

BAB II

TINJAUAN PUTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penyusun dalam melakukan penelitian sehingga penyusun dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang akan dilakukan dan memudahkan penyusun dalam melakukan penelitian ini. Pada penelitian terdahulu tidak ada judul yang sama seperti judul penelitian yang dilakukan. Akan tetapi ada beberapa judul serupa dengan metode dan penambahan yang berbeda sehingga dapat menjadi referensi dalam mencari bahan kajian pada penelitian ini.

Berdasarkan studi terdahulu yang terkait dengan penelitian ini, yang menjadi acuan adalah beberapa studi yang sejenis dengan penelitian yang dilakukan penyusun. Berikut merupakan penelitian terdahulu berupa beberapa jurnal terkait dengan penelitian yang dilakukan oleh penyusun:

1. Nunung Martina, Muhammad Fathur Rouf Hasan, Yanuar Setiawan (2020) “Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Porous” Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Nunung Martina, Muhammad Fathur Rouf Hasan, Yanuar Setiawan yaitu sama-sama menggunakan serbuk ban bekas sebagai salah satu komponen campuran, untuk mengurangi limbah dan meningkatkan sifat mekanik campuran aspal. Sedangkan perbedaan antara keduanya terletak pada, penggunaan campuran aspal porous, yang memiliki porositas tinggi, sedangkan penelitian ini menggunakan campuran aspal AC-BC, yang merupakan tipe aspal lebih padat. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan serbuk ban bekas sebagai campuran agregat halus pada campuran aspal porous dapat memenuhi syarat spesifikasi yang ditetapkan. Campuran dengan 6% serbuk ban bekas menunjukkan peningkatan kekesatan permukaan dan mengurangi limbah ban bekas sebesar 3,03 ton per 1 km pekerjaan konstruksi jalan. Hasil uji Marshall menunjukkan penurunan stabilitas, tetapi peningkatan *flow* yang mengindikasikan elastisitas yang lebih baik. Oleh karena itu,

penelitian ini memberikan solusi efektif dalam mengatasi masalah limbah ban dan meningkatkan performa jalan.

2. Muh. Miftahulkhair Muhammad Ridwan Muhlis St. Fauziah Badaron Andi Alifuddin Bulgis (2022) “Pengaruh Penambahan Abu Batu Karang Terhadap Durabilitas pada Campuran Aspal Beton” Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Muh. Miftahulkhair Muhammad Ridwan Muhlis St. Fauziah Badaron Andi Alifuddin Bulgis yaitu sama-sama menggunakan metode penelitian antara lain sama-sama Penelitian ini menggunakan metode eksperimen terhadap pemanfaatan abu batu karang yang dijadikan sebagai bahan tambah pada campuran untuk lapisan Aspal Beton. Selanjutnya dilakukan observasi untuk mengetahui karakteristik campuran aspal. Sedangkan perbedaan antara keduanya terletak pada, perbedaan lokasi pengambilan material yang digunakan pada penelitian dimana Muh. Miftahulkhair Muhammad Ridwan Muhlis St. Fauziah Badaron Andi Alifuddin Bulgis dari Jl. Urip Sumoharjo Km 05 Panaikang, Kec. Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Hasil pengujian agregat yang dilakukan di laboratorium memenuhi Dari analisis dapat dilihat dampak dari penambahan Abu Batu Karang, hasil uji Marshall Test dengan campuran aspal beton yang menggunakan bahan tambah Abu Batu Karang memperoleh nilai optimum pada variasi penambahan abu batu karang 6% yang meningkatkan nilai stabilitas sebesar 1066,55 kg. Dari analisis pengaruh penambahan Abu Batu Karang, hasil pengujian Durabilitas pada campuran aspal beton dengan kadar bahan tambah optimum Abu Batu Karang 6% setelah melewati serangkain periode perendaman pada durasi 1 hari 2 hari 4 hari dan 6 hari maka berdasarkan analisis bahwa penambahan kadar bahan tambah optimum Abu Batu Karang 6% dapat meningkatkan nilai durabilitas berdasarkan parameter Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK).
3. Hamkah, Juvrianto C. Jakob, Rosmawati Walalayo (2024) “Pengaruh bahan pengisi batu karang terhadap karakteristik marshall campuran beton aspal lapis aus asbuton” Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hamkah, Juvrianto C. Jakob, Rosmawati Walalayo yaitu sama-

sama menggunakan metode penelitian antara lain Menggunakan metode marshall test Menggunakan aspal penetrasi 60/70. Sedangkan perbedaan antara keduanya terletak pada, perbedaan lokasi pengambilan material yang digunakan pada penelitian dimana Dusun Taeno, Desa Waringin Cap, Kota Ambon. Hasil pengujian agregat yang dilakukan di laboratorium Penambahan abu batu karang sebesar 6% memberikan nilai stabilitas optimum sebesar 1066,55 kg pada pengujian Marshall, yang menunjukkan peningkatan kinerja campuran. Pengujian durabilitas menunjukkan bahwa dengan penambahan 6% abu batu karang, nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dan Indeks Durabilitas Pertama (IDP) tetap tinggi setelah perendaman selama 1, 2, 3, dan 4 hari, menandakan bahwa campuran ini memiliki ketahanan yang baik terhadap kondisi lingkungan. Berdasarkan Penelitian ini menunjukkan bahwa abu batu karang efektif sebagai bahan pengisi untuk meningkatkan durabilitas campuran aspal beton, sehingga dapat direkomendasikan untuk penggunaan dalam konstruksi jalan.

4. Cut Novi Indriani, Meilandy Purwandito, Wan Alamsyah (2022) “Pemanfaatan Ban Bekas Sebagai Bahan Tambah Campuran Aspal Pada Pengerasan Jalan Ac-Wc Terhadap Nilai Marshall” Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Cut Novi Indriani, Meilandy Purwandito, Wan Alamsyah yaitu sama-sama menggunakan metode penelitian antara lain Menggunakan metode marshall test Menggunakan aspal penetrasi 60/70. Sedangkan perbedaan antara keduanya terletak pada campuran (AC-WC) sedangkan penulis meninjau lapis permukaan Lapisan Aspal Beton/Laston (AC-BC). Hasil pengujian agregat yang dilakukan di laboratorium Penggunaan ban bekas sebagai bahan tambah memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik Marshall campuran aspal, meskipun variasi yang diuji tidak sepenuhnya memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Nilai stabilitas tertinggi yang diperoleh dari variasi campuran adalah 2357 kg, sementara nilai flow berkisar antara 2,1 mm hingga 2,7 mm, menunjukkan bahwa campuran masih dapat diterima dalam beberapa aspek. Namun, nilai VIM, VMA, dan VFB pada beberapa variasi tidak memenuhi spesifikasi yang diperlukan, terutama pada variasi 0,9% yang menunjukkan nilai VIM terlalu tinggi. Penelitian ini

menyarankan perlunya pengujian lebih lanjut dan variasi tambahan untuk menemukan komposisi optimal dari ban bekas dalam campuran aspal agar dapat memenuhi standar spesifikasi yang diharapkan..

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Judul	Jenis Publikasi	Kesamaan	Perbedaan
Nunung Martina, Muhammad Fathur Rouf Hasan, Yanuar Setiawan (2020)	Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Porous	Jurnal	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan metode <i>marshall test</i> Menggunakan aspal keras penetrasi 60/70 Menggunakan Bahan Tambahan Ban Karet Sebagai Material 	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan Campuran Aspal Porous Menggunakan Bahan Tambahan Ban Karet Sebagai Material
Muh. Miftahulkhair Muhammad Ridwan Muhlis St. Fauziah Badaron Andi Alifuddin Bulgis (2022)	Pengaruh Penambahan Abu Batu Karang Terhadap Durabilitas pada Campuran Aspal Beton	Jurnal	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan metode <i>marshall test</i> Menggunakan aspal keras penetrasi 60/70 Menggunakan Batu Karang Sebagai Material Pengisi 	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan campuran aspal AC-WC Tidak Menggunakan Bahan Tambahan Ban Karet Sebagai Material

Hamkah, Juvrianto C. Jakob, Rosmawati Walalayo (2024)	Pengaruh bahan pengisi batu karang terhadap karakteristik marshall campuran beton aspal lapis aus asbuton	Jurnal	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan Batu Karang Sebagai Material Pengisi • Menggunakan metode <i>marshall test</i> • Menggunakan aspal keras penetrasi 60/70 	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak Menggunakan Bahan Tambahan Ban Karet Sebagai Material
Cut Novi Indriani, Meilandy Purwandito, Wan Alamsyah (2022)	Pemanfaatan Ban Bekas Sebagai Bahan Tambah Campuran Aspal Pada Pekerasan Jalan Ac-Wc Terhadap Nilai Marshall	Jurnal	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan metode <i>marshall test</i> • Menggunakan aspal keras penetrasi 60/70 • Menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2018 • Menggunakan Bahan Tambahan Ban Karet 	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan Batu Karang Sebagai Material Pengisi • Menggunakan campuran aspal AC-WC

Sumber : Hasil Literasi 2025

Studi tentang penggunaan material lokal batu karang di Kota Kupang sebagai bahan konstruksi jalan atau aspal AC-BC bisa menjadi topik yang menarik. Kota Kupang memiliki karakteristik geografis yang unik dengan beragam potensi alam, termasuk batu karang yang melimpah. Dalam kajian ini, beberapa aspek perlu dipertimbangkan: Kota Kupang memiliki kekayaan batu karang yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama dalam konstruksi jalan. Ketersediaan material lokal ini memiliki potensi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan impor dan dapat menjadi solusi berkelanjutan untuk

pengembangan infrastruktur lokal.

- Tujuan Penelitian:
Eksplorasi Kualitas Material dengan cara mengidentifikasi jenis batu karang yang tersedia di Kota Kupang, menganalisis sifat fisik dan mekaniknya, serta mengevaluasi potensinya sebagai bahan konstruksi jalan atau aspal AC-BC.
- Analisis Teknis:
Menilai kecocokan batu karang lokal sebagai pengganti atau campuran dalam produksi aspal AC-BC. Melakukan uji laboratorium untuk menentukan kekuatan, ketahanan terhadap beban, dan karakteristik lain yang diperlukan untuk konstruksi jalan.
- Pengambilan Sampel:
Mengumpulkan sampel batu karang dari berbagai lokasi di Kota Kupang Daya untuk pengujian laboratorium.
- Uji Laboratorium:
Melakukan uji fisik, kimia, dan mekanik terhadap sampel batu karang untuk menentukan karakteristiknya sebagai bahan konstruksi jalan.
- Studi Komparatif:
Membandingkan hasil uji dari batu karang lokal dengan standar yang diperlukan untuk bahan konstruksi jalan.
- Karakteristik Batu Karang Lokal:
Identifikasi jenis batu karang, penilaian sifat fisik, dan mekanik untuk mengetahui kekuatan serta ketahanannya terhadap beban.
- Kelayakan Teknis:
Menentukan apakah batu karang lokal dapat digunakan secara efektif dalam produksi aspal AC-BC untuk konstruksi jalan.

Jika hasil studi menunjukkan bahwa batu karang lokal memenuhi persyaratan teknis disarankan untuk mempertimbangkan penggunaannya dalam proyek konstruksi jalan di Kota Kupang sebagai rekomendasi untuk regulasi atau pedoman penggunaan bahan lokal dalam infrastruktur konstruksi jalan

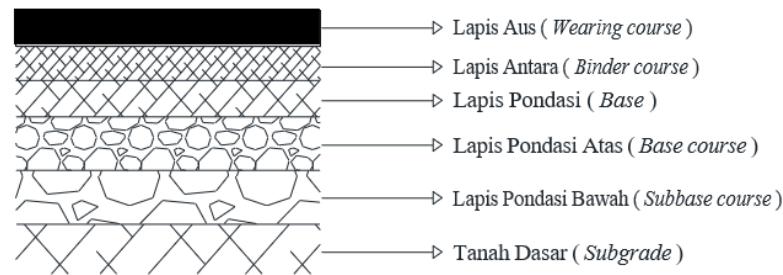
2.2 Perkerasan Jalan Raya

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk memberikan pelayanan kepada sarana transportasi. Fungsi perkerasan adalah untuk memikul beban lalu lintas secara cukup aman dan nyaman, serta sebelum umur rencananya tidak terjadi kerusakan yang berarti. Supaya perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis. Menurut Sukirman (2003:4) berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas hal berikut:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) Konstruksi perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) Konstruksi perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan semen (*Portland Cement*) sebagai bahan ikat, Plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian dipikul oleh pelat beton.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*) Konstruksi perkerasan komposit adalah perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau kaku di atas permukaan lentur.

2.3 Perkerasan Lentur

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan– lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan – lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya (Silvia Sukirman,2003:6). Lapisan perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan diantaranya:



Gambar 2. 1 Lapisan Perkerasan Lentur

2.4 Lapisan Aspal Beton

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika semen aspal, maka pencampuran umumnya antara 145-155°C, disebut beton aspal campuran panas. Campuran ini dikenal dengan hotmix. (Sukirman, 2003:75). Laston adalah lapis campuran terdiri atas lapis aus (AC-WC), lapis antara (AC-BC), lapis pondasi (AC-Base) dan ukuran masing-masing campuran adalah AC-WC 19 mm, AC-BC 25,4 mm dan AC-Base 36,5 mm (Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Divisi 6;30). Berikut toleransi tebal untuk lapisan campuran laston:

1. Lapis aus atau AC-WC tidak kurang dari 3,0 mm
2. Lapis antara atau AC-BC tidak kurang dari 4,0 mm
3. Lapis pondasi atau AC-Base tidak kurang dari 5,0 mm

Berdasarkan Spesifikasi Umum Divisi 6 Bina Marga tahun 2018;31, tebal minimum campuran beraspal sebagai berikut :

1. Lapis aus atau AC-WC adalah 4,0 mm
2. Lapis antara atau AC-BC adalah 6,0 mm
3. Lapis pondasi atau AC-Base adalah 7,5

Tabel 2. 2 Nominal Minimum Campuran Beraspal

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
Stone Matrix Asphalt Tipis		SMA Tipis	3,0
Stone Matrix Asphalt – Halus		SMA – Halus	4,0
Stone Matrix Asphalt – Kasar		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 Divisi 6 Perkerasan Jalan;31)

Sedangkan sifat-sifat dari laston antara lain:

1. Kedap air
2. Tahan terhadap keausan akibat lalu lintas
3. Mempunyai nilai structural
4. Mempunyai stabilitas tinggi
5. Peka terhadap penyimpangan perencanaan pelaksanaan.

Tabel 2. 3 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per Bidang		75		112 (3)
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar Aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,2		
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	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 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6 (3)
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (5)	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) (6)	Min.	2		

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Jalan; 45)

2.5 Laston Lapis Antara (AC-BC)

Laston (Lapisan Aspal Beton) adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan – jalan dengan beban lalu lintas berat. Ada beberapa jenis beton aspal campuran panas, namun dalam penelitian ini jenis beton aspal campuran panas yang ditinjau adalah AC-BC. Laston sebagai lapisan Antara (*Binder Course*) adalah lapisan yang terletak dibawah lapisan aus. Tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan dengan tebal nominal minimum 6 cm.

2.6 Bahan – Bahan Material Penyusun Campuran Perkerasan Jalan

2.6.1 Agregat

Agregat adalah partikel mineral yang berbentuk butiran – butiran yang merupakan salah satu penggunaan dalam kombinasi dengan berbagai macam tipe mulai dari sebagai bahan material di semen untuk membentuk beton, lapis pondasi

jalan, material pengisi, dan lain – lain. Material Agregat merupakan komponen utama dari perkerasan jalan yang berfungsi untuk menahan beban lalu lintas, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. (Silvia Sukirman,2003:1).

2.6.1.1 Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk agregat ini adalah agregat yang tertahan di atas saringan 2,36 mm (No.8), menurut saringan ASTM. Agregat kasar untuk campuran aspal harus terdiri dari batu pecah yang bersih, kuat, kering, awet, bersudut, bebas dari kotoran lempungan dan material asing lainnya serat mempunyai tekstur permukaan yang kasar dan tidak bulat agar dapat memberikan sifat *interlocking* yang baik dengan material yang lain. Agregat kasar pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2. 4 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
	Magnesium sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan	Campuran AC	100 putaran	SNI 2417:2008 Maks. 6%
Los Angeles ¹⁾	Modifikasi dan SMA	500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran berat bergradasi lain	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%

Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Maks. 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI	100/90 ⁽⁴⁾
	Lainnya	7619:2012	95/90 ⁽⁴⁾
Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM	Maks. 5%
	Lainnya	D4791-10	Maks. 10%
		Perbandingan 1:5	
Material lolos ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal; 37)

Tabel 2. 5 Persyaratan Pemeriksaan Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat	Satuan
1	Keausan dengan <i>Los Angeles</i> (SNI 2417:2008)	<40	%
2	Berat jenis semu (SNI 3423 : 2008)	>2,5	-
3	Peresapan terhadap air (SNI 03-6877-2002)	<3	%
4	Material lolos ayakan No.200 (SNI 03-4142:1996)	<1	%

(Sumber :Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

2.6.1.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat hasil pemecah batu yang mempunyai sifat lolos saringan No.8 (2,36 mm) tertahan saringan No.200 (0,075 mm). Fungsi utama agregat halus adalah untuk menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Untuk hal ini maka sifat eksternal yang diperlukan adalah *angularity* (bentuk menyudut) dan *particle surface roughness* (kekasaran permukaan butiran). Agregat halus pada umumnya harus memenuhi persyaratan

yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metoda 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 Divisi 6 Perkerasan Aspal ;38)

Tabel 2. 7 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Syarat	Satuan
1	Peresapan terhadap air (SNI 03-6877-2002)	<3	%
2	Berat jenis semu (SNI 3423 : 2008)	>2,5	-
3	Material lolos ayakan No.200	<10	%

(Sumber :Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

2.6.2 Filler

Bahan pengisi dapat terdiri atas debu batu kapur, semen portland, abu terbang, atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Bahan pengisi *filler* harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi bahan pengisi adalah untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Keuntungan lain dengan adanya bahan pengisi adalah karena banyak terserap dalam bahan bitumen maka akan menaikkan volumenya. Untuk penelitian ini *filler* yang digunakan adalah serbuk arang tempurung kelapa.

2.6.3 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari penggilingan minyak bumi. Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat

termoplastis. Jadi aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperaatur turun. Berdasarkan dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4 – 10% berdasarkan berat campuran, atau 10 – 15% berdasarkan volume campuran. Fungsi aspal pada perkerasan jalan adalah.

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

2.6.3.1 Jenis Aspal

Berdasarkan asal dan proses pembentukannya aspal dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Aspal alam, dibedakan menjadi:
 - a. Aspal gunung (*rock asphalt*), contohnya aspal dari Pulau Buton.
 - b. Aspal danau (*lake asphalt*), contohnya aspal dari Bermudez, Trinidad
2. Aspal buatan, dibedakan menjadi :
 - a. Aspal minyak, merupakan hasil penyulingan minyak bumi.
 - b. Ter, merupakan hasil penyulingan batu bara.

Aspal minyak dapat dibedakan lagi menjadi:

- Aspal keras/panas (*asphalt cement*), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas. Aspal ini berbentuk padat pada keadaan penyimpanan (temperature ruang).
- Aspal dingin/cair (*cut back asphalt*), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan dingin. Aspal cair dihasilkan dengan melarutkan aspal keras dengan bahan pelarut berbasis minyak.
- Apal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi yang dilakukan di pabrik pencampuran.

Dari ketiga bentuk aspal, semen aspal adalah bentuk yang paling banyak digunakan terutama untuk perkerasan jalan. Aspal pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 diperlihatkan dalam tabel 2.8 :

Tabel 2. 8 Ketentuan Untuk Aspal Keras Penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Aspal 60-70
1.	Penetrasi Pada 25°C (0,1 mm)	60 – 70
2.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	160 – 240
3.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	≥ 300
4.	Titik Lembek (°C)	≥ 48
5.	Daktilitas Pada 25°C (cm)	≥ 100
6.	Titik Nyala (°C)	≥ 232
7.	Kelarutan Dalam Trichloroethylene (%)	≥ 90
8.	Berat Jenis	≥ 1,0
Pengujian Residu Hasil Penurunan berat aspal/Thin Film Over Test (TFOT)		
9.	Berat Yang Hilang (%)	≤ 0,8
10.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	≤ 800
11.	Penetrasi Pada 25°C (%)	≤ 54
12.	Daktilitas Pada 25°C (cm)	≤ 100

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 Perkerasan Jalan;71)

2.6.3.2 Sifat Aspal

Aspal merupakan suatu campuran yang tersusun dari sebagian besar bitumen, serta mineral lainnya, sehingga sifat paling menentukan didalam aspal adalah terutama sifat bitumennya itu. Aspal merupakan suatu campuran koloid, dimana butir-butir yang merupakan bagian yang padat disebut *asphaltene* yang berada didalam masa cair yang disebut *maltene*. *Maltene* terdiri dari senyawa-senyawa basa nitrogen, acidaffin satu, acidaffin dua dan parafin. Senyawa basa nitrogen merupakan jenis dammar (resin) yang reaktif sehingga dapat mendispersikan asphaltene.

Sifat-sifat dari bahan campuran yang ada didalam aspal itu adalah:

1. Asphaltene merupakan bahan utama untuk memiliki sifat kekerasan.
2. Damar (resin) menyebabkan adanya sifat lekat serta lia.

3. Minyak menyebabkan sifat plastis sampai cair, sehingga aspal memiliki sifat viskositet dan kelembekan.

Sifat fisik aspal yang terutama untuk dipakai dalam konstruksi jalan ialah:

1. Kepekatan (konsistensi)

Peranan kepekatan bahan-bahan aspal, untuk memilih dan memakai, ada dua hal yaitu :

- a. Pertimbangan terhadap sifat kepekatan untuk suhu tertentu, yang akan membagi beberapa macam bahan.
- b. Pengaruh suhu terhadap konsistensi

2. Ketahanan lama

Ketahanan lama atau ketahanan terhadap pelapukan oleh cuaca. Agar suatu bahan perekat aspal memuaskan sifatnya sebagai perekat ia harus tetap plastis. Bila aspal terkena pengaruh cuaca dalam bentuk lapisan yang tipis, ia akan berangsur-angsur hilang sifat plastisnya dan akan menjadi regas, karena perubahan kimia atau fisika. Perusakan oleh ala ini disebut pelapukan. Pelapukan lapisan hamparan jalan, terutama akibat dari oksidasi dan penguapan. Faktor lain yang menyebabkan kerusakan itu juga akibat sinar gelombang pendek dari matahari, umur pengerasan dan akibat bocoran air. Sifat-sifat aspal yang ada hubungannya dengan ketahanan lama atau pengaruh pelapukan antara lain:

- a. Titik lembek
- b. Oksidasi dan penguapan
- c. Pengaruh suhu
- d. Pengaruh luas permukaan
- e. Pengaruh sinar matahari
- f. Pengaruh susunan kimia
- g. Aspal yang dibuat dengan proses *cracking*

3. Derajat Pengerasan (rate & curing)

Bila suatu campuran yang terdiri dari *naphtha*, kerosene dan minyak lumas encer, kita laburkan pada suatu permukaan, maka cairan *naphtha* akan menguap terlebih dahulu dan setelah itu akan menguap cairan kerosene dan yang terakhir

minyak lumas. Jadi suatu aspal cair bila dibiarkan terbuka diudara dalam lapisan tiris berangsur-angsur akan mengental membentuk kembali aspal padat jenis AC. Waktu yang diperlukan untuk mengental kembali itu disebut derajat pengerasan. Derajat pengerasan dipengaruhi oleh:

- a. Penguapan dari bahan pelarut/ pengencer
- b. Jumlah pelarut/pengencer dalam aspal cair
- c. Angka penetrasi dari aspal dasar yang dicairkan

Sedangkan faktor luar yang mempengaruhi kecepatan pengentalan adalah:

- a. Suhu sekeliling
 - b. Luas permukaan penguapan atau perbandingan antara luas permukaan dan volumenya
 - c. Kecepatan angin yang melalui permukaan
4. Ketahanan terhadap pengaruh air

Sifat tahan lama aspal untuk hamparan jalan tergantung sekali pada kemampuan untuk dapat melekat dengan baik kepada butir agregat yang dicampur dengannya, dalam suasana basah (ada air). Kehilangan daya lekat aspal terhadap agregat mengakibatkan rusaknya hamparan jalan tersebut. Jelasnya lapisan aspal dari agregat, dalam adukan aspal dingin, dapat diperkecil dengan menggunakan jenis agregat yang bersifat *hydrophilis*. Daya lekat akan lebih baik lagi bila menggunakan bahan additive yang bersifat anti lepas. Bahan adiktive biasanya dicampurkan dalam campuran panas aspal beton yang dihampar dingin, bila air tercampur pula dalam beton itu. Pada pemakaian campuran aspal panas, yang dihamparkan dalam keadaan panas pula, dimana sebelumnya agregatnya telah dikeringkan terlebih dahulu, bahan additive tidak perlu dipakai lagi.

2.7 Karakteristik Campuran

Menurut Sukirman (2003), terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah Stabilitas, Keawetan atau durabilitas, Kelenturan atau Fleksibilitas, Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekestan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan. Dibawah ini adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik beton tersebut. (Silvia Sukirman, 2003:75).

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah:

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

2. Durabilitas (Keawetan)

Durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, beton aspal akan kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik. Tetapi semakin tebal selimut aspal, maka semakin mudah terjadi bleeding yang mengakibatkan jalan semakin licin. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam beton aspal, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjadi gatas, dan durabilitasnya menurun.

3. Fleksibilitas (Kelenturan)

Fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi/settlement) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

4. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi.

5. Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*)

Kekesatan/tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan untuk permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

6. Kedap air (impermeabilitas)

Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film/selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator

7. Mudah dilaksanakan (*workability*)

Mudah dilaksanakan adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan,

menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat. Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran pelaksanaan.

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

2.8 Gradasi Agregat

Gradasi didefinisikan secara umum adalah distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat yang saling mengisi sehingga terjadinya suatu ikatan yang saling mengunci. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa pemeriksaan dengan mempergunakan 1 set saringan. Saringan berukuran bukaan paling besar diletakkan teratas, dan yang paling halus (no.200) terbawah sebelum pan. Gradasi agregat menjadi faktor kunci dalam mengatur kepadatan struktur campuran. Campuran agregat yang bersifat seragam cenderung menyisakan ruang kosong yang luas. Sebaliknya, gradasi yang baik—yaitu campuran yang mencakup rentang ukuran lebar—mampu menciptakan struktur yang lebih rapat. Efek ini muncul karena agregat berukuran kecil menempati posisi di dalam rongga-rongga yang dibentuk oleh agregat berukuran besar. Gradasi agregat dibedakan atas :

1. Gradasi seragam (*uniform graded*)

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

2. Gradasi rapat (*Dense graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus dalam porsi yang seimbang, sehingga sering disebut gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). Agregat dikatakan bergradasi baik jika persen yang lolos setiap lapis dari sebuah gradasi memenuhi:

$$P = 100 (d/D)^{0,45} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm

d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan

D = Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka

Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas yang tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek dan berat volume besar.

3. Gradasi senjang (*Gap graded*)

Gradasi senjang mendefinisikan kondisi campuran agregat yang tidak memiliki distribusi ukuran partikel yang kontinu, di mana terdapat fraksi tertentu yang hilang atau jumlahnya sangat terbatas. Dalam aplikasinya pada perkerasan jalan, kualitas yang dihasilkan oleh tipe gradasi ini berada pada level menengah—di atas gradasi seragam namun masih di bawah gradasi rapat. Gradasi agregat yang ditentukan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

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

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 Perkerasan aspal;39)

2.9 Job Mix Desain

Menurut Sukirman (2003;14), gradasi agregat merupakan salah satu sifat yang sangat menentukan kinerja perkerasan jalan. Setiap jenis perkerasan jalan mempunyai gradasi agregat tertentu yang dapat dilihat di dalam setiap spesifikasi material perkerasan jalan. Agregat campuran adalah agregat yang diperoleh dari mencampur secara proporsional fraksi agregat A, fraksi agregat B, dan fraksi agregat C. Proporsi dari masing – masing fraksi agregat dirancang secara proporsional sehingga diperoleh gradasi agregat yang diinginkan. Agregat campuran adalah hasil pencampuran dari a% fraksi CA 10-10 dengan b% fraksi MA 5-10 dan c% fraksi FA 0-5, dengan $a+b+c = 100\%$.

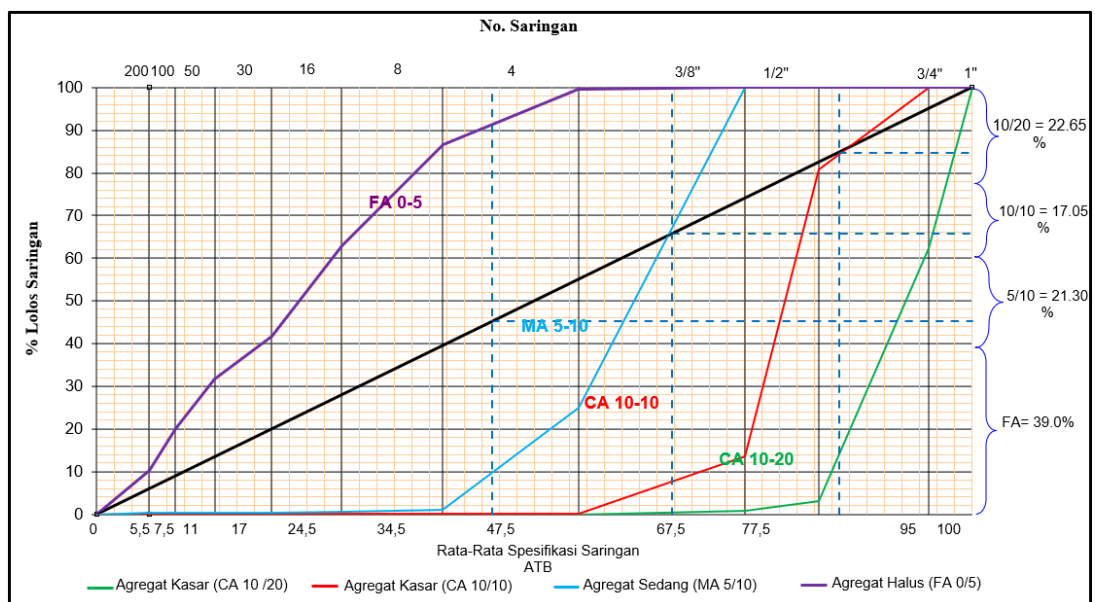
Langkah – langkah perancangan proporsi campuran adalah sebagai berikut:

1. Menggambar diagram diagonal itu sendiri yaitu, diagram yang berukuran 10x20 cm, atau ukuran lain dengan perbandingan 1:2
2. Sumbu datar digunakan untuk menunjukkan ukuran saringan, sumbu tegak digunakan untuk menunjukkan persen lolos saringan.
3. Garis diagonal dari empat persegi panjang menjadi garis gradasi tengah untuk spesifikasi agregat campuran yang di inginkan.
4. Berdasarkan persen lolos setiap ukuran saringan dari garis gradasi tengah ditentukan garis – garis yang menunjukkan lokasi setiap ukuran saringan. Jadi skala untuk sumbu horizontal ditentukan dari gradasi tengah spesifikasi agregat campuran.
5. Gambarkanlah garis gradasi agregat dari masing – masing fraksi yang akan dicampur.

Untuk menentukan proporsi masing-masing fraksi agregat terdapat 2 macam cara setelah langkah kelima dilakukan, yaitu :

1. Proporsi dari agregat kasar ditentukan dengan menarik garis vertikal sehingga jarak dari tepi bawah ke garis gradasi fraksi CA 10-10 = jarak dari tepi atas ke garis gradasi MA 5-10. Nilai proporsi CA 10-10 ditunjukkan oleh besarnya persen lolos yang diperoleh dari perpotongan garis vertikal tersebut dengan garis gradasi tengah spesifikasi agregat campuran dengan tepi atas. jarak dari tepi atas ke garis gradasi fraksi MA 5-10 adalah a, yang sama panjang dengan jarak dari garis gradasi fraksi CA 10-10 di tepi bawah. Proporsi dari FA 0-5 ditentukan dengan menarik garis vertikal sehingga jarak dari tepi atas ke garis gradasi fraksi FA 0-5 = jarak dari tepi bawah ke garis gradasi CA 10-10 ditambah dengan jarak dari tepi bawah ke garis gradasi MA 5-10. Jarak dari titik atas ke garis gradasi fraksi FA 0-5 adalah x, yang sama panjang dengan jarak garis gradasi fraksi CA 10-10 ke tepi bawah, c, ditambah dengan jarak dari tepi bawah ke garis gradasi fraksi MA 5-10, b. Jadi $x = b+c$. Nilai proporsi FA 0-5 ditunjukkan oleh besarnya persen lolos yang diperoleh dari perpotongan garis vertikal tersebut dengan garis gradasi tengah spesifikasi agregat campuran dengan tepi bawah. Proporsi MA 5-10 adalah 100% dikurangi proporsi CA 10-10 dan di kurangi proporsi FA 0-5.

- Tarik garis lurus untuk lengkung gradasi masing-masing fraksi, sehingga luas daerah bagian kiri dan bagian kanan yang di bentuk oleh garis tersebut dengan lengkung gradasi fraksi agregatnya kurang lebih sama. Hubungkan titik awal dan akhir dari garis-garis pada butir 1 secara berurutan. Perpotongan garis pada butir 2 ini dengan garis lengkung gradasi tengah spesifikasi campuran menentukan besarnya proporsi masing-masing fraksi agregat.



Gambar 2. 2 Contoh Pencampuran 4 Fraksi Agregat AC-BC

Gambar 2.2 merupakan grafik 4 fraksi AC-BC dimana proporsi agregat yang di tunjukan (CA 10-20 Agregat kasar = 22,65%, CA 10-10 Agregat kasar = 17,05%, MA 5-10 Agregat sedang= 21,30%, FA 0-5 Agregat Halus=39,0%) komposisi ini dirancang khusus untuk memberikan krateristik pada lapisan permukaan. Ukuran maksimum grafik menunjukkan ukuran saringan terbesar 1 (presentase lolos adalah 100% sesuai dengan spesifikasi AC-BC). Titik kontrol : saringan no 200 (0,075 mm). Keseluruhan proporsi ini berfungsi untuk mencapai kinerja campuran yang seimbang, dengan setiap fraksi berkontribusi terhadap kekuatan dan daya tahan dari material yang dihasilkan.

Tabel 2. 10 Rancangan Campuran dari 4 Fraksi Agregat

Ukuran Saringan (mm)	Nomor Saringan	Spesifikasi Agregat Campuran AC-BC	Gradasi Tengah Spesifikasi
25	1 inci	100	100
19	3/4 inci	90 – 100	95
12.5	1/2 inci	75 – 90	81.5
9.5	3/8 inci	66 – 82	74
4.75	No. 4	46 – 64	55
2.36	No. 8	30 – 49	39.5
1.18	No. 16	18 – 38	28
0.6	No. 30	12 – 28	20
0.3	No. 50	7 – 20	13.5
0.15	No. 100	5 – 13	9
0.075	No. 200	4 – 8	6

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Jalan)

2.10 Metode Marshall

2.10.1 Pengujian Marshall

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian marshall, yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan di lanjutkan oleh *U.S Corps Engineer*, yang bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (*flow*). Prinsip dasar dari metode marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam hal ini benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran tertentu, sesuai spesifikasi campuran. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) yang berkapasitas 2500 kg atau 5000 pon. Proving ring dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Disamping itu terdapat arloji kelelahan (flow meter) untuk kelelahan plastis (flow). Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan

tinggi 7,5 cm dipersiapkan di laboratorium, dalam cetakan benda uji dengan mempergunakan hammer (penumbuk) dengan berat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit.



Gambar 2. 3 Alat Uji Marshall

2.10.2 Parameter Pengujian Marshall

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

1. Stabilitas

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian Marshall. Hasil tersebut dicocokkan dengan angka kalibrasi proving ring dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan factor koreksi yang dipengaruhi oleh tebal benda uji. Nilai stabilitas sesungguhnya diperoleh dengan rumus:

$$S = p \times q \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

S = angka stabilitas sesungguhnya

P = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = angka koreksi benda uji

2. Flow (Kelelahan)

Syarat nilai flow antara 2 - 4 mm. Nilai flow yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadimudah retak, sedangkan campuran dengan nilai flow tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang.

3. Rongga diantara mineral agregat (VMA)

Rongga diantara mineral agregat adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, dinyatakan dalam persentase. Nilai VMA dalam persen dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$VMA = 100 \times \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk
- Gmb = Berat jenis bulk campuran
- Gsb = Berat jenis afektif agregat
- Ps = Jumlah agregat, % terhadap total berat campuran.

4. Pori-pori antar butir agregat didalam aspal padat yang terisi aspal (VFA) Nilai ini menunjukkan persentase rongga campuran yang berisi aspal, nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu, yaitu pada saat rongga telah penuh. Nilai rongga terisi aspal (VFA) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$VFA = \frac{100 \times (VMA \times VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

- VFA = Pori antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA
- VMA = Pori antara butir agregat didalam beton aspal padat, % dari volume beton bulk aspal padat
- VIM = Pori dalam beton aspal padat, % dari volume beton bulk beton aspal padat

5. Rongga di dalam campuran (VIM) VIM merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM dalam persen dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$VMI = 100 \times \frac{Gmm \times Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

VIM = Rongga di dalam campuran, persen terhadap volume total campuran

Gmb = Berat jenis maksimum campuran

Gmm = Berat jenis bulk campuran

6. Marshall Quotient

Nilai karakteristik marshall diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$M = S/R \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

S = Nilai stabilitas

R = Nilai flow

MQ = Nilai Marshall Quotient (kg/mm)

2.10.3 Spesifikasi parameter marssal

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan, parameter Marshall untuk campuran AC-BC (Asphalt Concrete - Binder Course) dibagi menjadi dua kategori utama berdasarkan beban lalu lintas: lalu lintas berat dan lalu lintas rendah/lainnya. Berikut adalah parameter spesifikasi Marshall untuk AC-BC berdasarkan standar umum (seperti Spesifikasi Umum Bina Marga):

tabel 2. 11 Parameter Marssal

Parameter	Satuan	Spesifikasi (Min/Max)
Rongga dalam Campuran (VIM)	%	3,0 – 5,0
Rongga dalam Agregat (VMA)	%	Min. 14,0
Rongga Terisi Aspal (VFA)	%	Min. 65,0
Stabilitas Marshall	kg	Min. 800
Pelelehan (Flow)	mm	2,0 – 4,0
Hasil Bagi Marshall (MQ)	kg/mm	Min. 250

2.11 Hipotesis

Hipotesis merupakan dugaan awal terhadap pertanyaan yang tertuang dalam rumusan masalah. Mengingat sifatnya yang masih bersifat sementara, pernyataan tersebut memerlukan validasi lebih lanjut melalui analisis data dan fakta di lapangan. Secara umum, terdapat dua kategori hipotesis penelitian, yaitu:

1. Hipotesis Nihil (H_0)

Yaitu menyatakan bahwa tidak adanya perbedaan nilai karakteristik marshall terhadap serbuk ban sebagai bahan tambahan campuran aspal porous persentase 0%, 1%, 3%, 6%, dan 9%.

2. Hipotesis Alternatif (H_a)

Yaitu menyatakan bahwa terdapat perbedaan nilai karakteristik marshall terhadap serbuk ban sebagai bahan tambahan campuran aspal porous persentase 0%, 1%, 3%, 6%, dan 9%.

Sedangkan hipotesa statistiknya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$H_0 ; \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 ; \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

Dimana :

μ_1 = Parameter serbuk ban sebagai bahan tambahan agregat campuran aspal ac-bc persentase 0%.

μ_2 = Parameter serbuk ban sebagai bahan tambahan agregat campuran aspal ac-bc persentase 1%.

μ_3 = Parameter serbuk ban sebagai bahan tambahan agregat campuran aspal ac-bc persentase 3%.

μ_4 = Parameter serbuk ban sebagai bahan tambahan agregat campuran aspal ac-bc persentase 6%.

μ_5 = Parameter serbuk ban sebagai bahan tambahan agregat campuran aspal ac-bc persentase 9%.

2.11.1 Validasi Data

Validasi data merupakan prosedur pemeriksaan terhadap suatu objek uji guna memastikan kesesuaiannya atau sebagai sarana penghimpunan data. Secara spesifik, validasi merujuk pada rangkaian aktivitas pengujian yang dilakukan,

sementara validitas adalah parameter yang menunjukkan sejauh mana hasil pengujian tersebut mencerminkan kebenaran dari objek yang diteliti. Adapun formulasi untuk validasi stabilitas informasi adalah sebagai berikut:

1. Rata-rata nilai stabilitas:

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n} \dots\dots\dots (7)$$

2. Interval kepercayaan:

$$\bar{x} - t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})} \cdot \frac{s}{\sqrt{2}} < \mu < \bar{x} + t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})} \cdot \frac{s}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (8)$$

3. Varian:

$$S^2 = \frac{\sum(xi-x)^2}{n-1} \dots\dots\dots (9)$$

4. Simpangan baku:

$$S = \sqrt{S^2} \dots\dots\dots (10)$$

5. Derajat kebebasan:

$$Dk = n - 1 \dots\dots\dots (11)$$

2.11.2 Analisa Varian

Analisa varian guna melihat apakah ada selisih yang jelas antara angka stabilitas, flow, VIM, VMA, Marshall Quotient seta VFA antara kelompok benda uji coba. Kelompok yang dites merupakan kombinasi perkerasan AC-BC yang menggunakan aspal optimum dengan variasi serbuk arang tempurung kelapa sebagai filler.

1. Cara menghitung dengan menggunakan perhitungan matematis:

$$Ry = \frac{j^2}{\sum_{i=1}^k ni} \dots\dots\dots (12)$$

2. Jumlah kwadrat (JK) atau Sum Of Square, untuk rata-rata seluruh data benda uji:

$$Ay = \sum_{i=1}^k \left(\frac{j^2}{ni} \right) - Ry \dots\dots\dots (13)$$

3. Jumlah kwadrat (JK) antar kelompok atau Sum Of Square between group:

$$\sum y^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k yij^2 \dots\dots\dots (14)$$

4. Jumlah total JK atau total Sum Of Square

$$Dy = \sum y^2 - Ry - Ay \dots\dots\dots (15)$$

5. Jumlah kwadrat dalam kelompok Sum Of Square Groups:
 - a. Df between groups = derajat kebebasan (dk) antar kelompok
 - b. Df within groups = derajat kebebasan (dk) antar kelompok
 - c. n = jumlah kelompok benda uji
 - d. $KT = \text{Sum Of Square (JK)}/df = \text{kwadrat tengah atau mesin square}$
 - e. $F = \text{Mean Square (KT) between groups}/\text{mean square (KT) within groups}$

2.11.3 Analisa Regresi

Ketika menghadapi kumpulan data yang melibatkan dua variabel atau lebih, diperlukan suatu metode untuk mengidentifikasi pola keterkaitan di antaranya. Hubungan ini biasanya dinyatakan dalam model matematis yang merepresentasikan fungsi antar variabel. Dalam studi ini, untuk mengevaluasi pengaruh variasi serbuk arang tempurung kelapa terhadap parameter Marshall (*stabilitas, flow, VIM, VMA, MQ, dan VFA*) pada campuran AC-BC, digunakan pendekatan regresi nonlinier jenis polinomial dengan struktur persamaan sebagai berikut:

$$\hat{Y} = a + bX + cX^2 \quad (16)$$

Yang akan dihitung dengan perhitungan matriks sebagai berikut:

$$\hat{Y} = a + bX + cX^2 \dots\dots\dots (17)$$

Atau dengan perhitungan persamaan matriks

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n xi & \sum_i^n xi^2 \\ \sum_{i=1}^n xi & \sum_i^n xi^2 & \sum_i^n xi^3 \\ \sum_i^n xi^2 & \sum_i^n xi^3 & \sum_i^n xi^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n yi \\ \sum_{i=1}^n xi \cdot yi \\ \sum_i^n xi^2 \cdot yi \end{bmatrix} \dots\dots\dots (18)$$

Atau disingkat: $AX = B$

Nilai a, b, dan c dihitung dengan persamaan:

$$X = A^{-1} \cdot B \dots\dots\dots (19)$$

Dimana:

A^{-1} = invers dari matriks A

2.12 Limbah Ban Karet

Ban karet biasanya terbuat dari kombinasi karet alam dan sintetis, yang diproses dengan cara tertentu agar dapat memenuhi kebutuhan khusus kendaraan, seperti cengkraman yang baik, ketahanan terhadap keausan, dan kemampuan dalam menyerap guncangan.

Penggunaan serbuk ban bekas dalam campuran aspal membantu mengatasi masalah lingkungan terkait limbah ban, yang sulit terurai dan dapat mencemari tanah serta air. Dengan mengubahnya menjadi serbuk ban untuk campuran aspal, limbah ini dapat dimanfaatkan kembali, mengurangi pencemaran dan dampak negatif terhadap lingkungan.

Menurut (Asri, 2025), Secara umum beberapa jenis bahan sebagai bahan baku ban yaitu sebagai berikut :

1. *Styrene-Butadiene Rubber* (SBR), SBR merupakan kopolimer dari stirena dan butadiena yang memberikan campuran sifat elastis dari butadiene dan kekuatan dari stirena. SBR digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan dipermukaan jalan sehingga membuat ban lebih tahan lama. SBR juga memiliki ketahanan yang baik terhadap ozon, sinar UV, dan cuaca ekstrem.
2. *Polybutadiene Rubber* (BR), BR merupakan polimer dari butadiena yang dapat memberikan elastisitas yang baik serta memiliki resistensi terhadap suhu rendah. BR juga sangat tahan terhadap keausan dan lebih keras daripada SBR.
3. *Isobutylene-Isoprene Rubber* (IIR), IIR adalah kopolimer dari isobutylene dan isoprene sehingga memberikan ketahanan terhadap udara, tahan terhadap kelembaban, dan memiliki sifat elastisitas.
4. *Isobutylene-Isoprene Halogenated Rubber* (Halogenated IIR), bahan ini dapat meningkatkan ketahanan terhadap ozon dan suhu tinggi karena penambahan halogen seperti klorin atau bromin.
5. Serat kain, jenis serat kain yang biasa digunakan adalah poliester atau nilon untuk meningkatkan kekuatan dan elastisitas ban.
6. Filler, bahan ini digunakan untuk memperkuat ban dan menambah ketahanan terhadap sobekan dan tusukan. Contoh filler yaitu carbon black atau chalk.

Bahan-bahan penyusun ban rata-rata memiliki sifat elastisitas, ketahanan terhadap suhu yang tinggi dan terhadap keausan sehingga bisa digunakan sebagai bahan campuran dalam perkerasan jalan yang harus tahan terhadap deformasi dan tetap memiliki kelenturan yang efektif. Hasil pengujian density dari beberapa merek ban bekas yang dilakukan oleh (Faizah et al., 2020), didapatkan nilai density yang hampir sama yaitu sekitar $1,1 \text{ gr/cm}^3$. (A. Setiawan et al., 2021) juga melakukan

pengujian berat jenis terhadap serbuk ban dengan menggunakan metode gravimetri dan didapatkan hasil sebesar $1,1 \pm 0,01 \text{ gr/cm}^3$.



Gambar 2. 4 Limbah Ban Yang Sudah Diolah

(Sumber : Dokumentasi)

2.13 Metode campuran penambahan serbuk ban karet

Menambahkan serbuk ban karet ke dalam campuran aspal AC-BC dikenal sebagai metode *Dry Process* (Proses Kering) atau *Wet Process* (Proses Basah). Dalam konteks pengujian Marshall, penambahan ini bertujuan untuk meningkatkan elastisitas dan ketahanan campuran terhadap retak. Ada 2 hal yang harus diperhatikan dalam pencampuran serbuk ban yaitu sebagai berikut:

- Ukuran serbuk ban yang digunakan adalah sebagai pengganti Agregat sedang(MA 5-10) jadi, ukuran serbuk ban lolos saringan no 3/8 dan tertahan pada saringan no 8.
- Penambahan serbuk ban dilakukan saat agregat sudah mencapai suhu 160°C untuk mencegah serbuk ban meleleh sebelum di campur aspal.