

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Untuk memperdalam pemahaman mengenai pengaruh serbuk ban sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal porus, penelitian ini akan mengacu pada beberapa penelitian sebelumnya yang relevan. Penelitian-penelitian ini akan dijadikan dasar teoritis :

1. (Awan Susanto et al., 2023). **KINERJA PERKERASAN ASPAL BERPORI DENGAN CAMPURAN LIMBAH PLASTIK DAN KARET.** (*Jurnal Jalan-Jembatan*). Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik dan karet menghasilkan perubahan yang signifikan terhadap aspal berpori. Limbah plastik yang digunakan yaitu *polyethylene terephthalate* (PET) dan ban dalam bekas kendaraan. Berdasarkan hasil pengujian, analisis data, dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai pengaruh penambahan limbah plastik dan karet terhadap kinerja perkerasan aspal berpori, dapat disimpulkan bahwa uji agregat dan aspal menunjukkan karakteristik yang baik, sehingga menghasilkan campuran aspal berpori yang optimal. Dari karakteristik Marshall, diketahui bahwa penambahan limbah plastik dan karet dapat meningkatkan kinerja aspal berpori, terlihat dari peningkatan pada parameter stabilitas, flow, VIM, dan MQ. Ketahanan campuran aspal berpori terhadap retak dan abrasi juga meningkat dengan adanya limbah plastik dan karet. Keawetan campuran aspal berpori tercapai pada kadar limbah plastik dan karet sebesar 2%. Namun, ketahanan terhadap kelembaban menunjukkan penurunan, baik pada campuran tanpa limbah maupun yang mengandung limbah plastik dan karet. Kekedapan perkerasan aspal berpori meningkat akibat penambahan limbah plastik dan karet. Berdasarkan temuan ini, disarankan agar persentase limbah plastik dan karet dalam campuran aspal berpori yang ideal adalah sebesar 2%.

2. (Martina et al., 2019). **PENGARUH SERBUK BAN BEKAS SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN ASPAL PORUS.**

Wahana Teknik Sipil Jurnal Pengembangan Teknik Sipil. Penelitian ini menganalisis pengaruh serbuk ban sebagai campuran agregat halus dengan variasi kadar serbuk ban sebesar 0%, 4%, 6%, 8% yang menghasilkan pengaruh yang signifikan terhadap sifat fisik dan mekanika aspal porous. Berikut adalah poin-poin utama dalam hasil penelitian :

- Pengaruh pada pengujian *volumetric* : Penambahan serbuk ban masing-masing 4%, 6%, 8% dapat meningkatkan nilai densitas sebesar 2,3%, 1,86%, 1,4% dari benda uji campuran aspal porous normal. Pada nilai *specific gravity* campuran mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar serbuk ban dengan nilai 1,41%, 1,88%, 2,35% dari benda uji campuran aspal porous normal. Hasil *porosity* pada benda uji dengan campuran kadar serbuk ban 4%, 6%, 8% mengalami penurunan sebesar 35,21%, 27,18%, 20,28% dari benda uji campuran aspal porous normal.
- Pengujian *marshall* : Hasil nilai stabilitas dari penambahan serbuk ban pada campuran aspal porous berturut-turut sebesar 642,19 Kg, 847,59 Kg, 574,94 Kg dari campuran aspal porous normal yakni sebesar 1169,38 Kg. Berdasarkan pengujian benda uji dengan campuran serbuk ban kadar 6% dan benda uji campuran aspal porous normal yang memenuhi syarat menurut spesifikasi umum bina marga (2018) dengan minimal stabilitas > 800 Kg. Hasil pengujian *flow* pada campuran aspal porous normal didapatkan nilai 3,17 mm dan hasil *flow* pada campuran aspal porous dengan serbuk ban sebesar 4%, 6%, 8% berturut – turut adalah 3.27 mm, 3.37 mm, 3 mm. Hasil *flow* pada kadar 4% dan 6% mengalami kenaikan dan turun pada kadar 8% tetapi masih memenuhi syarat spesifikasi umum bina marga 2018 yaitu nilai *flow* adalah 2-4 mm. Hasil *marshall quotient* dari masing-masing variasi benda uji mengalami penurunan

yang signifikan dimana nilai marshall quotient benda uji dengan campuran aspal porus normal sebesar 369.3 Kg/mm sedangkan nilai marshall quotient benda uji dengan kadar serbuk ban berturut-turut adalah 61,6 Kg/mm, 85,8 Kg/mm, 70,1 Kg/mm menandakan bahwa jika terjadi penurunan nilai stabilitas dan kenaikan nilai flow maka hasil marshall quotient akan menurun yakni campuran aspal terlalu lunak tapi tidak tahan terhadap deformasi karena beban yang diterima.

Secara keseluruhan, dalam penelitian ini pentingnya mempertimbangkan variasi kadar penambahan serbuk ban yang optimum untuk mencapai nilai sifat mekanik yang diinginkan serta dampaknya pada performa aspal porus seiring waktu.

3. (Ilhamsyah, 2017). **KINERJA PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH MATERIAL ALTERNATIF (SERBUK BAN) SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT HALUS UNTUK PANAS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC) PERKERASAN JALAN.** Dalam penelitian ini meninjau terkait penambahan serbuk ban sebagai bahan alternatif dalam campuran agregat halus untuk aspal AC-WC dengan menggunakan spesifikasi Depkimpraswil 2002. Penelitian ini menggunakan variasi kadar serbuk ban sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dengan parameter karakteristik marshall. Nilai stabilitas yang didapatkan dari penambahan serbuk ban dengan kadar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% didapatkan nilai stabilitas berturut-turut adalah 982,49 kg, 1003,69 kg, 1066,19 kg, 972,91 kg, 941,23 kg yang berarti memenuhi syarat > 800kg. Penambahan serbuk ban dalam penelitian ini terbukti dapat meningkatkan nilai stabilitas dalam perkerasan jalan karena meningkatkan ikatan antar agregat dengan aspal.
4. (Oktaviastuti et al., 2018). **PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK BAN BEKAS UNTUK BAHAN TAMBAH CAMPURAN ATB (*Asphalt Treated Base*).** Dalam penelitian ini meninjau tentang kinerja penambahan serbuk ban

pada campuran ATB dengan variasi kadar serbuk ban yaitu sebesar 0%, 1,5%, 3%, 4,5%, dan 6% dari berat agregat dan didapatkan hasil sebagai berikut :

- Semakin tinggi penambahan serbuk ban bekas, semakin menurun nilai stabilitasnya. Nilai flow meningkat seiring dengan penambahan serbuk ban bekas, dengan flow tertinggi pada kadar 6%. Nilai MQ cenderung menurun seiring bertambahnya serbuk ban bekas, dengan nilai MQ terendah pada kadar 6%. Nilai VIM mencapai puncaknya pada kadar serbuk ban 6%, dan semakin tinggi penambahan serbuk ban, semakin besar pula nilai VIM. Nilai VMA terendah ditemukan pada kadar serbuk ban 0%, sedangkan nilai VMA tertinggi terjadi pada kadar serbuk ban 6%. Nilai VFA semakin berkurang dengan meningkatnya penambahan serbuk ban bekas, dan nilai VFA terendah tercatat pada kadar serbuk ban 6%.
- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, kadar penambahan serbuk ban yang paling optimal adalah 1,5%, yang menghasilkan nilai stabilitas sebesar 1293 kg.

5. (Cetin, 2013) *Effects of Crumb Rubber Size and Concentration on Performance of Porous Asphalt Mixtures*. Dalam penelitian ini meninjau terkait pengaruh ukuran dan konsentrasi dari serbuk ban dalam kinerja campuran aspal porus, didapatkan bahwa terdapat perubahan yang signifikan dalam campuran aspal porus yaitu sebagai berikut :

- Ukuran serbuk ban dengan partikel lebih kecil menghasilkan campuran aspal yang memiliki stabilitas yang lebih baik. Partikel kecil mudah terdispersi dalam matriks aspal dan menciptakan campuran yang lebih homogen sehingga menghasilkan performa mekanik yang lebih baik.
- Konsentrasi serbuk ban yang lebih tinggi dapat meningkatkan elastisitas campuran aspal sehingga dapat menahan tekanan akibat beban lalu lintas berat dan mencegah keretakan.

- Penambahan serbuk ban pada campuran aspal menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap deformasi permanen seperti rutting. Hal ini dikarenakan sifat elastisitas yang diberikan oleh serbuk ban sehingga memungkinkan aspal untuk kembali ke bentuk semula setelah mengalami tekanan.
- Keberlanjutan dan dampak lingkungan dapat memberikan solusi yang ramah lingkungan dengan mengurangi limbah karet seperti ban bekas yang sulit terurai di lingkungan dan dapat mengurangi emisi karbon dan limbah berbahaya serta tetap meningkatkan kualitas infrastruktur jalan.

Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti dan Judul Penelitian	Kesamaan	Perbedaan
1	(Awan Susanto et al., 2023). KINERJA PERKERASAN ASPAL BERPORI DENGAN CAMPURAN LIMBAH PLASTIK DAN KARET	- Menggunakan metode kuantitatif - Melakukan penelitian di laboratorium - Jenis aspal porus - Penambahan bahan jenis karet	- Bahan tambahan - Kadar variasi bahan tambahan
2	(Martina et al., 2019). PENGARUH SERBUK BAN BEKAS SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT	- Menggunakan bahan tambahan serbuk ban	- Variasi kadar bahan tambahan - Mix design campuran

	HALUS PADA CAMPURAN ASPAL PORUS	- Jenis campuran aspal	
3	(Ilhamsyah, 2017). KINERJA PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH MATERIAL ALTERNATIF (SERBUK BAN) SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT HALUS UNTUK PANAS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) PERKERASAN JALAN	- Menggunakan bahan tambahan serbuk ban - Menggunakan metode kuantitatif	- Jenis campuran aspal - Variasi kadar serbuka ban
4	(Oktaviastuti et al., 2018). PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK BAN BEKAS UNTUK BAHAN TAMBAH CAMPURAN ATB (<i>Asphalt Treated Base</i>)	- Menggunakan bahan tambahan serbuk ban - Menggunakan metode kuantitatif	- Jenis campuran aspal - Variasi kadar serbuk ban
5	(Cetin, 2013). <i>Effects of Crumb Rubber Size and Concentration on Performance of Porous Asphalt Mixtures.</i>	- Menggunakan jenis aspal yang sama - Menggunakan serbuk ban sebagai bahan tambahan	- Lokasi penelitian berbeda - Variasi bahan tambahan yang berbeda

2.2 Aspal Porus

Lapisan aspal porus adalah jenis lapisan permukaan jalan yang dibuat dengan menggunakan campuran aspal dan agregat dengan proporsi yang berbeda dibandingkan aspal konvensional. Proses pembuatannya dimulai dengan pemanasan aspal pada suhu sekitar 160-170°C untuk memastikan aspal dalam keadaan cair dan siap dicampur. Agregat kasar dan halus yang digunakan memiliki ukuran lebih besar dan distribusi yang lebih terbuka, menciptakan ruang kosong atau pori-pori dalam campuran yang memungkinkan air meresap ke dalam tanah. Proses pencampuran dilakukan dengan suhu antara 150-160°C untuk memastikan kestabilan campuran tanpa mengurangi efektivitas pembentukan pori. Hasil akhir dari proses ini adalah lapisan permukaan dengan kerapatan rendah yang memiliki karakteristik drainase tinggi, yang mampu mengurangi genangan air dan meningkatkan kenyamanan serta keselamatan berkendara. Namun, karena struktur porositasnya yang lebih terbuka, lapisan aspal porus lebih rentan terhadap pengaruh sampah dan kotoran yang dapat menyumbat pori-pori, sehingga membutuhkan pemeliharaan yang lebih sering.

2.3 Bahan - Bahan Material Penyusun Campuran Aspal Porus

2.3.1 Aspal

Aspal memiliki sifat termoplastis, yang berarti ia akan mencair ketika dipanaskan dan kembali mengeras saat suhu menurun. Sifat ini dimanfaatkan dalam proses pembangunan perkerasan jalan. Persentase aspal yang digunakan dalam campuran perkerasan bervariasi, tergantung pada berat atau volume campuran tersebut (Sukirman, 2016). Perkerasan jalan aspal memiliki beberapa fungsi antara lain :

1. Aspal berperan sebagai bahan perekat yang menghubungkan agregat dalam campuran perkerasan, sehingga membentuk lapisan permukaan yang kokoh dan stabil.
2. Aspal memberikan kekuatan pada struktur jalan dengan mendistribusikan beban lalu lintas, serta meningkatkan daya tahan jalan terhadap keausan, perubahan bentuk, dan kerusakan.

Tabel 2.2 Ketentuan Aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Penetrasi 60-70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	60 - 70
2	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin\theta$) pada osilasi 10 ras/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442- 2000	—
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Daktilitas Pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6	Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
8	Berat jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$
9	Stabilitas Penyimpangan Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	—
10	Kadar parafin lilin (%)	SNI 03-3639- 2002	≤ 2
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03- 6835-2002)			
11	Berat yang hilang (%)	Berat yang hilang (%)	$\leq 0,8$
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\theta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa, (°C)	SNI 06-6442- 2000	—
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
14	Daktilitas Pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

Berdasarkan asal dan proses pembentukannya aspal dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Aspal Alam

Aspal alam dapat dibedakan menjadi :

1. Aspal gunung (*rock asphalt*), contohnya aspal dari Pulau Buton.
2. Aspal danau (*lake asphalt*), contohnya aspal Bermudez dan Trinidad.

b. Aspal Minyak

Aspal minyak merupakan tipe aspal yang dihasilkan melalui proses penyaringan minyak bumi. Aspal ini terbentuk sebagai sisa dari distilasi minyak mentah, memiliki tekstur yang lebih kental, serta sifat viskoelastis.

Aspal minyak dapat dibedakan menjadi :

1. Aspal keras/panas (*asphalt cement*), Aspal ini digunakan dalam kondisi cair dan panas, sementara dalam kondisi penyimpanan pada suhu ruang, aspal ini berbentuk padat.
2. Aspal dingin/cair (*cut back asphalt*) adalah jenis aspal yang digunakan dalam bentuk cair pada suhu rendah. Aspal cair ini diperoleh dengan cara melarutkan aspal keras menggunakan bahan pelarut berbasis minyak.

c. Aspal emulasi (*emulsified asphalt*) adalah campuran antara aspal dan air yang stabil karena adanya bahan pengemulsi yang dilakukan pabrik pencampur.

Berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dibedakan menjadi beberapa jenis antara lain :

1. *Rapid setting* (RS), aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat, dan aspal menjadi padat atau keras Kembali.
2. *Slow Setting* (SS), aspal yang mengeras lebih lambat, cocok untuk daerah dengan suhu rendah atau proyek yang membutuhkan ketahanan lebih lama.

2.3.2 Agregat

Agregat adalah butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan, yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen (Sukirman, 2016). Agregat merupakan komponen utama dalam struktur perkerasan jalan, yang mencakup sekitar 90% – 95% berdasarkan

persentase berat, atau 75% – 85% berdasarkan persentase volume. Oleh karena itu, kualitas perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh sifat agregat serta campurannya dengan material lainnya. Sifat agregat ini menjadi salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas serta daya tahannya terhadap perubahan cuaca. Berdasarkan proses pengolahannya, agregat dibedakan menjadi 2 jenis antara lain :

1. Agregat Kasar

Fraaksi agregat kasar adalah bahan yang memiliki ukuran lebih besar dari 2,36 mm (No. 8 menurut saringan ASTM). Agregat kasar ini memiliki peranan yang sangat penting dalam konstruksi jalan, terutama dalam campuran aspal, karena kualitas dan karakteristiknya dapat mempengaruhi daya tahan dan kekuatan lapisan jalan yang terbentuk. Agregat kasar yang digunakan dalam campuran aspal harus memenuhi berbagai kriteria untuk memastikan hasil yang optimal. Salah satu persyaratan utama adalah bahwa agregat tersebut harus terdiri dari batu pecah yang bersih, kuat, kering, dan tahan lama. Batu pecah ini memiliki kemampuan untuk menahan beban yang berat, serta tidak mudah mengalami kerusakan seiring berjalannya waktu, bahkan dalam kondisi cuaca ekstrem sekalipun. Selain itu, sifat kekuatan dari agregat kasar ini akan berpengaruh pada kestabilan dan ketahanan jalan terhadap tekanan lalu lintas yang tinggi. Permukaan agregat kasar harus kasar, bukan halus atau bulat. Hal ini bertujuan agar agregat dapat memberikan sifat *interlocking* yang baik dengan material lainnya, seperti pasir dan filler, yang membentuk campuran aspal secara keseluruhan.

2. Agregat Halus

Agregat halus merupakan agregat yang berasal dari berbagai sumber bahan, yang terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan lolos saringan No. 4 (4,75 mm). Fungsi utama dari agregat halus adalah untuk memberikan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen pada perkerasan jalan melalui saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Oleh karena itu, sifat

eksternal yang dibutuhkan adalah *angularity* (bentuk menyudut) dan kekasaran permukaan butiran.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Metode Pengujian	Nilai
Ketentuan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
		Magnesium sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah terhadap agregat kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90*
		Lainnya		95/90**
Partikel pipih dan lonjong		SMA	ASTM D4791 10	Maks. 5%
		Lainnya	Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan no 200			SNI ASTM C117 : 2012	Maks. 1%

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

2.3.3 Bahan Tambahan

Bahan tambahan dalam campuran aspal adalah material yang ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifat aspal atau campurannya, seperti kekuatan, daya tahan, dan stabilitas. Bahan ini bisa berupa polimer, bahan pengikat, bahan pengisi, atau aditif lainnya yang berfungsi untuk mengubah sifat fisik atau kimia aspal, sehingga lebih cocok dengan kondisi tertentu, seperti suhu ekstrem, beban lalu lintas yang tinggi, atau lingkungan yang keras. Tujuan utama penambahan bahan ini adalah untuk meningkatkan kualitas dan performa campuran aspal dalam pembangunan jalan.

2.4 Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan adalah campuran dari berbagai ukuran agregat yang membentuk susunan tertentu. Gradasi ini diperoleh melalui analisis saringan menggunakan satu set saringan, di mana saringan dengan ukuran terbesar diletakkan di bagian atas dan saringan dengan ukuran terkecil di bagian bawah. Gradasi agregat menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja perkerasan jalan tersebut.

Setiap jenis perkerasan jalan memiliki gradasi agregat yang sesuai dengan spesifikasi material perkerasan jalan atau yang ditetapkan oleh pihak berwenang. Semua spesifikasi perkerasan mengharuskan agar partikel agregat berada dalam proporsi yang tepat, dan setiap ukuran partikel harus memenuhi proporsi tertentu.

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal Porus

Nomor Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi % Berat yang Lolos
$\frac{3}{4}$	19,0	100
$\frac{1}{2}$	13,2	85-100
$\frac{3}{8}$	9,5	45-70
No.4	4,75	10-25
No.8	2,36	7-15
No.16	1,18	6-12
No.30	0,6	5-10
No.50	0,3	4-8
No.100	0,15	3-7
No.200	0,075	2-5

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)*, 2004

2.5 Campuran Beraspal

Aspal sebagai bahan pengikat (*binder*) adalah material alami yang berwarna hitam kecoklatan. Ketika dipanaskan pada suhu tertentu, aspal akan mencair dan bisa dicampurkan dengan agregat. Beberapa sifat dasar aspal yang dibutuhkan dalam campuran aspal setelah diterapkan di lokasi penghamparan adalah sebagai berikut :

1. Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan merujuk pada kemampuan lapisan tersebut untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk, seperti timbulnya gelombang pada aspal. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal antara lain adalah :

- a. Gesekan internal, dapat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan butir agregat, luas area kontak antar butir, bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, serta ketebalan lapisan aspal.
- b. Kohesi adalah daya tarik atau ikatan antar partikel-partikel aspal itu sendiri yang memungkinkan aspal tetap terikat dengan kuat, sehingga menjaga kestabilan campuran aspal dan agregat.

2. Durabilitas/Keawetan

Durabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk mempertahankan sifat dan fungsinya selama masa pemakaian. Kerusakan pada lapisan perkerasan umumnya disebabkan oleh beban lalu lintas, gesekan roda kendaraan, dan cuaca. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh ketebalan lapisan aspal, jumlah pori dalam campuran, kepadatan, dan kedap airnya campuran. Lapisan aspal yang lebih tebal dapat membungkus agregat dengan baik, membuat beton aspal menjadi kedap air, dan meningkatkan kemampuannya dalam menahan keausan. Namun, semakin tebal lapisan aspal, semakin mudah terjadi bleeding yang dapat menyebabkan permukaan jalan menjadi licin. Selain itu, jumlah pori yang tersisa setelah pemadatan dapat menurunkan durabilitas beton aspal. Semakin banyak pori yang tersisa, semakin kurang kedap air beton aspal dan semakin banyak udara yang terperangkap, yang dapat mempercepat oksidasi lapisan aspal dengan udara, menjadikannya rapuh, dan menurunkan durabilitasnya.

3. Fleksibilitas/Kelenturan

Fleksibilitas (kelenturan) adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk menyesuaikan diri dengan deformasi akibat beban lalu lintas yang berulang tanpa mengalami retak atau perubahan volume. Fleksibilitas ini dapat

ditingkatkan dengan menggunakan agregat bergradasi terbuka dan kadar aspal yang lebih tinggi.

4. Kedap air

Musuh utama perkerasan aspal adalah air. Untuk mendapatkan lapisan yang kedap air, campuran aspal memerlukan kadar aspal yang cukup tinggi agar dapat menahan tekanan akibat beban kendaraan dan tekanan air. Air dan udara dapat mempercepat proses penuaan aspal serta menyebabkan pengelupasan lapisan aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator seberapa kedap air campuran tersebut.

5. Kekesatan dan tahan geser

Kekesatan adalah kemampuan permukaan jalan untuk menahan gesekan dengan roda kendaraan, sehingga pengendara tidak mudah tergelincir atau selip, baik pada kondisi jalan basah maupun kering. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekesatan jalan sama dengan faktor-faktor yang menentukan stabilitas tinggi, yaitu kekasaran permukaan agregat, luas kontak antar butir, bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan ketebalan lapisan aspal. Ukuran maksimum butir agregat juga berperan dalam menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini, agregat yang digunakan harus tidak hanya memiliki permukaan kasar, tetapi juga cukup tahan lama agar permukaannya tidak cepat menjadi licin akibat tekanan kendaraan yang berulang.

6. Ketahanan terhadap kelelahan

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan beton aspal untuk menahan lenturan berulang akibat beban yang terus menerus, tanpa mengalami kerusakan seperti alur atau retak. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan kadar aspal yang lebih tinggi.

7. Mudah dilaksanakan

Kemudahan pelaksanaan merujuk pada kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihitung dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan berpengaruh terhadap efisiensi pekerjaan. Beberapa faktor yang mempengaruhi

kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan meliputi viskositas aspal, sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu, serta gradasi dan kondisi agregat. Jika ditemukan kesulitan selama pelaksanaan, revisi atau penyesuaian terhadap desain campuran dapat dilakukan.

Berdasarkan *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA), 2004, berikut ketentuan spesifikasi campuran aspal porus :

Tabel 2.5 Spesifikasi Campuran Aspal Porus

No.	Kriteria Perancangan	Nilai
1	Koefisien Permeabilitas (cm/s)	0,1 – 0,5
2	Kadar Ringga di Dalam Campuran (VIM %)	18 – 25
3	Stabilitas Marshall (kg)	Min. 500
4	Kelelahan Marshall (mm)	2 – 6
5	Marhall Quotitien (MQ) (Kg/mm)	Maks. 400
6	Jumlah Tumbukan per Bidang	50

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA), 2004

2.6 Limbah Ban Bekas

Ban karet biasanya terbuat dari kombinasi karet alam dan sintetis, yang diproses dengan cara tertentu agar dapat memenuhi kebutuhan khusus kendaraan, seperti cengkaman 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 $1,1 \pm 0,01 \text{ gr/cm}^3$. Dalam penelitian ini digunakan serbuk ban yang tertahan di ayakan No.4 (4,75 mm) sehingga dapat disubstitusikan dengan agregat 5-10 agar memiliki keseragaman gradasi.



Gambar 2.1 Limbah ban yang sudah diolah

Sumber : Dokumentasi