

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Peninjauan pustaka dilakukan untuk mengetahui penelitian yang sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini, antara lain:

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul	Metode	Kesimpulan
1	Rian Putrowijoyo (2006)	Kajian Laboratorium Sifat <i>Marshall</i> dan <i>Durabilitas Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)</i> dengan Membandingkan Penggunaan Antara Semen <i>Portland</i> dan Abu Batu Sebagai <i>Filler</i>	<i>Marshall</i> dan <i>Durabilitas</i>	Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan penggunaan semen Portland dengan abu batu sebagai filler. Hasil pengujian indeks stabilitas menunjukkan bahwa campuran dengan filler 100% semen Portland memiliki persentase 95,15%, sementara campuran 50% abu batu - 50% semen Portland memiliki persentase 92,02 dan campuran 100% abu batu memiliki persentase 91,5040%.
2	F Harun, F Deseia dan Y Kadir (2023)	Pemanfaatan Sedimen Aquatis sebagai Filler dalam Campuran Aspal Beton Lapis Aus	<i>Marshall</i>	Penelitian ini bertujuan untuk menguji limbah sedimen Danau Limboto yang dapat digunakan sebagai pengisi dalam campuran AC-WC. Hasil penelitian ini adalah Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,35%. Karakteristik Marshall:

Lanjutan Tabel 1.

No	Nama	Judul	Metode	Kesimpulan
				<p>Variasi sedimen 0,1% dan 0,2% hasil karakteristik Marshall memenuhi syarat spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi II, yaitu Variasi sedimen 0,5%; 1,0%; 1,5%; dan 2% tidak memenuhi standar karakteristik Marshall. Pada variasi sedimen sebesar 0,1%, diperoleh nilai kepadatan 2,304; VIM 3,66; VMA 17,91; VFA 79,56; stabilitas 1259,44 dan flow 3,18. Pada variasi sedimen 0,2%, diperoleh nilai kepadatan 2,314; VIM 3,21; VMA 17,52; VFA 81,68; stabilitas 1208,08 dan flow 3,00.</p>
3	Rahmat Djameluddin, Andrisman Satria dan Syafril Syafril (2021)	Pemanfaatan Sedimen Sungai dan Abu Batu Sebagai Bahan Pengisi Filler Pada Lapisan AC-WC	<i>Marshall</i>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan filler sedimen sungai dan abu batu terhadap karakteristik marshall pada lapisan AC-WC sesuai spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 1 Divisi 6 menggunakan variasi filler 75%:25% dengan kadar aspal optimum 5,5%. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa filler sedimen sungai dan abu batu bisa digunakan dalam lapisan AC-WC.</p>

B. Landasan Teori

Pada landasan teori ini dilakukan pengkajian dan evaluasi teori-teori yang ada sebagai dasar atau landasan untuk melakukan penelitian pengaruh campuran sedimen dan semen *portland* sebagai *filler* terhadap *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) untuk dipertimbangkan dan dipahami secara mendalam.

1. Perkerasan Jalan Raya

Perkerasan jalan adalah lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar (*subgrade*) yang berfungsi untuk menahan dan menyalurkan beban lalu lintas secara merata sehingga tidak merusak struktur jalan. Perkerasan ini merupakan bagian dari jalan raya yang diperkeras dengan menggunakan agregat serta bahan pengikat seperti aspal atau semen *portland* sebagai bahan utamanya. Dalam perkerasan jalan, karakteristik agregat, aspal, *sedimen* dan semen *Portland* sangat penting untuk memastikan kekuatan dan daya tahan perkerasan terhadap beban lalu lintas. Nilai stabilitas campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) yang menggunakan *sedimen* dan semen *portland* sebagai *filler* perlu diidentifikasi untuk menjamin kualitas perkerasan jalan yang dibangun. Perkerasan jalan dapat dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan bahan pengikatnya:

- a. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) adalah jenis perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat utama. Setiap lapisan pada perkerasan ini bersifat fleksibel dan mampu menahan beban lalu lintas dengan menyebarkan beban ke tanah dasar.

- b. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) menggunakan semen *portland* sebagai bahan pengikat. Di atas tanah dasar, dipasang plat beton menggunakan tulangan atau tidak, dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah. Sebagian besar beban lalu lintas ditanggung oleh pelat beton tersebut, namun pengulangan beban yang terjadi bisa menimbulkan retak.
- c. Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*) merupakan kombinasi dari perkerasan lentur dan perkerasan kaku, yang biasanya terdiri dari lapisan perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau sebaliknya.



Gambar 2. Komponen Perkerasan Lentur dan ukuran Tebal Laston

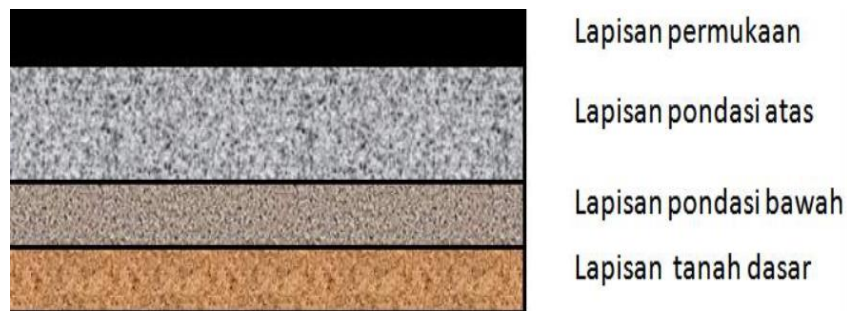
Tabel 2. Tebal Nominal Jenis Campuran Aspal

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
<i>Stone Matrix Asphalt-Tipis</i>		SMA-Tipis	3,0
<i>Stone Matrix Asphalt- Halus</i>		SMA-Halus	4,0
<i>Stone Matrix Asphalt- Kasar</i>		SMA-Kasar	5,0
Lataston	Lapis Aus	HRS-WC	3,0
	Lapis Pondasi	HRS-Base	3,5
Laston	Lapis Aus	AC-WC	4,0
	Lapis Antara	AC-BC	6,0
	Lapis Pondasi	AC-Base	7,5

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2)

2. Struktur Perkerasan Jalan

Struktur pada perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapisan, yaitu:



Gambar 3. Struktur Perkerasan Jalan

- a. Lapisan Permukaan (*Surface Course*) adalah lapisan paling atas yang langsung berhadapan dengan roda kendaraan dan lingkungan.

Lapisan ini umumnya berfungsi untuk sebagai berikut:

1) Lapisan Penahan Beban Roda

Lapisan perkerasan permukaan yang mampu menahan beban roda dan memiliki lapisan yang stabilitas yang tinggi agar tetap kuat menahan beban selama masa penggunaannya.

2) Lapisan Kedap Air

Lapisan yang mencegah air masuk, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawah. Dengan begitu, lapisan di bawah tidak menjadi lemah. Permukaan tetap datar dan tidak licin, sehingga kendaraan bisa berjalan dengan nyaman dan bebas bergerak, yang memastikan keamanan dalam berkendara atau keamanan lalu lintas.

3) Lapisan Aus (*Wearing Course*)

Lapisan perkerasan aspal yang melindungi dari dampak air, memberikan permukaan yang rata, halus dan kesat sehingga membentuk permukaan yang tidak licin.

4) Lapisan Antara

Lapisan Antara adalah lapisan tambahan yang berada di antara lapisan permukaan (*surface course*) dan lapisan pondasi atau lapisan dasar (*base course*) dalam konstruksi perkerasan aspal. Tujuannya adalah untuk mengoptimalkan interaksi antara dua lapisan tersebut, serta untuk meningkatkan ketahanan terhadap retak serta lapisan yang menyebarkan beban ke bawah sehingga dapat dipikul oleh lapisan yang lain dan mengurangi tegangan.

- b. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*) merupakan lapisan yang berada di antara lapisan permukaan dan lapisan bawah pondasi, yang berfungsi untuk menahan beban dari lalu lintas dan menyebarkan beban tersebut ke lapisan dibawahnya.
- c. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*) adalah lapisan yang berada di antara lapisan pondasi atas dan lapisan tanah dasar, yang berfungsi untuk menahan beban lalu lintas dan menyebarkan beban tersebut ke lapisan tanah dasar dibawahnya.
- d. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*) merupakan lapisan tanah dasar yang mendukung seluruh konstruksi perkerasan jalan dan harus memiliki daya dukung yang cukup mampu menahan beban lalu lintas.

3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perkerasan Jalan

Beberapa faktor yang mempengaruhi perkerasan jalan antara lain:

- a. Beban Lalu Lintas: kuantitas dan kualitas beban lalu lintas yang melintasi jalan mempengaruhi tebal dan komposisi perkerasan yang dibutuhkan;
- b. Sifat Tanah Dasar: kondisi dan daya dukung tanah dasar mempengaruhi desain dan konstruksi perkerasan jalan;
- c. Kondisi Lingkungan: cuaca, air dan kondisi lingkungan lainnya dapat mempengaruhi mutu dan keawetan perkerasan jalan.

4. Karakteristik Perkerasan Jalan

Karakteristik perkerasan jalan meliputi daya tahan, ketahanan dan kenyamanan yang dapat mempengaruhi baik buruknya kualitas suatu perkerasan dan komposisi bahan penyusunnya serta karakteristik aspal dalam campuran perkerasan.

5. *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) adalah lapisan permukaan jalan yang langsung menerima beban roda kendaraan. Lapisan ini didesain agar tahan terhadap perubahan atau variasi suhu, gaya geser, beban vertikal dan lapisan tahan air. AC-WC merupakan lapisan aspal beton yang berfungsi sebagai lapis aus, terdiri dari campuran aspal dan agregat dengan gradasi senjang (*gap graded*) dalam perbandingan tertentu

yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas. Standar ketebalan lapisan AC-WC menurut Bina Marga adalah 4,0 cm.

Dalam merancang campuran aspal beton, ada empat sifat dasar aspal beton yang perlu seperti stabilitas, daya tahan (durabilitas), fleksibilitas dan mempunyai ketahanan terhadap selip (*skid resistance*). Apabila keempat sifat tidak terpenuhi secara optimum, maka perencanaan campuran aspal beton tidak akan berhasil, karena campuran yang baik harus memenuhi dalam keempat sifat tersebut. Aspal yang digunakan dalam konstruksi perkerasan ini adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70.

Penggunaan *filler* yang tepat pada AC-WC yang memiliki agregat bergradasi senjang dapat menutupi celah atau kekosongan butiran yang tidak bisa terisi oleh agregat. Hal ini membantu membuat lapisan AC-WC lebih tahan terhadap air, lebih kuat menghadapi perubahan cuaca, mampu menyerap aspal dalam jumlah yang cukup tinggi, serta memberikan permukaan yang mampu menahan beban berat tanpa mudah retak.

6. Agregat

Agregat adalah bahan berupa material seperti kerikil, pasir, batu pecah, atau mineral lain yang digunakan dalam campuran beton atau adukan. Agregat menjadi komponen utama dalam struktur perkerasan jalan, dengan komposisi sekitar 90-95% berdasarkan berat atau 75-85% berdasarkan volume. Sifat-sifat fisik agregat merupakan faktor penting yang memengaruhi kemampuan perkerasan jalan dalam menahan beban lalu lintas serta ketahanannya terhadap kondisi cuaca.

Agregat memiliki klasifikasi kelompok sebagai berikut:

a. Berdasarkan asalnya

1) Agregat Alam

Agregat yang terbentuk secara alami melalui proses aliran Sungai yang biasa berbentuk bulat dan licin.

2) Agregat Buatan

Agregat yang dibuat dengan mesin pemecah batu atau *stone crusher* yang biasanya berbentuk kubus atau bersudut dengan permukaan kasar.

b. Berdasarkan ukurannya

1) Agregat Halus

Agregat halus adalah butiran mineral yang memiliki ukuran 0,063 mm sampai 4,76 mm. Berdasarkan gradasi dalam SNI 2847-2013 gradasi ini meliputi butiran yang lolos ayakan 2,0 mm, 1,2 mm, 0,6 mm dan 0,3 mm. Agregat halus terdiri dari pasir kasar maupun halus serta material halus yang berasal dari pecahan batu. Agregat halus harus memenuhi standar yang telah ditetapkan sesuai dengan SNI berikut:

Tabel 3. Syarat Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2)

2) Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan butiran mineral yang berukuran lebih besar dan tersaring dengan saringan nomor 4 atau 4,75 mm. Dalam campuran bahan perkerasan jalan, agregat kasar ini terdiri dari batu pecah yang bersih, kuat, kering, tahan lama, memiliki bentuk bersudut serta bebas dari kotoran tanah dan bahan lain yang tidak diinginkan dan memberikan kekuatan dan ketahanan agar dapat menerima serta menahan beban lalu lintas. Berikut adalah ketentuan syarat yang berlaku untuk agregat kasar:

Tabel 4. Syarat Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan Bentuk Agregat terhadap Larutan		Natrium sulfat	Maks. 12%
		Magnesium Sulfat	Maks. 18%
Abrasi dengan Mesin los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 Putaran	Maks. 6%
		500 Putaran	Maks. 30%
Abrasi dengan Mesin Los Angeles	Semua jenis campuran Beraspal bergradasi lainnya	100 Putaran	Maks. 8%
		500 Putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butiran pecah pada agregat kasar		SMA	100/90
		Lainnya	95/90
Partikel pipih dan lonjong		SMA	Maks. 5%
		Lainnya	Maks. 10%

Lanjutan Tabel 4.

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Material lolos ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2)

Tabel 5. Metode Pengujian Agregat

Jenis Pengujian	Metode Pengujian
Agregat Kasar (Batu Pecah)	
Analisa Saringan	SNI ASTM C136:2012
Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>)	SNI 1969:2016
Penyerapan air	SNI 1969:2016
Keausan Agregat (<i>Abration</i>)	SNI 2417:2008
Agregat Halus (Pasir)	
Analisa Saringan	SNI ASTM C136:2012
Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>)	SNI 1970:2016
Penyerapan Air	SNI 1970:2016
Kadar Lumpur	SNI 03-4428-1997

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2)

7. Karakteristik Agregat

Untuk mengetahui spesifikasi agregat yang akan digunakan, maka dilakukan pengujian dengan metode sebagai berikut:

- a. Pengujian Analisa Saringan Agregat (SNI ASTM C136:2012)

Analisis saringan adalah proses untuk menentukan berapa persentase berat agregat yang dapat melewati saringan, dan data persentase ini digambarkan dalam bentuk grafik distribusi ukuran butiran. Berikut adalah rumus perhitungannya:

$$X (\%) = 100\% - \%kumulatif \dots\dots\dots (1)$$

$$Y (\%) = \frac{W^{10}}{W^{11}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

X = Agregat yang lolos tiap saringan (%)

Y = Agregat yang tertahan tiap saringan (%)

W^{10} = Berat tertahan (gram)

W^{11} = Berat total sampel (gram)

- b. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar (SNI 1970:2016), Agregat Halus (SNI 1969:2016) dan *Filler* (SNI ASTM 136:2012).

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan berat jenis serta kapasitas penyerapan air dari agregat kasar, agregat halus, dan filler, sekaligus mengelompokkan material-material tersebut berdasarkan berat jenis masing-masing. Berikut ini adalah rumus-rumus yang digunakan dalam proses perhitungannya:

$$\text{Berat Jenis bulk (kering oven)} = \frac{A}{B - C} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Berat Jenis bulk (kering permukaan)} = \frac{B}{B - C} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{A}{A - C} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{(B - A) \times 100\%}{A} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

A = Berat contoh kering oven

B = Berat contoh permukaan

C = Berat contoh dalam air

c. Pengujian Kadar Lumpur / *Sand Equivalent Test* (SNI 03-4428-1997)

Tujuan pengujian ini bermaksud untuk mengetahui tingkat persentase kadar lumpur agregat yang akan dimanfaatkan pada campuran. Adapun rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

A = Berat contoh kering sebelum dicuci

B = Berat contoh kering setelah dicuci

d. Pengujian Kelekatan Agregat terhadap Aspal

Pengujian ini bermaksud agar mengetahui persentase kelekatan agregat terhadap permukaan aspal. Adapun rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Kelekatan} = \frac{A_1}{A_2} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

A₁ = Luas tertutup aspal (M²)

A₂ = Luas total permukaan (M²)

e. Pengujian Agregat Lolos Saringan No. 200 (SNI ASTM C117:2012)

Pengujian bertujuan untuk menentukan persentase bahan agregat yang melewati saringan no. 200. Rumus untuk perhitungan tersebut:

$$\text{Berat Kering Awal: } W_3 = W_1 - W_2 \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{Berat Kering Sudah Pencucian: } W_5 = W_4 - W_2 \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Agregat Lolos Saringan No. 200: } W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

W_1 = Berat kering uji + wadah (gram)

W_2 = Berat wadah (gram)

W_3 = Berat kering benda uji awal (gram)

W_4 = Berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)

W_5 = Berat kering benda uji sesudah pencucian (gram)

W_6 = % bahan lolos saringan No. 200

- f. Pengujian keausan agregat menggunakan mesin abrasi *Los Angeles* (SNI 2417-2018).

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan persentase keausan agregat kasar, yang dihitung berdasarkan berat agregat yang lolos saringan no. 12 (1,7mm) dibandingkan dengan berat awalnya. Agregat dianggap memenuhi syarat jika nilai keausannya tidak melebihi 40%. Jika nilai keausan lebih dari 40%, agregat tersebut sebagai material tidak layak.

Tabel 6. Gradasi dan Berat Benda Uji Keausan Agregat

Ukuran Saringan				Gradasi dan Berat Benda Uji (gram)						
Lolos Saringan		Tertahan Saringan		A	B	C	D	E	F	G
mm	inci	mm	inci							
75	3,0	63	2½	-	-	-	-	2500±50	-	-
63	2½	50	2,0	-	-	-	-	2500±50	-	-
50	2,0	37,5	1½	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
37,5	1½	25	1	1250±25	-	-	-	-	5000±25	5000±25
25	1	19	¾	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25
19	¾	12,5	½	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12,5	½	9,5	⅜	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9,5	⅜	6,3	¼	-	-	2500±10	-	-	-	-
6,3	¼	4,75	No. 4	-	-	2500±10	2500±10	-	-	-
4,75	No. 4	2,36	No. 8	-	-	-	2500±10	-	-	-
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±10	10000±10
Jumlah Bola				12	11	8	6	12	12	12
Berat bola (gram)				5000±25	4584±25	3330±20	2500±15	5000±25	5000±25	5000±25

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2)

Tabel 7. Formulir Pengujian Uji Keausan agregat Kasar

Gradasi Pemeriksaan		Jumlah Putaran = 500 putaran	
Ukuran Saringan		I	II
Lolos	Tertahan	Berat (a)	Berat (a)
75 (3")	63 (2½")		
63 (2½")	50 (2")		
50 (2")	37,5 (1½")		
37,5 (1½")	25 (1")		
25 (1")	19 (¾")		
19 (¾")	12,5 (½")		
12,5 (½")	9,5 (⅜")		
9,5 (⅜")	6,3 (¼")		
6,3 (¼")	4,75 (No. 4")		
4,75 (No. 4")	2,36 (No. 8")		
Jumlah Berat			
Berat tertahan saringan No.12 sesudah percobaan (b)			
Pan			

(Sumber: Modul Praktikum Bahan Perkerasan Jalan)

Pengujian keausan agregat menggunakan mesin abrasi *Los Angeles* digunakan putaran mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm; jumlah putaran gradasi A, gradasi B, gradasi C dan gradasi D adalah 500 putaran dan untuk gradasi E, gradasi F dan gradasi G adalah 1000 putaran. Untuk menghitung hasil pengujian, gunakan persamaan berikut:

$$Keausan = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan:

a = Berat benda uji semula (gram)

b = Berat benda uji tertahan saringan No. 12 (1,70 mm) (gram)

8. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah proses pengaturan ukuran butir agregat dengan tujuan meningkatkan kekuatan dan ketahanan dari campuran tersebut. Gradasi agregat yang digunakan dalam aspal beton sangat penting untuk menentukan kualitas campuran dengan stabilitas tinggi dan tahan terhadap gesekan. Gradasi agregat berfungsi untuk mengoptimalkan distribusi ukuran butir agregat dalam campuran sehingga mengurangi rongga udara, meningkatkan kekuatan dan ketahanan dari campuran. Gradasi campuran AC-WC biasanya menggunakan gradasi menerus dengan sedikit rongga dalam struktur agregatnya yaitu jenis gradasi yang mengatur ukuran butir agregat secara berurutan dari besar ke kecil. Gradasi agregat yang sesuai dengan persyaratan atau standar yang telah ditetapkan pada perkerasan jalan, yang tercantum dalam tabel 8 berikut ini:

Tabel 8. Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal (AC-WC)

Ukuran Ayakan (mm)		% 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	65-90	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	35-55	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			15-35	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	2-9	2-9	4-9	4-8	3-7

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2)

9. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) adalah material halus yang digunakan dalam campuran aspal dan beton untuk meningkatkan sifat material tersebut. *Filler* ini terdiri dari material yang lolos pada saringan nomor 200 (0,075mm) yang berfungsi sebagai pengisi rongga dalam campuran aspal. Penggunaan atau aplikasi bahan pengisi pada campuran aspal digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan campuran terutama pada lapisan permukaan AC-WC. Pengaruh bahan pengisi dapat meningkatkan ketahanan gesek campuran aspal terhadap gesekan, aus, cuaca seperti panas dan dingin. Penambahan bahan pengisi (*filler*) dapat meningkatkan kekuatan campuran aspal jika digunakan dalam jumlah yang tepat.

Menurut Bina Marga revisi 2 tahun 2018 bahan pengisi (*filler*) untuk campuran beraspal, adalah:

- a. Bahan pengisi yang digunakan dapat berupa debu batu kapur, debu kapur padam, debu kapur magnesium, atau dolomit sesuai dengan standar AASHTO M303-89 (2014), serta semen atau abu terbang tipe C dan F yang telah disetujui oleh pengawas pekerjaan. Penggunaan bahan pengisi jenis semen hanya diperbolehkan untuk campuran aspal panas dengan bahan pengikat aspal keras Penetrasi 60-70.
- b. Bahan pengisi yang digunakan harus dalam kondisi kering, bebas dari gumpalan, dan saat diuji dengan metode pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus mengandung minimal 75% material yang lolos saringan nomor 200 (0,075 mm) dari total beratnya.

- c. Bahan pengisi yang digunakan harus berkisar antara 1% hingga 2% dari berat total agregat untuk semen, sedangkan untuk bahan pengisi lainnya persentasenya antara 1% sampai 3%, kecuali pada campuran SMA yang tidak diperbolehkan menggunakan semen.

Bahan pengisi (*filler*) berfungsi sebagai:

- a. Pengisi antara partikel agregat sehingga mengurangi rongga udara dan meningkatkan tahanan gesek serta penguncian antar butir.
- b. Dapat membentuk suspensi yang mengikat partikel agregat, sehingga aspal menjadi lebih kental dan campuran aspal menjadi lebih kuat.

10. Pengujian Karakteristik Aspal Beton

Pengujian karakteristik aspal beton adalah suatu proses utama yang dilakukan untuk memastikan kualitas dan keamanan struktur konstruksi, dengan mengikuti prosedur dan standar yang berlaku serta melaksanakan rekomendasi perbaikan jika diperlukan. Tujuannya adalah agar aspal beton yang digunakan memenuhi standar, memiliki kualitas terbaik, dan sesuai dengan regulasi yang berlaku di Indonesia. Karakteristik aspal beton pada sifat-sifat campuran aspal, seperti:

- a. *Stabilitas* yaitu kapasitas campuran aspal beton untuk menahan tekanan tanpa mengalami perubahan bentuk permanen (deformasi);
- b. *Durabilitas* yaitu kapasitas campuran aspal beton untuk tahan terhadap cuaca dan pengaruh lingkungan;
- c. *Fleksibilitas* yaitu kapasitas campuran aspal beton untuk menahan perubahan bentuk tanpa mengalami kerusakan;

- d. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kapasitas campuran aspal beton untuk mampu menahan beban lalu lintas yang berulang-ulang tanpa mengalami kerusakan;
- e. Kekesatan permukaan (*skin resistance*) yaitu kapasitas campuran aspal beton untuk mampu menahan gesekan tanpa mengalami aus;
- f. Kedap air yaitu kapasitas campuran aspal beton untuk menahan air dan mengurangi erosi pada permukaan jalan;
- g. Kemudahan dalam pelaksanaan mencakup kemudahan pada proses pencampuran, pengangkutan, penghamparan dan pemadatan campuran aspal beton.

Pada penelitian ini akan menggunakan pengujian *Marshall* untuk menentukan karakteristik aspal beton. Pengujian karakteristik aspal beton dimulai dari tahapan sebagai berikut:

- a. Benda Uji *Marshall*

Sampel campuran aspal beton diuji menggunakan alat *Marshall* yang terdiri dari silinder atau kubus yang diisi dengan campuran aspal beton.

- b. Pengujian *Stabilitas*

Nilai *Stabilitas* dihitung berdasarkan berat beban yang ditambahkan pada silinder atau kubus yang diperlukan untuk menghancurkan sampel.

- c. Pengujian *Flow*

Sampel diuji dengan mengukur seberapa jauh campuran dapat mengalir sebelum hancur.

d. *Void in Mixture (VIM)*

VIM adalah ukuran yang menunjukkan seberapa besar volume udara yang masih tertinggal dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan. Hal ini untuk menunjukkan volume pori atau udara yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. Untuk menghitung nilai VIM diperoleh dari perbandingan volume total campuran dengan volume padat campuran, lalu dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran.

Nilai VIM yang terlalu tinggi dapat menyebabkan beton aspal mengalami oksidasi yang berlebihan sehingga mempercepat penuaan aspal. Sebaliknya, nilai VIM yang terlalu rendah bisa mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* atau retak, serta menyebabkan aspal keluar ke permukaan jalan saat suhu meningkat.

e. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

VMA adalah persentase volume udara yang terperangkap di antara butiran agregat dalam campuran aspal setelah pemadatan. VMA juga merupakan Volume ruang hampa (ruang udara) antara partikel agregat dalam campuran aspal yang telah dipadatkan. VMA menunjukkan volume ruang kosong (ruang udara) dan volume aspal efektif yang menempati ruang antarpartikel agregat, tetapi tidak termasuk volume aspal yang menempel pada agregat karena dianggap sebagai bagian dari struktur pori agregat itu sendiri.

f. *Void Filled with Bitumen* (VFB)

VFB adalah volume ruang yang diisi oleh aspal dalam campuran aspal yang telah dipadatkan dan menunjukkan rasio volume udara yang terdapat didalam partikel-partikel agregat. VFB mencakup volume aspal yang efektif yang menempati ruang antarpartikel agregat, tetapi tidak termasuk volume aspal yang diserap oleh agregat karena dianggap sebagai bagian dari struktur pori agregat itu sendiri.

g. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

IKS adalah parameter yang digunakan untuk menilai sejauh mana campuran aspal mempertahankan stabilitas dan ketahanannya setelah mengalami proses perendaman. IKS dihitung berdasarkan hasil pengujian sifat mekanik benda uji, seperti stabilitas dan *flow*, dengan membandingkan nilai kekuatan sebelum dan setelah perendaman. Secara lebih spesifik, IKS dapat dihitung dengan menggunakan data-data hasil pengujian perendaman campuran aspal. IKS yang memenuhi spesifikasi dan terbaik adalah yang memiliki nilai terbesar. Semakin besar nilai IKS, semakin baik potensi durabilitas campuran aspal. Sebaliknya, semakin kecil nilai IKS, semakin besar kehilangan kekuatan campuran aspal.

Nilai IKS didapatkan dengan uji *Marshall Immersion*. IKS merupakan persentase *stabilitas* benda uji setelah direndam selama 24 jam pada suhu 60°C yang dibandingkan *stabilitas* benda uji pada pengujian *Marshall konvensional* (perendaman selama 30 menit). IKS dihitung dengan rumus:

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

S1 = Nilai *mean* stabilitas setelah perendaman 30 menit

S2 = Nilai *mean* stabilitas setelah perendaman 24 jam

Nilai karakteristik campuran yang diperoleh merupakan *output* utama dari penelitian ini. Persyaratan karakteristik campuran lapis aspal beton tercantum dalam Tabel 9 berikut ini:

Tabel 9. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Aspal Beton

Sifat -sifat campuran		Lapis aspal beton (laston)		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Lapis Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0.075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0.6		
	Maks	1.6		
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min	3.0		
	Maks	5.0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas marshall (kg)	Min	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C		Min. 90		

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2)

11. Pemeriksaan Agregat dan Aspal

Pemeriksaan agregat dan aspal adalah proses yang dilakukan untuk menentukan kualitas ada campuran aspal beton dengan mempertimbangkan sifat dan karakteristik bahan yang akan digunakan, perencanaan dan konstruksi yang baik dan dapat memberikan pelayanan

yang aman dan tahan lama. Berikut adalah pengertian dan tujuan dari masing-masing pemeriksaan:

- a. Pemeriksaan agregat bertujuan untuk menentukan karakteristik agregat yang akan digunakan dalam campuran perkerasan jalan.
- b. Pemeriksaan aspal bertujuan untuk menentukan sifat-sifat aspal yang akan digunakan dalam campuran perkerasan jalan.
- c. Pemeriksaan campuran aspal dan agregat dilakukan untuk menentukan kekuatan dan stabilitas campuran dengan melakukan pemeriksaan agregat dan aspal secara menyeluruh, dapat dipastikan bahwa campuran perkerasan jalan memiliki kualitas yang memadai untuk digunakan dalam konstruksi jalan.

Tabel 10. Prosedur Pemeriksaan Agregat dan Aspal

No	Pemeriksaan	Standart Pemeriksaan	Satuan
A. Agregat Kasar			
1	Gradasi	SNI 03-1968-1990	%
2	Berat jenis bulk	SNI 03-1969-1990	-
3	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	%
B. Agregat Halus			
1	Gradasi	SNI 03-1968-1990	%
2	Berat jenis bulk	SNI 03-1970-1990	-
3	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	%
C. Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)			
1	Berat jenis	SNI 03-2460-1991	-
D. Aspal			
1	Berat jenis (25°C)	SNI 06 2441-1991	-
2	Penetrasi (25°C, 5 det)	SNI 06-2456-1991	0,1mm
3	Titik lembek (<i>ring and ball</i>)	SNI 06-2434-1991	°C
4	Kehilangan berat (163°C)	SNI 06-2440-1991	% berat
5	Daktilitas	SNI 06-2432-1991	cm

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina marga 2018 revisi 2)

12. Sedimen

Sedimen adalah material yang terbentuk dari pengendapan partikel-partikel kecil seperti pasir, kerikil dan lumpur di permukaan bumi. Proses pembentukan sedimen dapat terjadi karena erosi, transportasi yaitu pengangkutan material dari tempat asalnya ke tempat yang baru dan deposisi yaitu pengendapan material di tempat baru yang terjadi di laut, sungai ataupun daratan. Faktor yang mempengaruhi sedimen yaitu sumber, kondisi lingkungan dan kemiringan. Sedimen terbagi menjadi tiga jenis yaitu:

- a. Pasir : partikel yang berukuran antara 0,0625 mm sampai 2 mm;
- b. Kerikil : partikel yang berukuran antara 2 mm sampai 64 mm;
- c. Lumpur : partikel yang berukuran lebih besar dari 64 mm.

Kandungan Utama yang terdapat dalam sedimen adalah:

- a. Partikel Mineral :
 - 1) Batuan Litogenik : merupakan partikel yang berasal dari pelapukan batuan, seperti kuarsa, *feldspar*, dan mika. Partikel ini sering menjadi komponen dominan dalam sedimen.
 - 2) Batuan Biogenik : terdiri dari sisa-sisa organisme hidup, seperti kerang, foraminifera, dan koral yang terdegradasi.
- b. Bahan Organik:
 - 1) Sisa organisme : termasuk sisa tumbuhan dan hewan yang terdekomposisi. Kandungan bahan organik ini penting untuk kesuburan sedimen dan dapat mempengaruhi kualitas air.

2) Zat Organik Total: kandungan bahan organik dalam sedimen sering dikategorikan berdasarkan persentasenya, seperti sangat tinggi (>35%), tinggi (17-35%), sedang (7-17%), rendah (3.5-7%), dan sangat lemah (<3.5%).

c. Air dan Gas:

1) Kandungan Air: sedimen biasanya mengandung air pori yang dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik sedimen.

2) Gas: beberapa sedimen juga dapat mengandung gas terlarut, seperti karbon dioksida atau metana, yang dihasilkan oleh proses dekomposisi bahan organik.

d. Nutrisi dan Unsur Hara:

1) Sedimen dapat kaya akan nutrisi seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang berasal dari proses pelapukan mineral dan dekomposisi bahan organik. Unsur hara ini penting untuk ekosistem perairan.

e. Kontaminan:

1) Terkadang, sedimen juga mengandung kontaminan dari aktivitas manusia, seperti logam berat, pestisida, atau bahan kimia industri. Kandungan ini dapat mempengaruhi kesehatan ekosistem dan kualitas air.

Variasi kandungan berdasarkan lokasi adalah:

a. Sedimen Pantai: biasanya mengandung lebih banyak bahan organik dan partikel halus karena pengaruh arus laut dan aktivitas biologi.

- b. Sedimen Sungai: cenderung lebih kaya akan mineral litogenik karena erosi tanah dan batuan di sepanjang aliran sungai.
- c. Sedimen Danau: memiliki kandungan organik yang lebih tinggi karena akumulasi sisa-sisa tumbuhan dan hewan di lingkungan yang lebih tenang.

Proses pengambilan sedimen Bendungan Bili-bili menggunakan *Cutter Suction Dragger* (CSD) melibatkan beberapa tahapan teknis yang efisien dan terstruktur sebagai berikut:

- a. Persiapan Alat dan Lokasi

CSD dipersiapkan di lokasi pengerukan yang telah ditentukan, termasuk penentuan kedalaman dan jenis sedimen yang akan dikeruk, serta kondisi area pengerukan yang mempengaruhi pemilihan alat dan metode.

- b. Penggalan/Pengerukan (*Excavation*)

CSD dilengkapi dengan kepala pemotong yang berfungsi untuk memotong dan menghancurkan material sedimen di dasar perairan. Kepala pemotong ini berputar untuk melonggarkan sedimen, yang kemudian siap untuk dihisap

- c. Pengangkutan

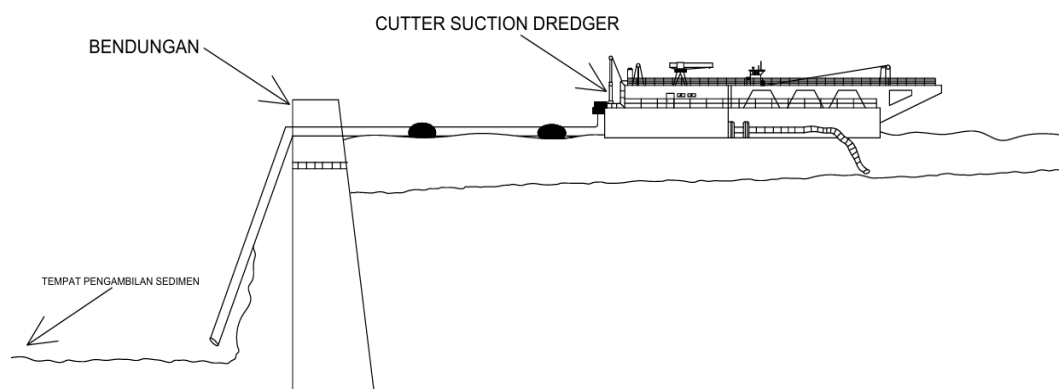
Setelah material terpotong, sedimen tersebut dihisap melalui pipa hisap yang terhubung dengan pompa *sentrifugal*. Proses ini mirip dengan cara kerja *vacum cleaner*, dimana sedimen disedot dan dialirkan melalui pipa menuju tempat penyimpanan atau pembuangan.

d. Pembuangan:

Material yang telah dihisap akan dikeluarkan di lokasi pembuangan yang telah ditentukan, biasanya ke area *spoil bank* terdekat atau lokasi lain yang sesuai dengan regulasi lingkungan. Proses ini memastikan bahwa material tidak berdampak negatif terhadap lingkungan sekitar.

e. *Monitoring* dan Evaluasi:

Selama proses pengerukan, penting untuk melakukan *monitoring* terhadap efektivitas alat dan volume sedimen yang diambil. Hal ini termasuk evaluasi terhadap produktivitas alat keruk serta penyesuaian metode jika diperlukan.

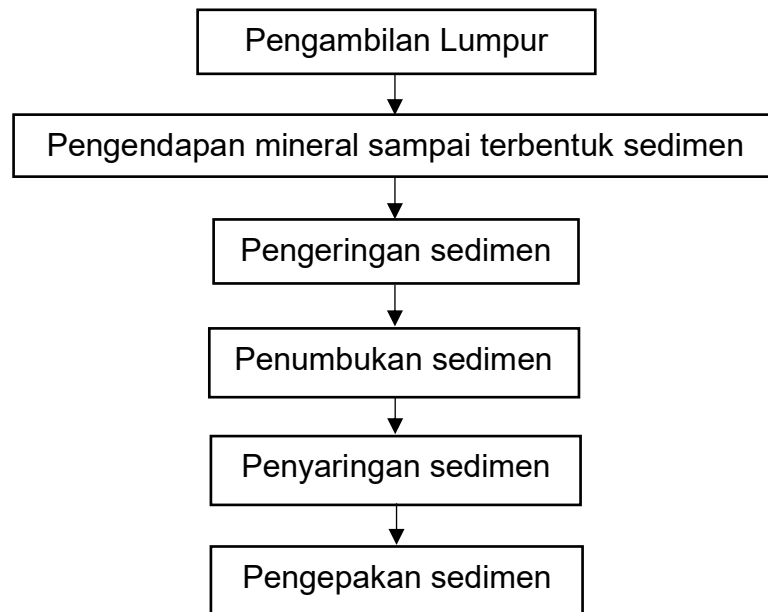


Gambar 4. Proses Pengambilan Sediment Menggunakan *Cutter Suction*

Kelebihan Cutter Suction Dredger:

- a. Mampu mengeruk berbagai jenis material: pasir, lumpur, dan batu.
- b. Efisien dalam pengangkutan sedimen karena dapat langsung memindahkan material ke lokasi pembuangan tanpa memerlukan alat tambahan seperti tongkang.

Sedimen yang akan digunakan dalam campuran ac-wc ini akan melalui proses penghalusan dengan cara digiling atau ditumbuk kemudian disaring untuk mendapatkan butiran yang lolos saringan No. 200. Berikut merupakan bagan alir pembuatan *filler* sedimen sebagai berikut:



Gambar 5. Bagan Alir Pembuatan Sedimen