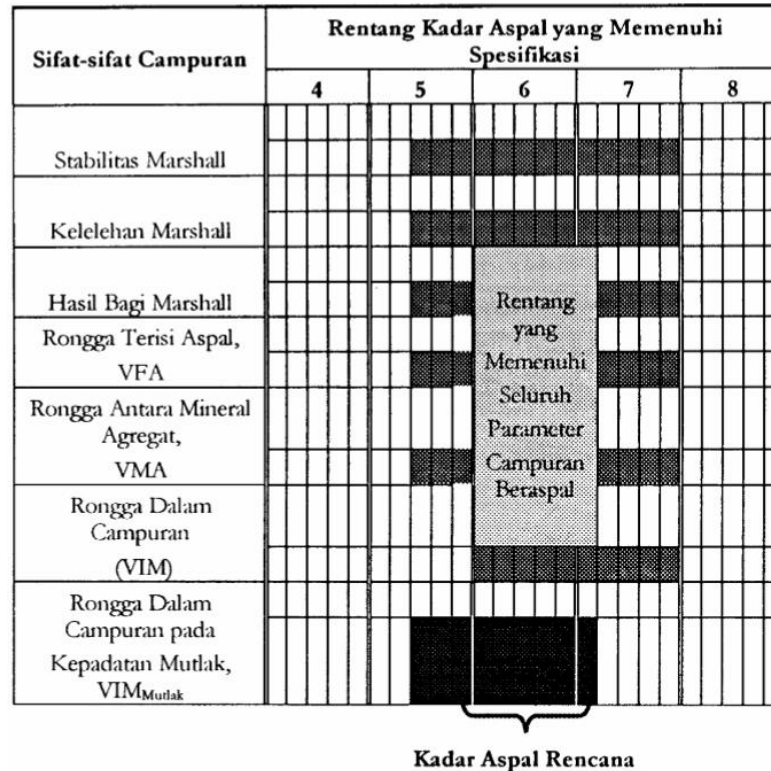
7. *VFA (Void Filled with Asphalt)* merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal.



Gambar 2.10. Grafik Parameter Karakteristik *Marshall*

Sumber: *Asphalt Institute Manual Series No. 2 (MS-2) Sixth Edition 1997.*

8. Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu sebagai perekat dan pengisi, maka jumlah aspal yang digunakan dalam campuran harus tepat atau optimum. Salah satu cara yang dipakai adalah metoda *Asphalt Institute*, yang didasarkan kepada hasil dan *Marshall test*. Sehingga kondisi aspal optimum yang ditentukan adalah kadar aspal dalam menahan beban hingga terjadi kelelahan plastis selain itu sebelumnya juga telah dihitung *persentase* rongga dalam campuran maupun pada agregat. Karena hal tersebut juga diperhitungkan dalam menentukan KAO. Sebagai ilustrasi penentuan KAO pada suatu campuran sebagai berikut.



Gambar 2.11. Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)
 Sumber: Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak 1999.

2.9. Penelitian Sejenis Terdahulu

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan penggunaan limbah sebagai bahan *filler* lapis perkerasan beraspal telah dilakukan para peneliti terdahulu dan dapat dijadikan acuan atau literatur untuk penyusunan penelitian ini. Adapun hasil penelitian yang berkaitan antara lain:

1. Penelitian sejenis yang terdahulu sudah pernah dibahas yaitu : penambahan jenis *filler* Abu Vulkanik dan Abu Batu, yang disusun oleh Hadi Ali 2011, dengan judul “*Studi Durabilitas Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dengan Penggunaan Abu Vulkanik dan Abu Batu Sebagai Filler*”. Pada penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa penambahan proporsi *filler* abu vulkanik dan abu batu pada campuran beton aspal (AC) memperlihatkan adanya beberapa perubahan pada karakteristik *Marshall* diantaranya nilai *Durability*, *Stabilty*, *Flow*, *VMA*, *VIM*, *VFA* dan *Marshall Quotient*. Nilai *Durability* Abu Vulkanik lebih baik dibandingkan dengan Abu Batu, yaitu

dengan persentase 99,08262 %, sedangkan pada Abu Batu 98,84916 %, *Stability* tertinggi terjadi pada kadar aspal 5,5 % yaitu 1009,350 kg untuk *filler* Abu Batu dan 1025,301 kg untuk *filler* Abu Vulkanik, Nilai *flow* tertinggi pada kadar aspal 6,5 % yaitu 4,667 mm untuk *filler* Abu Batu dan 4,267 mm untuk *filler* Abu Vulkanik, nilai *VFA* pada *filler* Abu Vulkanik lebih tinggi, nilai *VIM* pada *filler* Abu Vulkanik lebih rendah, nilai *VMA* pada *filler* Abu Vulkanik lebih rendah dan nilai *Marshall Quotient* pada *filler* Abu Vulkanik lebih tinggi dengan Kadar Aspal 5,0 % yaitu sebesar 265,705 kg/mm untuk *filler* Abu Batu dan 292,265 kg/mm untuk *filler* Abu Vulkanik, dengan *Deviasi* 9,087 %.

2. Penelitian sejenis berikutnya yang terdahulu sudah pernah dibahas yaitu: penambahan jenis *filler* Batu Kapur, yang disusun oleh Meirdiansyah dan Sendy Satrio 2014, dengan judul “*Karakteristik Campuran Laston AC-BC dengan Penggunaan Batu Kapur Daerah Batu Raja Sebagai Filler dengan Metode Marshall*”. Pada penelitian ini diperoleh kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,75 %, *filler* Batu Kapur sebesar 3 %, nilai stabilitas 2020 Kg, nilai *Marshall Quotient* sebesar 17 %, nilai *VIM* sebesar 3,9 %, nilai *VMA* sebesar 17 %, nilai kepadatan sebesar 2,362 gr/cc, nilai *flow* diperoleh 3,63 mm dan *VFA* diperoleh 77 %.
3. Penelitian sejenis selanjutnya menggunakan jenis *filler* Limbah Karbit, yang disusun oleh Rina Septiana dan Fadil Baroqah, 2014, dengan judul “*Pengaruh Penggunaan Limbah Karbit Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Panas Jenis AC-WC*”. Pada penelitian ini penambahan limbah karbit memperoleh nilai KAO sebesar 5,89 %, nilai *VMA* mengalami penurunan, nilai *VIM* diperoleh sebesar 6,42 %, nilai *VFA* mengalami peningkatan, nilai stabilitas sebesar 1950 Kg, nilai *flow* sebesar 10 mm dan nilai *Marshall Quotient* memperoleh nilai 1400 Kg/mm.