

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (2003), perkerasan jalan adalah lapisan perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan kepada transportasi dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti.

Perkerasan jalan merupakan suatu konstruksi jalan yang tersusun sedemikian rupa, lalu akan menjadi satu kesatuan yang membentuk suatu perkerasan jalan yang nantinya akan berfungsi sebagai akses jalan dengan beban lalu lintas di atasnya. Perkerasan jalan menggunakan material utama berupa agregat dan bahan pengikat.

Menurut Sukirman (1999), berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas :

1. Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), merupakan perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ketanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*), merupakan perkerasan jalan yang menggunakan semen (*potland cement*) sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*Composite Pavement*), merupakan perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur.

2.2 Agregat

Menurut Sukirman (1999), agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat

atau 75-80% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Agregat juga merupakan material yang rentan terkena kerusakan oleh air karena sifatnya yang *hydrophobic*, sehingga dalam perencanaan dibutuhkan perhitungan yang matang agar lapisan dapat secara efektif berfungsi sesuai dengan umur rencana dan indeks pelayanan akhir yang diharapkan. (Baskara, G, 2019).

2.2.1 Jenis-jenis agregat

Agregat atau batu atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir (Pusjatan 2019). Agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm) dan agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) sedangkan menurut SNI 1969:2008, agregat kasar adalah agregat yang mempunyai ukuran butir antara No. 4 (4,75 mm) sampai 40 mm (1,5 inch). (Direktorat Jendral Bina Marga, 2018).

Fraksi agregat yang digunakan harus sedemikian agar lapis fondasi, lapis fondasi bawah dan bahu jalan, yang proporsinya dibuat sesuai dengan rumus perbandingan campuran dan memenuhi semua ketentuan yang disyaratkan. Pegambilan contoh agregat untuk pengujian harus sesuai SNI 03-6889-2002. Untuk fraksi agregat kasar dan agregat halus harus ditumpuk secara terpisah sehingga tidak saling tercampur satu dengan lainnya.

1. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No. 4 (4,75 mm) dan harus terdiri dari butiran atau pecahan batu atau kerikil yang keras dan awet yang memenuhi persyaratan dalam tabel 2.1, seperti abrasi, butir pecah dan gumpalan lempung. Fungsi agregat kasar adalah memberikan stabilitas dan tahanan gesek campuran terhadap suatu aksi perpindahan. Stabilitas ditentukan oleh bentuk dan tekstur permukaan agregat kasar. Umumnya karakteristik morfologis agregat kasar dapat dilihat dari beberapa aspek yaitu bentuk, ukuran, *angularity*, dan tekstur permukaan (Zhang, G, Z & Shang, 2016).

2. Agregat Halus

Fraksi agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah halus atau partikel halus lainnya dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No. 4 (4,75 mm), serta memenuhi persyaratan dalam tabel 2.1, seperti batas cair, indeks plastis, dan hasil kali indeks plastis dengan % lolos ayakan No. 200. Keseimbangan proporsi penggunaan agregat kasar dan halus penting agar diperoleh permukaan yang tidak licin dengan jumlah kadar aspal yang diinginkan. Agregat halus pada umumnya digunakan untuk mengisi rongga dan menstabilkan agregat kasar dalam struktur perkerasan, serta memiliki pengaruh potensial terhadap kinerja perkerasan (Lin & Tongjing, 2018).

3. Bahan Pengisi

Bahan pengisi adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan no.200 (0,075 mm) minimum 75%. Bahan pengisi bertujuan untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur.

Persyaratan sifat fisik agregat untuk lapis fondasi, lapis fondasi bawah dan bahu jalan dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini

Tabel 2.1 Persyaratan sifat fisik agregat untuk lapis fondasi, lapis fondasi bawah dan bahu jalan

Uraian Persyaratan	Standar	Nilai		
		Kelas A	Kelas B	Kelas S
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	Maks. 40%	Maks. 40%	Maks. 40%
Butiran/partikel pecah, tertahan ayakan 3/8 in (9,5 mm)	SNI 7619-2012	95/90 ₁₎	55/50 ₂₎	55/50 ₂₎
Batas Cair (liquid Limit, LL)	SNI 1967:2008	Maks. 25	Maks. 35	Maks. 35
Indeks Plastic (Plastic Index, PI)	SNI 1966:2008	Maks. 6	Maks. 10	4 – 15
Hasil kali indeks plastisitas dengan persen lolos ayakan No.200	-	Maks. 25	-	-
Gumpalan lempung dan butirbutir mudah pecah	SNI 03-4141-1996	Maks. 5%	Maks. 5%	Maks. 5%
CBR rendaman	SNI 1744-2012	Min. 90%	Min. 60%	Min. 50%
Perbandingan persen lolos ayakan No. 200 dan No. 40		Maks. 2/3	Maks. 2/3	-
Catatan :				
1) 95/90 menunjukkan bahwa 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih				
2) 55/50 menunjukkan bahwa 55% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 50% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih				

(sumber : SNI 6388 ; 2015)

2.2.2 Sifat agregat sebagai material perkerasan jalan

Sifat agregat menentukan kualitasnya sebagai bahan material perkerasan jalan, dimana agregat itu sendiri merupakan bahan yang kaku dan keras. Agregat dengan kualitas dan mutu yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya (Sukirman, 1995).

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) lapisan perkerasan yang dipengaruhi oleh gradasi, ukuran maksimum, kadar lempung, bentuk butir, tekstur permukaan, kekerasan dan ketahanan.
- b. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, yang dipengaruhi oleh porositas, kemungkinan basah dan jenis agregat.
- c. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, dipengaruhi oleh tahanan geser dan campuran yang memberikan kemudahan dalam pekerjaan.

2.2.3 Gradasi agregat

Gradasi agregat merupakan distribusi partikel-partikel agregat berdasarkan ukurannya yang saling mengisi dan membentuk suatu ikatan saling mengunci (*interlocking*) sehingga dapat mempengaruhi stabilitas perkerasan (Sukirman, 1999 : 45). Seluruh spesifikasi perkerasan menyatakan bahwa partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan *wokrabilitas* (sifat mudah dikerjakan) dan stabilitas campuran (Baskara, G, 2019).

Gradasi agregat merupakan salah satu sifat yang dapat menentukan kinerja struktur perkerasan jalan. Untuk memperoleh agregat yang memiliki gradasi yang sesuai dengan apa yang sudah ditentukan dalam spesifikasi maka diperlukannya pencampuran dari beberapa fraksi agregat. Pencampuran dari beberapa fraksi ini yaitu fraksi agregat kasar, fraksi agregat halus, dan juga fraksi dari abu batu. Untuk pencampurannya sendiri harus proporsional agar bisa diperolehnya gradasi agregat yang sesuai dengan spesifikasi pekerjaan.

Gradasi agregat sendiri dibedakan menjadi :

- a. Gradasi segaram atau *uniform graded*, merupakan agregat dengan ukuran yang hampir sama atau semua partikel memiliki ukuran yang sama.
- b. Gradasi rapat atau *dense graded* atau biasa dikenal juga dengan gradasi rapat atau *well graded* yang merupakan gradasi agregat yang ukuran

butirnya terdistribusi secara merata dalam satu rentang ukuran butir. Menurut Sumiati & Sukarman (2014) campuran agregat bergradasi baik mempunyai sedikit pori, mudah dipadatkan dan memiliki stabilitas yang tinggi. Campuran gradasi ini memiliki nilai stabilitas yang tinggi, agak kedap air dan memiliki berat isi yang besar.

- c. Gradasi terbuka atau *open graded* merupakan agregat dengan gradasi yang mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat rongga atau ruang atau pori kosong antar agregatnya. Untuk campuran aspal yang menggunakan campuran gradasi ini akan bersifat *porous* atau memiliki nilai permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil.
- d. Gradasi senjang atau *gap graded* merupakan gradasi yang dimana ukuran agregatnya tidak lengkap atau fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit.

Gradasi agregat untuk lapis pondasi, lapis pondasi bawah, dan bahu jalan dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Gradasi agregat untuk lapis fondasi, lapis fondasi bawah, dan bahu jalan

Ukuran Ayakan		Persentase berat yang lolos %		
		Kelas A	Kelas B	Kelas S
2"	50 mm		100	
1 ½"	37,5 mm	100	88--95	100
3/8"	25,0 mm	79--85	70--85	77--89
No. 4	9,50 mm	44--58	30--65	41--66
No. 10	4,75 mm	29--44	25--55	26--54
No. 40	2,0 mm	17--30	15--40	15--42
No. 200	0,425 mm	7--17	8--20	7--26
	0,075 mm	2--8	2--8	4--16

(sumber : SNI 6388 ; 2015)

2.3. Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat berwarna hitam atau coklat, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal adalah material yang pada

temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair jika dipanaskan pada suhu tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun (Sukirman, 2007).

Menurut *Shell Bitumen* tahun 1990 (Darunifah N, 2007) Aspal terbuat dari minyak mentah, melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bagian dari komponen alam yang ditemukan bersama-sama material lain. Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal yang terbentuk dari senyawa-senyawa kompleks seperti *Asphaltenese, resins* dan *oils*. Aspal mempunyai sifat *visco-elastis* dan tergantung dari waktu pembebanan. Pada proses pencampuran dan proses pemadatan sifat aspal dapat ditunjukkan dari nilai *viscositas*-nya, sedangkan pada sebagian besar kondisi saat masa pelayanan, aspal mempunyai sifat *viscositas* yang terwujudkan dalam suatu nilai modulus kekakuan.

2.3.1 Jenis aspal

Pada umumnya aspal terdiri dari berbagai jenis, yaitu:

1. Aspal Alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di pulau Trinidad berupa aspal danau. Aspal alam terbesar didunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau. Indonesia memiliki aspal alam yaitu di pulau Buton, yang terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Pulau Beton). Penggunaan asbuton sebagai salah satu material perkerasan jalan telah dimulai sejak tahun 1920, walaupun masih bersifat konvensional. Asbuton merupakan material yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi.

2. Aspal Buatan (Aspal Minyak)

Aspal minyak bumi adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat dapat menghasilkan residu jenis *aspahaltic base crude oil* yang mengandung banyak paraffin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran aspal dengan paraffin. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan *Ashaltic base crude oil*. Hasil destilasi minyak bumi menghasilkan bensin, minyak tanah dan solar yang diperoleh pada

temperatur berbeda-beda, sedangkan aspal merupakan residunya. Residu aspal berbentuk padat, tetapi dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada temperatur ruang. Jadi, jika dilihat bentuknya pada temperature ruang, maka aspal dibedakan atas beberapa bagian, yaitu :

- a. Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan mencair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*Asphalt cement*). Oleh karena itu, semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat
- b. Aspal cair (*Asphalt cut-back*) yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Bahan pencair membedakan aspal cair menjadi tiga bagian, yaitu:
 - *Slow Curing Cut Back Asphalt (SC)* yaitu aspal cair dengan bahan pencair solar (minyak disel). SC merupakan aspal cair yang paling lambat menguap.
 - *Medium Curing Cut Back Asphalt (MC)* yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (*kerosene*)
 - *Rapid Curing Cut Back Asphalt (RC)* yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.
- c. Aspal Emulsi (*Emulsified Asphalt*), yaitu campuran aspal (55%-65%) dengan air (35%-45%) dan bahan pengemulsi 1% sampai 2% yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair daripada aspal cair. Dalam aspal emulsi, butir butir aspal larut dalam air. Untuk menghindari butiran aspal saling menarik membentuk butir-butir yang lebih besar, maka butiran tersebut diberi muatan listrik.

Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas :

- Aspal Kationik disebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan arus listrik positif.

- Aspal Anionik disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan negatif.
- Nonionik merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak mengantarkan listrik.

Berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas :

- *Rapid Setting (RS)*
- *Medium Setting (MS)*
- *Slow Setting (SS)*

2.3.2 Sifat-sifat aspal

Menurut Sukirman (1999), aspal yang digunakan harus memiliki sifat sifat sebagai berikut :

a. Mempunyai Daya Tahan (*Durability*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan sebagainya.

b. Kohesi dan Adhesi

Kohesi merupakan kemampuan aspal untuk mengikat unsur-unsur penyusun dari dirinya sendiri sehingga terbentuknya aspal dengan daktilitas yang tinggi. adhesi merupakan kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dan aspal.

c. Kepekaan Pada Temperatur

Kepekaan pada temperatur untuk masing-masing produksi bahan aspal akan berbeda-beda tergantung dari aspal eksplorasi meskipun jenisnya sama. Sehingga apabila kepekaan terhadap temperatur dari aspal yang akan digunakan diketahui maka dapat pula ditentukan suhu pemadatan yang menghasilkan nilai stabilitas yang baik. Aspal adalah material yang bersifat termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan melunak atau mencair jika temperature bertambah. Sifat ini diperlukan agar aspal memiliki ketahanan terhadap perubahan temperatur, misalnya aspal tidak banyak berubah akibat perubahan cuaca.

d. Kekerasan aspal

Kekerasan aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal. Pada waktu proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi). Kekerasan aspal tergantung pada kekentalan aspal pada proses pencampuran aspal dengan agregat yang telah tercampur menjadi satu.

2.3.3 Fungsi aspal sebagai bahan perkerasan jalan

Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai:

- a. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dengan agregat dan antar sesama aspal.
- b. Bahan pengisi, mengisi rongga antarabutir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri. Penggunaan aspal pada perkerasan jalan dapat melalui dicampurkan pada agregat sebelum dihamparkan (pra hampar), seperti lapisan beton aspal atau disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan dan ditutupi oleh agregat-agregat yang lebih halus (pasca hampar), seperti perkerasan penetrasi makadam atau peleburan. Fungsi utama aspal untuk jenis proses pembentukan perkerasan yaitu proses pencampuran pra hampar, dan pascahampar itu berbeda. Pada proses pra hampar aspal yang dicampurkan dengan agregat akan membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antar butir dan meresap kedalam pori masing-masing butir.

2.3.4 Pengujian karakteristik aspal

Pengujian aspal perlu dilakukan untuk menentukan sifat fisik dan kimiawi aspal. Sesuai tujuannya pengujian aspal dapat dikelompokkan menjadi 6 bagian pengujian, antara lain:

- a. Pengujian untuk menentukan komposisi aspal.
- b. Pengujian untuk mendapatkan data yang berguna bagi keselamatan bekerja.
- c. Pengujian konsistensi aspal
- d. Pengujian durabilitas aspal.

- e. Pengujian kemampuan aspal untuk mengikat agregat
- f. Pengujian berat jenis aspal yang dibutuhkan untuk merencanakan campuran aspal dengan agregat.

Dari pengelompokan tersebut maka dapat dilakukan beberapa pemeriksaan

karakteristik aspal antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Berat Jenis Aspal

Salah satu jenis pengujian yang terdapat dalam persyaratan mutu aspal adalah berat jenis. Selain untuk memenuhi persyaratan aspal, berat jenis juga diperlukan pada saat pelaksanaan untuk konversi dari berat ke volume atau sebaliknya. Pengujian berat jenis aspal dilakukan dengan cara membandingkan massa suatu bahan dengan massa air pada isi dan temperatur yang sama.

- b. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi bertujuan untuk mengetahui kekerasan pada aspal yang mengacu dari kedalaman masuknya jarum penetrasi secara vertikal yang dinyatakan dalam satuan 0,1 mm pada kondisi beban, waktu dan temperatur yang diketahui.

- c. Daktilitas Aspal

Daktilitas aspal adalah sifat pemuluran aspal yang diukur pada saat putus. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat kohesi dan plastisitas aspal dengan cara memasukkan benda uji ke dalam bak perendam selama 85 menit sampai dengan 95 menit, lepaskan benda uji dari pelat dasar dan langsung pasang ke mesin uji dengan cara memasukkan lubang cetakan ke pemegang di mesin lalu jalankan mesin dan ukur pemuluran benda uji pada saat putus.

- d. Titik Lembek Aspal

Pengujian titik lembek dengan alat cincin dan bola bertujuan untuk menentukan angka titik lembek yang berkisar dari 30°C sampai dengan 157°C.

2.4 Bahu Jalan

Lapis bahu jalan merupakan bagian tepi jalan yang fungsinya biasa

digunakan sebagai tempat berhenti kendaraan karena mengalami kerusakan. Bahu jalan biasa dibuat agak miring sekitar 3-5% dari balur lalu lintas agar air di jalan dengan mudah menuju ke saluran drainase (Badan Standarisasi Nasional, 2004). Bahu jalan sendiri pada umumnya terbuat dari aspal atau beton yang kedap air sehingga menyulitkan air di jalan untuk jatuh ke saluran drainase. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah menggabungkan antara bahu jalan yang terbuat dari bahan yang memiliki kemampuan melewatkan air dan langsung mengalir ke saluran drainase (Pratama M, A, dkk, 2019).

Perbedaan kekuatan sebuah bahu jalan dengan jalur lintas akan berpengaruh pada kinerja perkerasan. Hal tersebut dapat meningkatkan kinerja sebuah perkerasan dan dapat mengurangi tebal pelat. Bahu jalan mempunyai fungsi sebagai pengaku perkerasan aspal pada badan jalan agar aspal tidak mudah rusak. Bahu jalan tidak langsung mendapatkan beban lalu lintas kecuali dalam keadaan darurat. Sehingga susunan struktur bahu jalan tidak seperti pada badan jalan.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum tentang persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan dalam pasal 7 salah satunya menjelaskan bahwa bahu jalan pada bebas hambatan harus diperkeras seluruhnya dengan perkerasan berpenutup yang berkekuatan 60% dari kekuatan lajur lalu lintas. Bahu jalan sendiri dapat diperkeras dan diaspal ataupun dari material sirtu yang dipadatkan. Maka itu, bahu jalan sendiri dapat dibedakan berdasarkan tipe perkerasannya. Adapun perbedaan bahu jalan berdasarkan tipe perkerasannya yaitu sebagai berikut (Sukirman, 1999) :

- Bahu lunak (*soft shoulder*), yaitu bahu jalan yang tidak diperkeras, yang mana hanya dibuat dari material perkerasan jalan tanpa pengikat. Biasanya digunakan material agregat bercampur sedikit lempung.
Bahu yang tidak diperkeras ini dipergunakan untuk daerah-daerah yang tidak begitu penting, dimana kendaraan yang berhenti dan menggunakan bahu tidak begitu banyak jumlahnya.
- Bahu diperkeras (*hard shoulder*), yaitu bahu yang dibuat dengan mempergunakan bahan pengikat sehingga lapisan tersebut lebih kedap air dibandingkan dengan yang tidak diperkeras.

Bahu jenis ini digunakan untuk jalan dimana kendaraan yang akan berhenti dan memakai bagian tersebut besar jumlahnya, seperti sepanjang jalan tol, disepanjang jalan arteri yang melintasi kota, dan tikungan-tikungan yang tajam.

2.5 *Fly Ash*

Fly ash atau abu terbang yang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap yang berbentuk partikel halus dan merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). *Fly ash* memiliki komponen utama yaitu silikon (Si), Aluminium (Al), besi (Fe), dan kalsium (Ca) dengan variasi kandungan karbon, disamping itu *fly ash* bersifat tahan air atau *hydrophobic* (Hainin, 2012).

Menurut ACI Committee 226 dijelaskan bahwa, *fly ash* mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan no.325 (45 milimikron) 5-27%, dengan *specific gravity* antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman. Sifat *pozzolanic* dari *fly ash* mirip dengan bahan *pozzolan* lainnya. Menurut ASTM C.618 (ASTM, 1995:304) abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batubara.

Abu terbang atau *fly ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

a. Kelas C

Fly ash yang mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batu bara.

b. Kelas F

Fly ash yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara.

c. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz* dan *shales*, *tuff* dan abu vulkanik yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran.

Fly ash bersifat *pozzolan* yaitu suatu sifat bahan yang memiliki sifat plastis dan mudah dibentuk tetapi akan mengeras apabila mengering. Penambahan *fly ash* sebagai bahan tambah pada campuran beraspal diharapkan dapat mengakibatkan pengaruh yang baik terhadap nilai karakteristik Marshall pad aspal. Sifat *hydrophobic* pada *fly ash* dapat memberikan daya tahan yang lebih baik untuk perkerasan terhadap terjadinya kerusakan pada aspal (Hainin, 2012).

2.6 Abu Sekam Padi

Abu hasil pembakaran sekam padi, yang pada hakikatnya hanyalah limbah, ternyata merupakan sumber silika/karbon yang cukup tinggi. Pirolisis lebih lanjut dari hasil pembakaran sekam padi menunjukkan bahwa kandungan SiO₂ mencapai 80%-90%. Yang juga menarik, 15% berat abu akan diperoleh dari total berat sekam padi yang dibakar. Pemanfaatan abu sekam padi, dengan demikian layak untuk dipikirkan (Wanadri, A,1999).

Abu sekam padi (*rise husk ash*) yang diperoleh dari hasil pembakaran sekam berkisar antara 16-23% dengan kandungan silika sebesar 95%. Dari kandungan silika yang tinggi tersebut, maka abu sekam padi dapat digolongkan sebagai salah satu bahan yang memiliki sifat *pozzolanic* yang baik.

Dari hasil penelitian yang sudah pernah dilakukan (Muntohar A. S. dan B. Hantoro, 2001), abu sekam diyakini memiliki sifat-sifat yang baik sebagai *filler* pematat karena memiliki sifat sementasi, disamping ukuran butirnya yang relatif kecil (lolos No.200). Beberapa keuntungan yang jelas terlihat dari abu sekam sebagai bahan *filler* diantaranya keberlimpahan sekam sebagai residu padi memberikan prospek bagi pengadaan bahan *filler* yang relatif murah dibanding dengan bahan lain yang relatif mahal dan biasanya sulit di dapat

Tabel 2.3 Syarat gradasi bahan pengisi (*filler*)

Ukuran Saringan	% Lolos
No. 30 (0,59 mm)	100
No. 50 (0,279 mm)	95-100
No. 100 (0,149 mm)	90-100
No. 200 (0,075 mm)	65- 100

(sumber : Bina Marga, 1995)

2.7 Aspal Geopori

Aspal geopori merupakan aspal *geopolymer porous* atau aspal geopolimer yang memiliki pori. Dikatakan sebagai geopolimer karena aspal geopori ini memanfaatkan limbah yang sudah tidak terpakai sebagai bahan utama dalam pembuatannya. Aspal geopori ini sendiri merupakan salah satu inovasi baru yang diciptakan untuk bidang perkerasan jalan. Aspal geopori ini merupakan inovasi dari seorang dosen dari Insitut Teknologi Bandung (ITB), yaitu Prof. Dr. Ir. Bambang Sunendar Purwasasmita. Menurut penuturan dari Prof. Dr. Ir. Bambang Sunendar Purwasasmita, Geopori ini merupakan bahan racikan dalam pembuatan jalan sebagai pengganti beton ataupun aspal yang mampu menyerap genangan air dijalan. Konstruksi jalan dengan teknologi geopori atau geopolimer ini dapat memiliki daya serap air yang tinggi yaitu >1000 liter/m² yang mana dirancang sebagai lapisan penutup permukaan yang dapat memungkinkan air merembes melaluinya.

Bahan baku yang digunakan didapat dari bahan-bahan limbah industri berbahaya seperti limbah batu bara yang kerap dipandang tak punya nilai ekonomis. Menggunakan berbagai bahan seperti kerikil hingga limbah batu bara, konstruksi jalan berteknologi geopori bahkan diyakini memiliki daya tahan lebih lama dibanding jalan aspal atau beton. Alasannya, air di permukaan jalan berteknologi geopori akan langsung terserap ke tanah, sementara jalan konvensional tidak mampu menyerap air. Itulah sebabnya, jalanan selama ini rusak begitu banjir surut, karena konstruksi jalan tergerus air (Budiarto, dkk, 2020).

2.8 Pengujian Marshall

Alat Marshal merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 22,2 KN (=5000lbf) dan *flowmeter*. *Proving Ring* digunakan untuk mengukur stabilitas, sedangkan *flowmeter* digunakan untuk mengukur kelelehan plastis atau *flow*.

Pengujian kinerja aspal dilakukan melalui pengujian *Marshall* yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan dilanjutkan oleh *U.S Corps Engineer*.

Pengujian *Marshall* digunakan untuk mencari data dari persyaratan campuran dan memperoleh hasil perhitungan akhir dari sifat-sifat *Marshall*, seperti :

- a. Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban yang bekerja tanpa perubahan bentuk. Nilai stabilitas juga menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja.
- b. *Flow* (kelelehan) adalah deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan maksimum sehingga sampel sampai batas runtuh. *Flow* merupakan indikator terhadap lentur.
- c. VIM (*Void in Mix*) adalah volume rongga di antara butir-butir agregat yang diselimuti aspal atau volume rongga dalam aspal padat. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume aspal padat.
- d. VMA (*Void in Mineral Agregat*) adalah banyaknya rongga di antara butir-butir agregat di dalam aspal padat, dinyatakan dalam persentase terhadap volume bulk aspal padat.
- e. VFA (*Void Filled with Asphalt*) adalah bagian dari rongga yang berada di antara mineral agregat (VMA) yang terisi aspal, tidak termasuk di dalamnya aspal yang menyerap ke dalam pori masing-masing butir agregat.

2.9 Pengujian Permeabilitas

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan dua buah cetakan marshall yang sambungannya diolesi vaselin agar air tidak dapat merembes dari samping. Sebelumnya benda uji sudah direndam selama 24 jam dalam keadaan jenuh. Dari hasil pengujian permeabilitas ini dapat ditentukan nilai koefisien permeabilitas.

Koefisien permeabilitas aspal dihitung berdasarkan Hukum Darcy. (Kandall dan Mallick, 2001). Metode untuk mengukur besarnya permeabilitas yaitu *falling head permeability* (FHP) dimana air di dalam tabung (*stand pipe*) jatuh bebas dengan ketinggian tertentu sampai melewati rongga pada campuran *porous asphalt*. Metode lain untuk mengukur permeabilitas yaitu *constant head permeability* (CHP), (Takashi & Part, 1999). *Porous Asphalt* (PA) didefinisikan sebagai jenis perkerasan yang didesain untuk memperoleh angka pori yang tinggi

(28-32%). Gradasi dan ukuran butir akan berpengaruh pada rongga dan jenis rongga yang terbentuk pada campuran.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini didasari berdasarkan penelitian terdahulu dan literatur yang berhubungan dengan objek pembahasan. Hal ini bertujuan untuk memberikan Batasan-batasan mengenai pembahasan dari penelitian yang akan dilakukan serta agar dapat memberikan hasil maupun manfaat yang lebih baik dari referensi penelitian terdahulu. Adapun referensi mengenai penelitian terdahulu dapat dilihat pada uraian berikut:

1. Hasil Penelitian Gina Putri Yuanda, Zairipan Jaya, Fauzi A.Gani (2021)

Penelitian Gina Putri Yuanda, Zairipan Jaya, Fauzi A.Gani (2021), berjudul “*Uji Karakteristik Aspal Geopori Dengan Penambahan Fly Ash PLTU Pangkalan Susu*”. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sampel aspal geopori yang memenuhi kinerja fungsi kekuatan (stabilitas, VIM, *flow*, dan *Marshall Quotient*) dengan penambahan *fly ash*, dan menciptakan sampel aspal geopori yang memiliki kinerja fungsi rembesan (permeabilitas) dengan penambahan *fly ash*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan metode pengambilan data secara langsung, dimana dibuat 15 benda uji dengan 5 variasi kadar aspal untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan aspal penetrasi 60/70. Untuk kadar *fly ash* pada campuran 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari pengujian ini variasi KAO yang didapat sebesar 4%. Hasil uji kinerja fungsi rembesan dengan waktu alir paling cepat didapatkan pada kadar *fly ash* 2% yaitu dengan nilai permeabilitas 0,213 cm/s, kecepatan alir 5,6 detik, dan VIM 20,64%. Untuk kinerja fungsi kekuatan pada kadar *fly ash* 2% memenuhi syarat yang telah ditetapkan dengan nilai uji marshall yaitu stabilitas 729 kg, *flow* 3,1 mm, dan MQ 239,15 kg/mm. Semua benda uji dengan masing-masing kadar *fly ash* memenuhi spesifikasi AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*) tahun 2004, akan tetapi yang merembeskan air paling cepat dan memiliki kekuatan yang memenuhi terdapat pada kadar *fly ash* 2%.

2. Hasil Penelitian Dara Savira, Zairipan Jaya, dan Supardin (2022)
Penelitian Dara Savira, Zairipan Jaya, dan Supardin (2022), berjudul “*Studi Kinerja Fungsi Kekuatan dan Rembesan Aspal Porous Dengan Penambahan Fly Ash*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja fungsi kekuatan dan fungsi rembesan. Jenis penelitian ini ialah penelitian eksperimental dengan metode pengambilan data secara langsung. Penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 sebagai bahan pengikat, dengan hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,1%. Peningkatan kadar *fly ash* pada penelitian ini adalah dimulai dari 4,5% sampai 6,5%. Hasil uji kinerja fungsi rembesan dengan pengujian permeabilitas mendapatkan hasil waktu alir paling cepat yaitu pada variasi *fly ash* 4,5% dengan permeabilitas 0,135 cm/det. Untuk hasil kinerja fungsi kekuatan pada pengujian marshall mendapatkan hasil optimum yaitu 5,5% *fly ash* dengan nilai stabilitas 1064 kg, *flow* 3,6 mm, MQ 297,3 kg/m, dan VIM 18,8%. Seluruh hasil pengujian didapat hasil kinerja fungsi kekuatan dan rembesan memenuhi spesifikasi AAPA dengan persentase permeabilitas 0,1 cm/det – 0,5 cm/det, stabilitas min 500 kg, *flow* 2 mm – 6 mm, VIM 18% - 25% dan MQ maksimal 400 kg/m.

3. Hasil Penelitian Amirudin, Ibrahim, Ika Sulianti, dan Agus Subrianto (2018)
Penelitian Amirudin, Ibrahim, Ika Sulianti, dan Agus Subrianto (2018), berjudul “*Pemanfaatan Material Lokal Dalam Pembuatan Aspal Porus Tipe AC-WC yang Aman dan Ramah Lingkungan*”. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan aspal yang memiliki rongga/pori yang lebih besar dan dapat berfungsi sebagai saluran drainase di dalam campuran. Penelitian ini dilakukan melalui dua tahap yaitu penelitian skala laboratorium lalu percobaan langsung dilapangan. Metode pengujian yang dilakukan adalah pengujian dilaboratorium dan pengujian lapangan dengan menggunakan variable komposisi dengan campuran persentase agregat halus yang berbeda sampai didapatkan kondisi optimum 0%, 15%, 30%, 45%, dan 60% dengan pengujian menggunakan metode Marshall. material yang telah diuji

memenuhi standar yang di syaratkan dan didapatkan kadar aspal optimum untuk campuran sebesar 6,1% dari total berat campuran.

4. Hasil Penelitian Hery Awan Susanto, Eva Wahyu Indriyanti, dan Bambang Edison (2014)

Penelitian Hery Awan Susanto, Eva Wahyu Indriyanti, dan Bambang

Edison (2014), berjudul "*Permeability Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Dengan Filler Abu Sekam Padi Untuk Jalan*

Perkotaan". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat permeabilitas campuran HRS-WC. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Hasil dari penelitian ini mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang dari campuran HRS-WC dengan *filler* abu sekam pada kondisi rendaman diperoleh KAO sebesar 8,6%. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa penggunaan abu sekam padi pada campuran HRS-WC memenuhi semua syarat dari sifat-sifat marshall. Demikian juga dengan pengujian permeabilitas campuran diperoleh bahwa nilai permeabilitasnya dikategorikan sebagai *practically impervious* yaitu tingkat kekedapannya baik. Sehingga penggunaan *filler* abu sekam padi pada campuran HRS-WC mampu memberikan tingkat kekuatan dan kekedapan lapisan yang baik.

5. Hasil Penelitian Hermansyah, Bambang Wansa Putra, dan Opan Wawan Widiansyah (2022)

Penelitian Hermansyah, Bambang Wansa Putra, dan Opan Wawan

Widiansyah (2022), berjudul "*Meningkatkan Nilai Rongga Stabilitas dan Flow Campuran Aspal HRS-WC Dengan Memanfaatkan Sekam Padi*".

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah abu sekam padi sebagai tambahan bahan pengisi (*filler*). Jenis penelitian ini adalah eksperimen dengan metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan menggunakan alat Marshall sebagai alat pengujian. Pembuatan sampel normal dengan kadar aspal yang digunakan adalah 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%, setelah dilakukan pengujian untuk kelima variasi aspal normal didapatkan hasil bahwa sampel dengan aspal 8% memenuhi nilai standar sesuai spesifikasi umum 2018 revisi 2. Setelah KAO, selanjutnya pembuatan sampel abu sekam padi dengan variasi 0,25, 0,4%, 0,6%, 1,0%,

1,2%, dan 1,4% menggunakan kadar aspal 8%. Dari hasil pengujian pada variasi keseluruhan abu sekam, diketahui bahwa penambahan abu sekam mempengaruhi nilai karakteristik marshall dan yang sesuai dengan spesifikasi umum 2018 revisi 2 adalah variasi kadar abu sekam pada 1,4% dibandingkan dengan variasi kadar abu sekam yang lainnya.