

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Definisi Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan salah satu unsur penting dalam sistem transportasi darat. Keberadaannya sangat berperan untuk memastikan jalan dapat dilalui dengan mudah, nyaman, dan aman oleh para pengguna. Secara umum, konstruksi perkerasan jalan dibedakan menjadi tiga jenis utama, yaitu perkerasan komposit, perkerasan kaku, dan perkerasan lentur. Kualitas perkerasan jalan sangat memengaruhi kelancaran aktivitas masyarakat, terutama dalam mendukung mobilitas dari satu tempat ke tempat lain dengan nyaman tanpa gangguan. Jika kondisi jalan baik, pengguna akan merasa lebih aman dan nyaman saat berkendara. Secara umum, tipe konstruksi lapisan perkerasan jalan dapat dibagi 2 kelompok utama, yaitu:

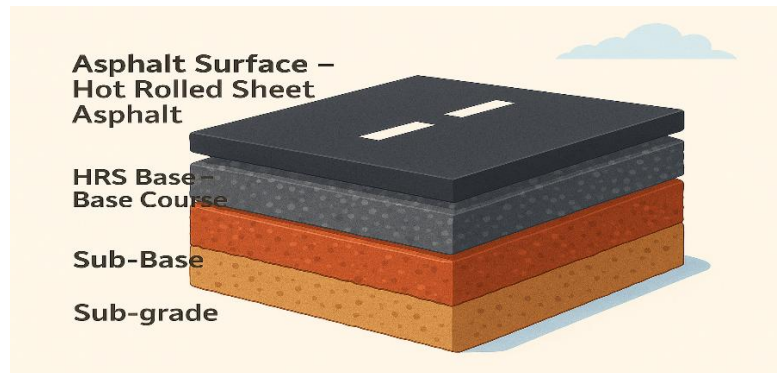
2.1.1 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur adalah salah satu tipe perkerasan yang paling umum digunakan dibandingkan perkerasan kaku. Jenis perkerasan ini diaplikasikan tidak hanya pada konstruksi jalan, tetapi juga pada landasan pacu pesawat. Perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, dengan umur rencana antara 15 hingga 40 tahun. Umumnya, *flexible pavement* tersusun dari lapisan permukaan dari campuran beraspal beserta lapisan yang berada di bawahnya dari material berbutir. Dalam evaluasi perencanaan, aspek teknis dan penerapan secara ekonomis perlu diperhitungkan untuk menjamin efisiensi dan keberlanjutan konstruksi.

2.1.2 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku salah satu struktur jalan yang telah lama diterapkan dalam konstruksi perkerasan jalan di Indonesia dan dalam masyarakat umum sering dikenal dengan istilah “jalan beton”. Jenis perkerasan ini telah dikembangkan secara luas di berbagai negara maju seperti Amerika Serikat, Jepang, dan Jerman. Perkerasan kaku dibangun dengan menggunakan plat beton sebagai lapisan teratas, yang dipasang diatas lapisan pondasi, tanah dasar yang telah dipadatkan, atau langsung di atas tanah dasar (*subgrade*). Sebagai bahan pengikat digunakan beton semen, dengan umur rencana konstruksi berkisar antara 15 hingga 40 tahun.

Kekuatan lentur perkerasan dipengaruhi oleh kualitas material penyusun, ketebalan masing-masing lapisan, serta kemampuan dukung lapisan tanah dasar.



(Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan)

Gambar 1. Lapisan Perkerasan Lentur

2.2 Struktur Lapisan Perkerasan Lentur

Struktur perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan susunan lapisan pada konstruksi jalan yang berfungsi menyalurkan beban lalu lintas dari permukaan ke tanah dasar secara bertahap dan merata. Menurut Sukirman (1999), perkerasan lentur harus mampu menahan beban kendaraan, perubahan suhu, dan kondisi cuaca tanpa mengalami kerusakan struktural yang signifikan. Setiap lapisan pada perkerasan memiliki fungsi yang saling mendukung untuk menjaga kekuatan, stabilitas, dan kenyamanan jalan.

Secara umum, struktur perkerasan lentur terdiri atas empat lapisan utama, yaitu lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), dan tanah dasar (*subgrade*). Keempat lapisan ini memiliki peran berbeda namun saling berkaitan dalam menyalurkan dan menahan beban lalu lintas. Perancangan yang baik harus memperhatikan karakteristik masing-masing lapisan agar sistem perkerasan dapat berfungsi secara optimal.

2.2.1 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan merupakan lapisan paling atas yang bersentuhan langsung dengan roda kendaraan. Lapisan ini berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas dan menyalurkannya ke lapisan di bawah secara merata. Selain itu, lapisan permukaan juga berfungsi melindungi lapisan pondasi dari pengaruh cuaca,

air hujan, dan oksidasi, sehingga mencegah terjadinya kerusakan dini seperti retak, lubang (*potholes*), dan pengelupasan (*raveling*).

Lapisan permukaan umumnya terbuat dari campuran beraspal panas (*Hot Mix Asphalt*) seperti AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) atau HRS-WC (*Hot Rolled Sheet – Wearing Course*). Campuran ini memiliki sifat fleksibel dan kedap air, dengan tekstur permukaan yang cukup kasar agar memberikan daya gesek (*skid resistance*) bagi keselamatan pengguna jalan. Ketebalan lapisan ini biasanya berkisar antara 3–4 cm, tergantung kelas jalan dan beban lalu lintas.

2.2.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas merupakan lapisan utama struktur perkerasan lentur yang terletak di bawah lapisan permukaan. Fungsinya adalah menyebarkan beban lalu lintas dari lapisan permukaan ke lapisan di bawahnya (*subbase* dan *subgrade*) dengan lebih merata. Lapisan ini juga berperan penting dalam memberikan kekuatan struktural utama terhadap sistem perkerasan jalan.

Material yang digunakan pada lapisan pondasi atas dapat berupa campuran beraspal panas seperti *HRS-Base* (*Hot Rolled Sheet – Base*) atau *AC-Base*, maupun lapisan pondasi agregat (LPA) Kelas A yang dipadatkan. *HRS-Base* banyak digunakan karena memiliki fleksibilitas dan stabilitas tinggi, sehingga mampu menahan beban lalu lintas berat serta menyesuaikan perubahan suhu dan kondisi lingkungan. Ketebalan lapisan pondasi atas umumnya berkisar antara 5–10 cm, tergantung jenis jalan dan volume lalu lintas.

2.2.3 Lapisan Pondasi Bawah (*SubBase Course*)

Lapisan pondasi bawah berada di antara lapisan pondasi atas dan tanah dasar. Fungsinya adalah untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar, menjaga kestabilan lapisan di atasnya, serta mencegah masuknya air ke lapisan pondasi atas. Lapisan ini juga membantu mengurangi tekanan yang diterima oleh tanah dasar agar tidak terjadi deformasi atau penurunan berlebihan.

Material yang digunakan pada lapisan pondasi bawah biasanya berupa agregat bergradasi baik (*well-graded aggregates*) atau bahan granular seperti batu pecah, kerikil, atau campuran pasir dan batu (*sirtu*). Kualitas material harus memenuhi standar Bina Marga dan SNI terkait kekuatan, keausan, dan plastisitas.

Ketebalan lapisan pondasi bawah umumnya 10–20 cm, bergantung pada kondisi tanah dasar dan beban rencana.

2.2.4 Tanah Dasar (Subgrade)

Tanah dasar merupakan lapisan paling bawah yang menjadi pondasi utama seluruh struktur perkerasan jalan. Lapisan ini menahan seluruh beban yang diteruskan dari lapisan di atasnya. Oleh karena itu, tanah dasar harus memiliki daya dukung yang cukup (CBR tinggi) dan stabilitas baik agar tidak mengalami penurunan diferensial yang dapat menyebabkan kerusakan pada perkerasan.

2.3 Agregat

Agregat merupakan komponen utama dalam campuran HRS-Base dengan proporsi sekitar 90–95% dari total berat campuran. Agregat adalah material granular yang menjadi komponen utama dalam campuran perkerasan, baik kasar maupun halus, yang berperan memberikan kekuatan struktural dan kestabilan pada lapisan aspal. Kualitas dan ukuran agregat menentukan tekstur permukaan, kepadatan, serta kemampuan campuran dalam menyalurkan beban ke lapisan di bawahnya. Selain itu, agregat juga mempengaruhi permeabilitas, stabilitas, dan ketahanan aus perkerasan terhadap deformasi dan cuaca.

Pemilihan material agregat yang sesuai untuk konstruksi perkerasan ditentukan dari berbagai aspek antara lain ukuran dan distribusi gradasi, kepadatan dan ketahanan material, bentuk serta tekstur permukaan, daya rekat terhadap aspal, tingkat kebersihan, serta karakteristik kimiawinya. Agregat berperan sebagai komponen utama dalam struktur perkerasan karena menentukan dominasi kekuatan campuran sekaligus membentuk konstruksi jalan yang kuat dan stabil. Oleh karena itu, penggunaan agregat harus memenuhi standar SNI, dan proporsinya disusun sesuai dengan rumusan campuran kerja yang tercantum pada Tabel 2.1.

Klasifikasi agregat menurut ukuran butiran biasanya mencakup dua jenis, yakni agregat yang berbutir kasar dan agregat yang berbutir halus.

2.3.1 Agregat Kasar (*Course Aggregate*)

Agregat kasar adalah partikel yang lolos saringan No. 3/4" (19,1 mm) dan tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm). Bentuk butir agregat kasar mempengaruhi proses pemadatan dan tingkat stabilitas perkerasan. Agregat berbentuk bulat

memiliki keunggulan dalam kemudahan pemadatan namun kurang stabil, sedangkan agregat berbentuk menyudut (*angular*) memerlukan usaha yang lebih untuk melakukan pemadatan tetapi menghasilkan stabilitas yang tinggi.

Sifat yang harus dimiliki agregat kasar untuk campuran HRS-Base antara lain:

- Kekerasan tinggi, agar tahan terhadap keausan akibat gesekan kendaraan.
- Bentuk angular (bersudut tajam) untuk meningkatkan interlocking antar partikel.
- Permukaan kasar, agar ikatan dengan aspal menjadi lebih kuat.
- Tidak mudah hancur, agar tidak terjadi perubahan gradasi selama pemadatan.

Tabel 2.1 Spesifikasi Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium		SNI 3407:2008	Maks.12 %
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC modifikasi	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439 : 2011	Min. 95 %
Butir Pecah pada agregat kasar		SNI 7619 : 2012	95/90*)
Partikel Pipih dan Lonjong		ASTM D4791-10	Maks. 10 %
		Perbandingan 1 :5	
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C 117:2012	Maks. 1 %

Sumber: (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2)

Tabel 2.2 Ukuran Nominal Agregat Kasar Penampung Dingin Untuk Campuran Aspal

Jenis Campuran	Ukuran nominal agregat kasar penampung dingin (<i>Cold Bin</i>) minimum yang diperlukan (mm)			
	5-10	10-14	14-22	22-30
Lataston Lapis Aus	Ya	Ya		
Lataston Lapis Pondasi	Ya	Ya		
Laston Lapis Aus	Ya	Ya		
Laston Lapis Pengikat	Ya	Ya	Ya	
Laston Lapis Pondasi	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber: (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2)

2.3.2 Agregat Halus

Agregat halus merupakan partikel kecil sehingga bisa mengisi celah antar agregat kasar, meningkatkan kepadatan dan stabilitas campuran, serta memperkuat ikatan dengan aspal. karakteristik seperti ukuran, bentuk, dan tekstur permukaan memengaruhi kohesi, permeabilitas, dan ketahanan aus perkerasan. Pemilihan agregat halus yang tepat penting untuk memastikan daya tahan dan kinerja lapisan permukaan tetap optimal. Persyaratan teknis agregat halus mengacu pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Spesifikasi Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min 45%
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat lolos ayakan No.200	SNI ASTM 117:2012	Maks 10%

Sumber: (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2)

2.3.3 Filler

Filler atau bahan pengisi merupakan suatu partikel halus dimana bisa ditambahkan ke dalam campuran aspal untuk meningkatkan kohesi dan stabilitas mekanik. Dengan ukuran dan distribusi yang tepat, *filler* mampu mengisi pori mikro dalam agregat, membentuk matriks aspal-agregat yang lebih homogen, serta menurunkan permeabilitas campuran. Selain meningkatkan kekuatan tekan dan ketahanan deformasi, *filler* juga memodifikasi viskositas aspal, sehingga campuran memiliki keseimbangan optimal antara kekakuan dan fleksibilitas. Pemilihan bahan pengisi yang sesuai sangat menentukan daya tahan perkerasan terhadap retak, keausan, dan infiltrasi air sepanjang umur layanan jalan.

2.4 Beton Aspal

2.4.1 Material Penyusun Beton

Beton aspal adalah campuran komposit dari agregat, *filler*, dan aspal yang berfungsi sebagai lapisan perkerasan fleksibel. Proporsi dan karakteristik masing-masing komponen menentukan stabilitas mekanik, ketahanan deformasi, serta permeabilitas campuran. Matriks aspal-agregat yang homogen meningkatkan kohesi internal, sehingga beton aspal mampu menahan beban lalu lintas sekaligus merespons perubahan suhu dan retakan mikro. Pemilihan material dan pengaturan komposisi yang tepat menjadikan beton aspal efektif dalam mendukung umur layanan jalan yang panjang dan efisiensi biaya konstruksi. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan 2018).

Beton aspal tersusun atas sejumlah material yang dipadukan menjadi satu kesatuan. Komponen utama penyusunnya meliputi beberapa jenis material berikut ini:

a. Aspal

Aspal dalam beton aspal berperan menjadi bahan pengikat utama dalam menyatukan agregat dan *filler* menjadi struktur komposit yang kohesif dan fleksibel. Sifat viskoelastik aspal memungkinkan lapisan perkerasan menyesuaikan diri terhadap beban lalu lintas dan perubahan suhu, sekaligus menyerap energi deformasi untuk mencegah retak. Interaksi kimia dan fisik antara aspal dan partikel halus *filler* menciptakan matriks homogen yang meningkatkan stabilitas internal, menurunkan permeabilitas, dan memperpanjang umur layanan jalan. Selain itu, kadar dan jenis aspal yang tepat dapat memodifikasi sifat kekakuan dan fleksibilitas campuran, sehingga beton aspal mampu mengoptimalkan keseimbangan antara kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap keausan jangka panjang.

Dalam campuran aspal beton, aspal bertindak sebagai medium perekat yang menyelimuti partikel agregat, sehingga mencegah pergeseran antar butir akibat beban lalu lintas. Selain itu, aspal juga membantu mengisi kekosongan antar agregat sehingga mengurangi permeabilitas dan meningkatkan daya tahan lapisan terhadap kerusakan akibat air maupun cuaca.

b. Agregat

Agregat adalah material berbentuk butiran yang bersumber dari pelapukan batuan atau proses pemecahan mekanis, dengan ukuran dan bentuk tertentu, digunakan dalam pekerjaan sipil sebagai komponen utama campuran beton aspal maupun beton semen. Fungsinya meliputi peningkatan kekuatan, stabilitas, dan ketahanan terhadap deformasi.

c. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*), atau debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO M303-89(2014). *Filler* merupakan senyawa pengisi seperti debu batu kapur, semen, abu batu, atau mineral lainnya, yang berukuran sangat kecil sehingga mampu menutup pori-pori dalam campuran aspal. Bahan ini berperan memperbaiki sifat fisik campuran, meningkatkan ikatan antara aspal dan agregat, serta membantu menghasilkan perkerasan yang lebih kedap air dan awet.

2.4.2 Spesifikasi Beton Aspal

a. Agregat Campuran

Agregat campuran adalah kombinasi berbagai ukuran dan jenis agregat yang digunakan untuk membentuk struktur padat dalam campuran aspal atau beton. proporsi dan distribusi partikel dalam agregat campuran menentukan kekuatan, stabilitas, dan daya dukung perkerasan. Dengan pemilihan yang tepat, agregat campuran mampu menciptakan matriks kompak yang menahan deformasi, retak, dan keausan sepanjang umur layanan jalan. Berikut batasan gradasi agregat untuk campuran aspal bisa dilihat Tabel 2.4 dibawah ini.

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan (mm)		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran	
		Lataston (HRS)	
ASTM	(mm)	WC	Base
1½"	37,5		
1"	25		
¾"	19	100	100
½"	12,5	90 – 100	90 – 100

3/8"	9,5	75-85	65-90
No. 8	2,36	50 – 72	35-55
No.16	1,18		
No.30	0,600	35 – 60	15-35
No.200	0,075	6 - 10	2-9

Sumber: (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2)

Ukuran agregat HRS-WC dan *HRS-Base* , paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) dan juga lolos ayakan No. 30 (0,600 mm).

b. Bahan Pengikat (Aspal Minyak)

Aspal minyak berperan sebagai pengikat dalam campuran perkerasan, menggabungkan agregat dan *filler* menjadi struktur yang stabil dan fleksibel. Kemampuannya menyesuaikan diri terhadap beban dan perubahan suhu meningkatkan daya tahan serta umur layanan jalan. Saat dipanaskan hingga suhu 175°C, aspal tersebut tidak boleh menimbulkan busa, serta memenuhi persyaratan teknis yang tercantum pada Tabel 2.5 dibawah ini:

Tabel 2.5 Spesifikasi Aspal Keras Penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal pen. 60/70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan	
2	Temperature yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada asilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kpa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135°C (eSt)	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan	
5	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethyline</i> (%)	ASTHO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	-	
9	Stabilitas Penyimpanan : Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10	Kadar parafin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2		
Pengujian residu hasil TFOT (SNI-06-2440) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002):					

11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	
12	Temperature yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada asilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kpa, ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 03-6442-2000		70	76
13	Penetrasi pada 25 $^{\circ}\text{C}$ TFOT(% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14	Daktilitas Pada 25 $^{\circ}\text{C}$ (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI-03-6837-2002) pada temperatur 100$^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 2,1 Mpa					
15	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada asilasi rad/detik ≤ 5000 kpa, ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: (Spesifikasi bina marga 2018 revisi 2)

c. Komposisi Umum Campuran

Komposisi umum campuran perkerasan tersusun atas beberapa material seperti agregat kasar, agregat halus, *filler*, serta material pengikat seperti aspal minyak kemudian disusun untuk membentuk matriks padat dan kohesif. Proporsi dan karakteristik masing-masing komponen sangat menentukan stabilitas mekanik, fleksibilitas, dan kemampuan menahan deformasi campuran. Pengaturan yang tepat memungkinkan campuran menahan retak, keausan, dan penetrasi air, sekaligus menjaga umur layanan jalan yang optimal. Dengan demikian, keseimbangan antara kekuatan, fleksibilitas, dan daya dukung tercapai melalui pemilihan dan distribusi material yang cermat. Batas toleransi untuk proporsi campuran tersebut yang dicantumkan pada tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Toleransi Komposisi Campuran

Agregat Gabungan	Toleransi Komposisi Campuran
Sama atau lebih besar dari 2,36 mm	± 5 % berat total agregat
Lolos ayakan 2,36 mm sampai No. 50	± 3 % berat total agregat
Lolos ayakan No. 100 dan tertahan No. 200	± 2 % berat total agregat
Lolos ayakan No. 200	± 1 % berat total agregat
Kadar Aspal	Toleransi
Kadar Aspal	$\pm 0,3$ berat total campuran
Temperatur Campuran	Toleransi
Bahan meninggalkan AMP dan dikirim ke tempat penghamparan	-10 $^{\circ}\text{C}$ dari temperature campuran beraspal di truk saat keluar dari AMP

Sumber: (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2)

2.4.3 Pengujian Karakteristik Aspal Beton

Rancangan campuran adalah proses perencanaan proporsi material seperti agregat, *filler*, dan aspal untuk menghasilkan campuran perkerasan dengan sifat mekanik optimal. Proses ini mempertimbangkan stabilitas, fleksibilitas, kepadatan, dan permeabilitas agar campuran mampu menahan beban lalu lintas serta perubahan suhu. Pemilihan proporsi yang tepat membentuk matriks komposit yang homogen, meningkatkan daya dukung dan umur layanan jalan. Dengan rancangan yang akurat, efisiensi penggunaan material juga dapat tercapai tanpa mengorbankan kinerja struktural campuran.

Tabel 2.7 berikut memuat ketentuan teknis yang berlaku untuk ketentuan sifat-sifat campuran beton aspal atau lataston.

Tabel 2.7 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Beton Aspal (Lataston)

Sifat-sifat campuran		HRS	
		Lapis Aus	Lapis Pondasi
Kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,5
Jumlah tumbukan perbidang		50	
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min	3	
	Maks	5	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	18	17
Rongga terisi aspal (%)	Min	68	
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min	600	
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min	250	
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah Perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min	90	

Sumber: (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2)

Berikut ini kriteria yang harus dimiliki campuran beton aspal yakni:

a. Stabilitas

Stabilitas didefinisikan sebagai kekuatan campuran aspal dalam mempertahankan bentuknya dari deformasi yang disebabkan oleh beban statis maupun berulang tanpa terjadi aliran plastis (*plastic flow*). Stabilitas yang berlebihan dapat menyebabkan lapisan menjadi terlalu kaku, mudah retak, dan mengurangi kadar aspal akibat berkurangnya rongga antaragregat. Kondisi ini menghasilkan lapisan film aspal yang tipis, sehingga ikatan aspal melemah dan durabilitas menurun. Dengan demikian, pencapaian stabilitas

optimal memerlukan pengaturan komposisi agregat dan aspal yang tepat.

b. Durabilitas (Daya Tahan/Keawetan)

Durabilitas atau daya tahan perkerasan mencerminkan kemampuan campuran menahan beban lalu lintas, deformasi, retak, dan keausan sepanjang umur layanannya. Faktor penentu utama meliputi kualitas material, kepadatan, kohesi antara agregat dan aspal, serta perlindungan terhadap infiltrasi air dan perubahan suhu. Campuran yang dirancang dengan baik memiliki matriks komposit yang stabil, sehingga mampu mempertahankan kinerja struktural dan estetika jalan dalam jangka panjang.

c. Ketahanan Terhadap Air dan Suhu

Campuran HRS-Base harus tahan terhadap kerusakan akibat air dan suhu tinggi. Air dapat menyebabkan aspal terlepas dari agregat, sementara suhu tinggi dapat melunakkan aspal dan menurunkan stabilitas.

d. *Workabilitas* (Kemudahan Pekerjaan)

Workabilitas atau kemudahan pengerjaan berkaitan dengan sejauh mana campuran mudah diolah, dihamburkan, dan dipadatkan di lapangan. *Workability* dipengaruhi oleh gradasi agregat, bentuk butiran, kadar aspal, serta suhu pencampuran. *HRS-Base* menggunakan gradasi semi terbuka yang memungkinkan campuran lebih mudah dipadatkan, namun tetap memiliki rongga yang cukup untuk mencegah bleeding. Campuran yang memiliki *workability* baik akan menghasilkan kepadatan optimum, yang penting untuk kekuatan lapisan dan umur jalan.

2.5 HRS-Base (*Hot Rolled Sheet – Base*)

2.5.1 Definisi *HRS-Base*

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, *HRS-Base (Hot Rolled Sheet – Base)* merupakan lapisan pondasi atas perkerasan lentur yang menggunakan campuran beraspal panas dengan gradasi terbuka. Campuran ini memiliki kadar aspal lebih tinggi dibandingkan campuran bergradasi rapat seperti *AC-Base*, sehingga memberikan fleksibilitas dan ketahanan terhadap deformasi plastis.

HRS-Base dirancang agar mampu:

- a. Menahan beban lalu lintas dari lapisan di atasnya (misalnya HRS-WC atau AC-WC).
 - b. Menyebarkan beban ke lapisan pondasi bawah secara merata.
 - c. Memberikan stabilitas struktural serta daya tahan terhadap retak dan deformasi.
- Ketebalan minimum HRS-Base umumnya sekitar 5–7 cm, tergantung pada beban lalu lintas dan kondisi tanah dasar.

2.5.2 Fungsi Utama *HRS-Base*

Fungsi utama dalam *HRS-Base* sebagai berikut:

- a. Sebagai lapisan pendukung struktural bagi lapisan permukaan jalan.
- b. Menyebarkan beban dari lapisan permukaan ke lapisan bawah dengan merata.
- c. Menambah kekakuan dan stabilitas sistem perkerasan.
- d. Memberikan daya lekat dan kedap air yang cukup untuk melindungi lapisan di bawahnya.

2.6 Pengujian *Marshall* Campuran Beraspal

2.6.1 Stabilitas

Stabilitas dalam pengujian *Marshall* mencerminkan kemampuan campuran beraspal menahan deformasi lateral ketika diberikan beban maksimum. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan kohesi internal yang lebih baik antara agregat dan aspal, sehingga campuran lebih tahan terhadap retak dan deformasi plastis. Pengukuran ini menjadi indikator kunci dalam menilai kekuatan struktural dan kualitas mekanik campuran beraspal.

Untuk campuran *HRS-Base*, nilai stabilitas Marshall minimum adalah 600 kg (Bina Marga, 2018). Nilai ini menunjukkan ketahanan campuran terhadap beban berat dan tekanan dari kendaraan besar. Stabilitas yang tinggi diperlukan agar lapisan HRS-Base tidak mudah mengalami *rutting* deformasi plastis di bawah pengaruh suhu dan beban berulang.

Berikut merupakan rumus perhitungan stabilitas:

$$Q = p \times s \times 0,4536 \dots\dots\dots (\text{persamaan 2.1})$$

Dimana:

q = Stabilitas(kg)

p = Pembacaan dari arlogi stabilitas x kalibrasi alat

s =Angka koreksi tebal benda uji

0,4536 =Angka konversi satuan dari *lb* ke kg

2.6.2 *Flow*

Flow dalam pengujian *Marshall* mengukur deformasi vertikal campuran beraspal pada beban maksimum, yang mencerminkan fleksibilitas dan kemampuan campuran menyesuaikan diri terhadap tekanan lalu lintas. Nilai *flow* yang tepat menunjukkan seimbangannya antara kekakuan dan kelenturan campuran, sehingga dapat menahan retak dan deformasi permanen. Parameter ini menjadi indikator penting dalam menilai performa mekanik campuran dan efektivitas rancangan campuran beraspal.

2.6.3 *Void in mixture (VIM)*

VIM mengukur persentase rongga kosong dalam campuran beraspal yang tidak terisi oleh campuran aspal, yang mencerminkan kepadatan dan integritas internal campuran. Nilai VIM yang optimal menunjukkan distribusi agregat dan *filler* yang seimbang, sehingga campuran mampu menahan deformasi dan retak secara efektif. Parameter ini menjadi indikator penting dalam menilai kualitas mekanik dan durabilitas campuran beraspal.

$$\text{VIM} = 100 - \frac{(100 \times G)}{H} \dots\dots\dots (\text{persamaan 2.2})$$

Berat Jenis Maksimum Teoritis :

$$\text{BJ} = \frac{100}{\frac{100-A}{V} + \frac{A}{T}} \dots\dots\dots (\text{persamaan 2.3})$$

2.6.4 *Void In Mineral Aggregate (VMA)*

VMA dalam pengujian *Marshall (Voids in Mineral Aggregate)* menunjukkan tingkat persentase ruang kosong total dalam agregat mineral sebelum diisi aspal, yang mencerminkan kapasitas campuran menampung bahan pengikat. Nilai VMA yang sesuai memastikan distribusi aspal yang merata, meningkatkan

kohesi internal, dan mengurangi risiko retak serta deformasi permanen. Parameter ini menjadi indikator penting dalam menilai kekompakan, stabilitas, dan durabilitas campuran beraspal.

Berikut merupakan rumus dari *voids in mixture* (VMA):

$$\text{VMA} = 100 - \frac{(100 \times A) \times G}{U} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.4})$$

2.6.5 *Void Filled with Bitumen* (VFB)

VFB dalam pengujian *Marshall* menunjukkan persentase rongga kosong dalam campuran beraspal yang sudah terisi oleh aspal, mencerminkan tingkat kohesi dan efektivitas pengikatan antara agregat. Nilai VFB yang tepat menjamin keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas campuran, sehingga meningkatkan stabilitas dan umur layanan perkerasan.

2.6.6 Stabilitas *Marshall* Sisa (SMS)

Stabilitas *Marshall* Sisa dianalisis dari data-data hasil pengujian terhadap sifat-sifat mekanik benda uji (stabilitas dan *flow*) dibagi dalam dua kelompok. kelompok pertama diuji Stabilitas *Marshall*nya dengan perendaman dalam air pada suhu 60°C selama waktu T1 dan kelompok kedua diuji setelah perendaman pada suhu 60°C selama T2. Kemudian ditentukan *Stabilitas Marshall* Sisa dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{SMS} = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \% \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.5})$$

Dimana:

S1 = Nilai rata-rata stabilitas *marshall* setelah peredaman selama T1 menit (kg)

S2 = Nilai rata-rata stabilitas *marshall* setelah peredaman selama T2 menit (kg)

SMS = Stabilitas *marshall* sisa (%)

2.7 Standar Rujukan

Pengujian karakteristik material agregat kasar dan agregat halus dilakukan pada campuran beraspal *HRS-Base*:

2.7.1 Analisa Saringan Agregat (SNI ASTM C136:2012)

Pengujian analisa saringan dilakukan guna menentukan proporsi agregat kasar. Dengan menggunakan serangkaian saringan, diperoleh distribusi ukuran butir yang kemudian digambarkan dalam bentuk grafik. Informasi ini berguna untuk memastikan keseragaman dan kesesuaian agregat terhadap spesifikasi campuran.

Rumus perhitungan:

$$X(\%) = 100\% \text{ Kumulatif } (\%) \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.6})$$

$$Y(\%) = \frac{W_{10} \text{ (gram)}}{\sum W_{11} \text{ (gram)}} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.7})$$

2.7.2 Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air

- a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan standar SNI 03-1969-1990.
- b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus berdasarkan standar SNI 03-1969-1990.

Dapat dihitung menggunakan rumus:

- 1) Berat jenis *bulk* (atas dasar kering oven)

$$S_d = \frac{W_7}{W_8 - W_9} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.8})$$

- 2) Berat jenis *bulk* (atas dasar kering permukaan)

$$S_s = \frac{W_8}{W_8 - W_9} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.9})$$

- 3) Berat jenis semu = $\frac{W_7}{W_8 - W_9}$(persamaan 2.10)

$$S_a = \frac{W_8 - W_9}{W_9} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.11})$$

2.7.3 Pengujian Keausan (*Abration*)

Pengujian Keausan (*Abration*) menggunakan standar SNI 2417:2008.

Dihitung dengan rumus :

$$K = \frac{W_{12} - W_{13}}{W_{12}} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2.12})$$

2.7.4 Pemeriksaan indeks kepipihan dan kelonjongan

Pemeriksaan indeks kepipihan dan kelonjongan menggunakan standar rujukan ASTM D – 4791-10.

Dihitung dengan rumus :

$$F(\%) = \frac{W_{12}(\text{gram})}{W_{13}(\text{gram})} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{persamaan 2.13})$$

$$E(\%) = \frac{W_{12}(\text{gram})}{W_{13}(\text{gram})} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{persamaan 2.14})$$

2.8 Perencanaan Metode *Marshall*

Pengujian kinerja beton aspal dilakukan dengan metode *Marshall*, yang awalnya dikembangkan oleh Bruce *Marshall* dan kemudian disempurnakan oleh *U.S. Corps of Engineers*. metode ini digunakan sebagai acuan dalam merancang proporsi dan volume komponen campuran serta untuk menentukan nilai stabilitas dan kelelahan. Berdasarkan parameter-parameter tersebut, kadar aspal optimum dapat ditetapkan.

2.8.1 Pemeriksaan *Marshall Konvensional*

Pemeriksaan *Marshall konvensional* adalah metode laboratorium untuk menguji campuran aspal panas. Pengujian ini menilai sifat benda uji, khususnya stabilitas dan *flow*, dengan dua perlakuan perendaman: perendaman standar selama kurun waktu 30 menit dengan suhu dikisaran 60°C dan perendaman modifikasi selama 4, 7, atau 14 hari sesuai kebutuhan. Nilai *Stability Marshall Score* (SMS) yang lebih tinggi menunjukkan potensi durabilitas campuran yang lebih baik.

2.8.2 Analisis KAO

Kadar aspal optimum adalah parameter yang ditetapkan sesuai standar spesifikasi Bina Marga. Nilai ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan JMF (*Job Mix Formula*) dari DMF (*Design Mix Formula*) oleh pihak penyedia jasa.

2.9 Penelitian Terkait/Sejenis

Penelitian terdahulu atau jurnal terkait berperan penting dalam memperluas landasan teori yang digunakan untuk menganalisis penelitian ini. Berikut disajikan beberapa penelitian sejenis atau terdahulu yang relevan mengenai studi yang akan dilakukan:

1. Chalid (2021) “*Karakteristik Campuran Aspal HRS-Base Menggunakan Agregat Kasar Batu Kapur Asal Tinoring*”

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis agregat terhadap

kinerja campuran beraspal *HRS-Base*. Metode yang digunakan meliputi pengujian sifat fisik agregat (keausan, kekekalan terhadap larutan, berat jenis, penyerapan air) serta uji Marshall untuk menentukan stabilitas, kelelahan, dan nilai *Marshall Quotient*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa agregat batu kapur masih dapat memenuhi spesifikasi SNI dengan nilai stabilitas mencapai 1.130 kg dan flow sebesar 3,6 mm, namun memiliki ketahanan lebih rendah dibanding batu pecah keras.

2. Rerungan (2024) "*Pemanfaatan Batu Sungai Sungai Kula pada Campuran HRS-Base*"

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kelayakan agregat batu sungai dari daerah Sungai Kula sebagai bahan penyusun lapisan pondasi atas (*HRS-Base*). Pengujian dilakukan terhadap karakteristik agregat (uji keausan, kekekalan, berat jenis), kadar aspal optimum (KAO) melalui metode Marshall, serta ketahanan terhadap perendaman (*Marshall Immersion Test*). Hasil menunjukkan bahwa batu sungai dapat digunakan pada campuran *HRS-Base* dengan nilai stabilitas Marshall sebesar 1.250 kg dan stabilitas sisa 94,58%, yang masih memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018.

3. Kristiloresta Marianto (2020). "*Pengujian Karakteristik Campuran HRS-WC Menggunakan Batu Sungai Makawa Kecamatan Walenrang Utara*". Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan berupa agregat batu sungai Makawa Kecamatan Walenrang Utara memenuhi spesifikasi bahan lapisan permukaan jalan. Melalui uji Marshall diperoleh karakteristik campuran HRS-WC dengan kadar aspal 5,9%, 6,4%, 6,9%, 7,4%, 7,9% memenuhi persyaratan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018. Hasil pengujian Marshall Immersion campuran HRS-WC pada kadar aspal optimum 6,4% mendapatkan Indeks Perendaman (IP)/Indeks Kekuatan Sisa (IKS) / Durabilitas campuran sebesar 94,41% yang berarti melampaui syarat batas yaitu $\geq 90\%$ sehingga campuran tahan terhadap perendaman dalam air.

2.10 Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir ini menggambarkan alur logis mulai dari perumusan masalah, pengumpulan data, hingga tahap analisis dan penarikan kesimpulan.

