

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapis tambahan yang terletak diantara tanah dan roda kendaraan atau lapis paling atas dari badan jalan. Dalam Sukirman (2010), dijelaskan bahwa sejarah perkerasan jalan sudah dimulai bersamaan dengan sejarah umat manusia yang selalu berhasrat untuk memenuhi kebutuhan hidup dan saling berkomunikasi dengan sesama. Sedangkan untuk perkerasan jalan yang menggunakan aspal ditemukan pertama kali di Babylon pada 625 tahun sebelum Masehi. Perkerasan jalan ini terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi yang ditemukan umat manusia.

Fungsi utama dari perkerasan sendiri adalah untuk menyebarkan atau mendistribusikan beban roda ke area permukaan tanah-dasar (*sub-grade*) yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dengan perkerasan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah-dasar. Perkerasan harus memiliki kekuatan dalam menopang beban lalu-lintas. Permukaan pada perkerasan haruslah rata tetapi harus mempunyai kekasatan atau tahan gelincir di permukaan perkerasan. Perkerasan dibuat dari berbagai pertimbangan, seperti : persyaratan struktur, ekonomis, keawetan, kemudahan, dan pengalaman (Ramadhan, G.B, 2014).

Perkembangan konstruksi perkerasan jalan menggunakan aspal panas (hot mix) mulai berkembang di Indonesia pada tahun 1975, kemudian disusul dengan jenis yang lain seperti aspal beton (AC) dan lain-lain (Alamsyah, 2003).

Menurut Sukirman (2012), konstruksi perkerasan jalan dilihat dari bahan pengikatnya dibedakan atas Kontruksi Perkerasan Lentur (*flexible pavement*), Konstruksi Perkerasan Kaku (*rigid pavement*), Konstruksi Perkersan Komposit (*composite pavement*).

Yang dimaksud konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan dibawahnya. Sehingga lapisan perkerasan tersebut mempunyai fleksibilitas/kelenturan yang dapat menciptakan kenyamanan kendaraan dalam melintas diatasnya. Konstruksi perkerasan lentur sendiri terdiri dari 4 lapisan yaitu lapisan permukaan sebagai lapis paling atas yang terdiri dari lapis aus (*Wearing Course*) dan lapis antara (*Binder Course*), lapisan pondasi atas (*Base Course*) yang terletak diantara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah, lapis pondasi bawah (*Subbase Course*) yang terletak diantara lapis pondasi dan lapis tanah dasar dan lapisan yang paling bawah adalah lapisan tanah dasar (*Subgrade*). Setiap lapisan-lapisan perkerasannya memiliki spesifikasi tersendiri untuk menunjang fungsinya masing-masing sebagai lapisan perkerasan (Suprpto, 2004).

B. Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapisan aspal beton adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat, dicampur dan dihampar dalam keadaan panas serta dipadatkan pada suhu tertentu (Sukirman, 1999). Aspal beton dapat dibuat dengan 2 (dua) macam jenis pencampuran yaitu pencampuran secara dingin (*cold mix*) dan pencampuran secara panas (*hot mix*). Untuk pencampuran secara panas, bahan dipanasi sampai suhu 155°C bagi agregat dan akan menghasilkan campuran dengan suhu 160°C.

Suatu campuran aspal beton harus memiliki karakteristik campuran yang baik. Karakteristik campuran yang baik tersebut meliputi: stabilitas, durabilitas, *fleksibilitas*, tahanan geser, kedap air, kemudahan pekerjaan (*workability*) dan ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*). (Sukirman, 1999).

Menurut Sukirman (1999), pengertian dari 7 karakteristik campuran aspal beton yang baik adalah sebagai berikut:

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kekuatan dari campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban tetap dan berulang tanpa mengalami keruntuhan (*plastic flow*) atau tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang alur ataupun *bleeding*. Stabilitas terjadi dari hasil getaran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi diperlukan agregat yang bergradasi baik, bergradasi rapat dan memberikan rongga antar butiran agregat VMA yang

kecil. Namun VMA yang kecil maka pemakaian aspal yang banyak akan menyebabkan terjadinya *bleeding* karena aspal tidak menyelimuti agregat dengan baik.

2. Durabilitas

Durabilitas yaitu ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh cuaca, air, perubahan suhu, maupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. 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 didalam beton aspal, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjadi getas, dan durabilitasnya menurun. Untuk mencapai ketahanan yang tinggi diperlukan rongga dalam campuran VIM yang kecil, sebab dengan demikian udara tidak masuk kedalam campuran yang dapat menyebabkan menjadi rapuh. Selain itu diperlukan juga VMA yang besar, sehingga aspal dapat menyelimuti agregat lebih baik.

3. *Fleksibilitas* (kelenturan)

Fleksibilitas atau biasa disebut kelenturan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa mengalami retak (*fatigue cracking*) ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat diatas tanah asli. Untuk mencapai kelenturan yang tinggi diperlukan VMA yang besar, VIM yang

kecil, dan pemakaian aspal dengan penetrasi tinggi ataupun dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka.

4. *Skid Resistance* (kekesatan)

Skid Resistance yaitu kekesatan yang diberikan oleh perkerasan jalan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu keadaan jalan basah maupun di waktu keadaan jalan sedang kering. *Skid resistance* dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan ban kendaraan.

5. *Impermeability* (kedap air)

Impermeability yaitu kemampuan beton aspal untuk tidak dimasuki air ataupun udara kedalam 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 saat menjadi indikator kekedapan air campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

6. *Fatigue resistance* (ketahanan leleh)

Yaitu kemampuan aspal beton untuk mengalami beban berulang tanpa terjadi kelelahan berupa retak atau kerusakan alur (*rutting*).

7. *Workability* (kemudahan pelaksanaan)

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Faktor yang mempengaruhi *workability* suatu

campuran aspal adalah gradasi agregat, temperatur campuran dan kandungan *filler* dalam campuran.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tidak mungkin dapat dipenuhi keseluruhannya oleh satu jenis campuran. Sifat-sifat dari ketujuh beton aspal ini mana yang ingin lebih dominan lebih diinginkan, dan akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Hal ini harus diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan, karena harus menyesuaikan dengan jenis jalan yang akan direncanakan.

Menurut Paramita (2018), dalam aspal beton diklasifikasikan menjadi 2 macam yaitu berdasarkan fungsi dan berdasarkan metode pencampuran:

1. Berdasarkan Fungsi

Berdasarkan fungsinya, aspal beton diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Sebagai lapis permukaan yang tahan terhadap cuaca, gaya geser dan tekanan roda.
- b. Sebagai lapis pondasi atas.
- c. Sebagai lapis pembentuk pondasi jika digunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan.

2. Berdasarkan Metode Pencampuran

Berdasarkan metode pencampurannya, aspal beton dapat dibedakan atas:

- a. Aspal beton Amerika, yang bersumber kepada Asphalt Institute.
- b. Aspal beton durabilitas tinggi, yang bersumber pada BS 594, Inggris dan dikembangkan oleh *Central Quality Control and Monitoring Unit* (CQCMU), Bina Marga Indonesia.

Dalam spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum (2010), Laston (AC) terdiri dari tiga jenis campuran yaitu *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC), *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC), dan *Asphalt Concrete – Base* (AC-Base) dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan aspal polimer atau aspal dimodifikasi dengan aspal alam disebut masing-masing sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*.

1. *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC)

Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) merupakan salah satu lapisan dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu AC-WC, AC-BC, dan AC-Base yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Lapisan ini harus memiliki permukaan yang rata dan nyaman serta memiliki kekesatan yang tinggi karena merupakan lapisan yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan.

2. *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC)

Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) merupakan lapisan perkerasan jalan yang berada diantara lapisan aus (AC-WC) dan lapisan pondasi (AC-Base). Lapisan AC-BC ini berguna untuk menyalurkan atau meneruskan beban yang diterimanya menuju ke pondasi atau menuju ke lapisan yang ada di bawahnya. Karakteristik yang terpenting pada campuran lapisan AC-BC ini adalah stabilitas.

3. *Asphalt Concrete – Base (AC-Base)*

Asphalt Concrete – Base merupakan lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan AC-BC dan diatas lapisan pondasi bawah (Subbase Course). Lapisan ini berfungsi untuk memberi dukungan atau menerima beban kendaraan dari lapisan AC-BC untuk selanjutnya diteruskan kembali ke lapisan pondasi bawah.

Berikut adalah ketentuan sifat-sifat campuran laston AC-WC, AC-BC, dan AC-Base sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010

Tabel 1. Ketentuan sifat campuran laston yang di modifikasi (*AC-Mod*)

Sifat-sifat Campuran		Lapisan aspal beton (laston)		
		Lapis aus	Lapis antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	1,0		
	Maks.	1,4		
Rongga dalam campuran (%)	Maks.	3,0		
	Min	5,0		
Rongga dalam agregat (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas marshall (Kg)	Min	1000		2250
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal	Min	2		
Stabilitas dinamis, lintasan/mm	Min	2500		

Sumber : Spesifikasi umum Bina Marga 2010

C. Bahan Penyusun Campuran Aspal Beton

Bahan-bahan campuran lapis aspal beton yaitu meliputi agregat halus, agregat kasar, aspal dan juga *filler*. Menurut ASTM (1974, dalam Sukirman 1999), Agregat didefinisikan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu 90-95% agregat berdasarkan presentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan presentase volume. Daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Menurut Sukirman (1999), tersaji penjelasan mengenai bahan penyusun campuran lapis aspal beton :

1. Agregat

Agregat merupakan campuran dari pasir, kerikil, batu pecah atau material lain yang berasal dari bahan material alami atau buatan. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan 90-95% agregat berdasarkan presentase berat. Dengan demikian kualitas struktur perkerasan jalan sangat ditentukan oleh sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain (Sukirman, 2012).

Berdasarkan dimensi butiran, agregat dibedakan menjadi 3 yaitu agregat halus, agregat kasar, dan bahan pengisi (*filler*). Berikut penjelasan dari masing-masing agregat :

a. Agregat halus

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (2010), agregat halus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat halus harus memenuhi ketentuan mutu yang ada. Fungsi utama dari agregat halus adalah untuk mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan dan gesekan antar partikel, berkenaan dengan itu, agregat halus harus memiliki kekerasan yang cukup dan mempunyai sudut, bidang pecah permukaan, bersih dan bukan bahan organik.

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (2010), Berikut adalah ketentuan-ketentuan mutu untuk agregat halus :

Tabel 2. Ketentuan pengujian agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai (%)
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60
Angularitas dengan uji kadar rongga	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 2010

b. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan sebagai bahan penyusun campuran aspal beton tentunya harus memenuhi ketentuan yang ada. Berikut adalah ketentuan-ketentuan dari agregat kasar menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010.

Tabel 3. Ketentuan pengujian ageragat kasar

Pengujian			Standar	Nilai (%)
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan			SNI 3407:2008	Maks. 12
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campura AC Modifikasi	100 Putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6
		500 Putaran		Maks. 30
	Campuran aspal bergradasi lain	100 Putaran		Maks. 8
		500 Putaran		Maks. 40
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Maks. 95
Butir pecah pada agregat kasar			SNI 7619:2012	95/90
Partikel pipih dan lonjong			ASTM D4791	Maks. 10

Sumber: Spesifikasi umum Bina Marga 2010.

Sifat dan bentuk agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas. Agregat dengan kualitas dan sifat yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 (Sukirman, 2012):

- 1) Menambah kekuatan dan keawetan (Strength and Durability)
- 2) Kemampuan dilapisi aspal yang baik,
- 3) Kemampuan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman.
- 4) Kemampuan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman.

2. Aspal

Aspal atau bitumen adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Aspal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan lentur mempunyai sifat viskoelastis. Aspal akan bersifat padat pada suhu ruang dan bersifat cair bila dipanaskan. Aspal merupakan bahan yang sangat kompleks dan secara kimia belum dikarakterisasi dengan baik. Kandungan utama aspal adalah senyawa karbon jenuh dan tak jenuh, alifatik dan aromatik yang mempunyai atom sampai 150 per molekul (Rianung,S. 2007).

Menurut Sukirman (2012), aspal digunakan sebagai material dalam perkerasan jalan yang berfungsi sebagai :

- a. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dengan agregat dan antara sesame aspal.
- b. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dalam pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Aspal sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4-10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume campuran perkerasan jalan.

Menurut Sukirman (2012), Berdasarkan cara diperolehnya, aspal dibedakan menjadi 2 yaitu aspal alam dan aspal buatan :

a. Aspal Alam

Aspal alam yaitu aspal yang didapat dari suatu tempat di alam, dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti di Pulau Buton, yang terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Pulau Buton). Penggunaan asbuton sendiri adalah sebagai salah satu material perkerasan jalan yang telah dimulai sejak tahun 1920, walaupun masih bersifat konvensional. Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal. Asbuton merupakan material yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi. Selain itu, aspal ada juga yang diperoleh di danau seperti di Trinidad. Aspal alam terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau (*Trinidad Lake Asphalt*).

b. Aspal Buatan

Aspal minyak adalah aspal yang diambil dari proses penyulingan minyak bumi. Setiap minyak di bumi menghasilkan residu jenis *asphaltic base cruid oil* yang banyak mengandung aspal, *paraffin base crude oil* yang banyak menghasilkan paraffin, atau *mix base crude oil* yang mengandung campuran antara paraffin dengan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*.

Pada proses destilasi minyak bumi, bensin, minyak tanah dan solar merupakan hasil destilasi pada temperatur yang berbeda-beda,

sedangkan aspal merupakan residunya. Residu aspal berbentuk padat, tetapi melalui pengolahan hasil residu ini dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada temperature ruang. Jadi, jika dilihat bentuknya pada temperature ruang, maka aspal dibedakan atas aspal padat, aspal cair dan aspal emulsi.

Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair ketika dipanaskan. Aspal padat dikenal juga dengan semen aspal (*asphalt cement*). Oleh karena itu, semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.

Aspal cair merupakan 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 dan solar.

3. Bahan Pengisi (*filler*)

Menurut Sanusi (2012), *filler* merupakan sekumpulan agregat halus yang pada umumnya lolos ayakan No. 200 (74 mikron), bersifat non plastis. Bahan filler dapat berupa : *portland cement*, abu batu, kapur padam, abu batu bara (*fly ash*), atau bahan non plastis lainnya. *Filler* harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu.

Penambahan kadar *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan karena jika terlalu tinggi kadar filler, maka campuran akan menjadi getas atau mudah retak. Dalam Saodang (2005), dijelaskan

bahwa *filler* juga memiliki persyaratan untuk bisa digunakan sebagai bahan penyusun campuran aspal beton. Berikut adalah persyaratan mineral *filler* :

Tabel 4. Persyaratan mineral filler

Sifat umum	Kadar air	Max 1%
	Gumpalan partikel	Tidak ada
	Bukaan saringan (mm)	% lolos saringan
Gradasi	0,6	100
	0,15	90-100
	0,074	70-100

Sumber: Konstruksi Jalan Raya Saodang, 2005.

D. Gradasi

Gradasi berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Agregat yang mempunyai ukuran seragam akan menghasilkan pori antar butiran menjadi besar. Sebaliknya jika agregat mempunyai ukuran yang bervariasi akan mempunyai volume pori kecil, dimana butiran kecil mengisi pori diantara butiran besar sehingga pori-porinya menjadi sedikit (Sukirman, 1999).

Untuk mengidentifikasi gradasi dari suatu agregat dapat dilakukan pengujian analisis saringan sesuai dengan SNI 03-1968-1990, atau menurut AASHTO T27-82/T11-82. Dimana dalam pengujian analisis agregat diperoleh prosentase dari masing-masing fraksi penyusun agregat.

Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1 set saringan dimana saringan yang paling besar diletakkan di

atas dan yang paling kecil diletakkan di bawah. Berikut adalah ukuran butir agregat menurut AASHTO T27-88 atau SNI 03-1968-2002 :

Tabel 5. Ukuran Butir agregat

Ukuran saringan	Bukaan (mm)	Ukuran saringan	Bukaan (mm)
4 inch	100	3/8 inch	9,5
3 ½ inch	90	No. 4	4,75
3 inch	75	No. 8	2,36
2 ½ inch	63	No. 16	1,18
2 inch	50	No. 30	0,6
1 ½ inch	37,5	No. 50	0,3
1 inch	25	No. 100	0,15
¾ inch	19	No. 200	0,075
½ inch	12,5		

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya, Sukirman, 1999

Menurut Sukirman (2010), gradasi agregat sendiri dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

1. Gradasi Buruk (*poorly graded*)

Gradasi buruk merupakan gradasi dengan salah satu atau lebih fraksi penyusun agregat hilang sehingga memuat susunan fraksi agregat tidak lengkap. Campuran yang menggunakan gradasi buruk akan memiliki sifat rapat di beberapa bagiannya, namun menimbulkan rongga di bagian lainnya. Gradasi yang jelek mengakibatkan kepadatan rendah dan stabilitas kecil karena kondisi susunan kontak antar butir agregat yang buruk.

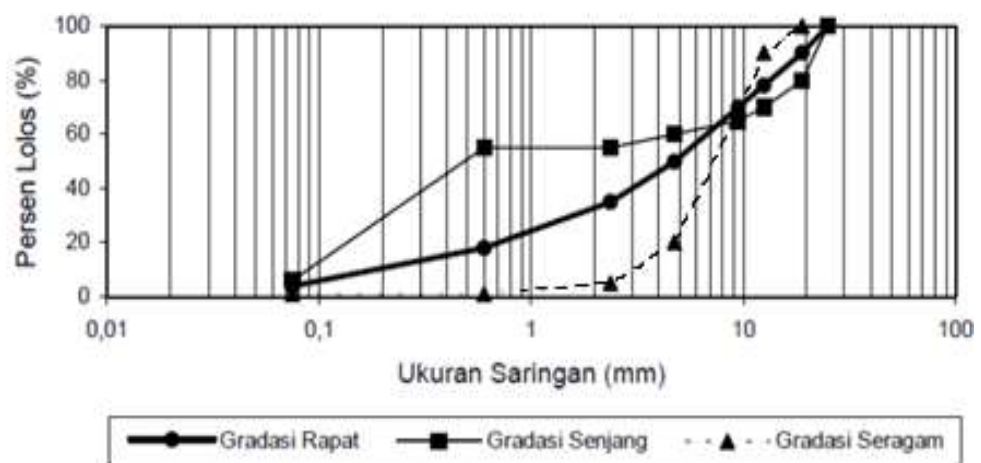
2. Gradasi Seragam (*uniform graded*)

Gradasi seragam merupakan gradasi agregat yang mempunyai ukuran hamper sejenis atau mengandung agregat halus yang cukup sedikit sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi

seragam dari komposisi butiran akan menghasilkan suatu kepadatan yang bervariasi akibat kontak butir sebagian. Sedang stabilitas tergantung pada sifat penyekatan (*confined*).

3. Gradasi Rapat (*dense graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga disebut gradasi menerus atau bergradasi baik (*well graded*). Saodang (2005) berpendapat, agregat dengan gradasi baik akan memberikan suatu keadaan kepadatan dan stabilitas yang baik akibat kontak butir yang hampir menyeluruh pada bidang permukaan.



Gambar 1. Grafik Gradasi Agregat

Untuk campuran aspal beton sendiri, Bina Marga juga sudah mengeluarkan spesifikasi sesuai dengan ukuran ayakan dan jenis dari Laston. Berikut adalah gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal tipe laston :

Tabel 6. Amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Laston (AC)		
(Inch)	(mm)	AC-WC	AC-BC	AC-Base
1 ½"	37,5	-	-	100
1"	25	-	100	90-100
¾ "	19	100	90-100	76-90
½"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	53-69	46-64	35-54
No. 8	2,36	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	21-40	18-38	13-30
No. 30	0,6	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,3	9-22	7-20	6-15
No. 100	0,15	6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010

E. Gondorukem

Gondorukem adalah istilah yang digunakan sebagai sebutan umum untuk produk pengolahan getah dari pohon jenis pinus. Sebutan Gondorukem ini berawal dari penggunaan getah sebagai penambal kapal kayu yang bocor.

Industri Gondorukem dunia dimulai sekitar 100 tahun yang lalu. Di Amerika sudah ada industrinya pada tahun 1830. Di Indonesia industry Gondorukem dimulai sekitar tahun 1938, dengan pabrik pertamanya di Takengon (Aceh) (Rianung, S 2007).

Gondorukem merupakan bahan padat dan mudah terbakar jika dicairkan. Bahan ini merupakan bahan yang sangat cepat menyerap panas ataupun api. Gondorukem dibedakan berdasarkan kualitas/mutu yang berdasarkan warna, titik lunak dan kadar kotoran sesuai spesifikasi SNI 01-5009.12.2001.

Tabel 7. Kualitas Mutu Gondorukem

No.	Spesifikasi	Standard			
		X	WW	WG	N
1.	Titik lunak metode ring dan ball	$\geq 78^{\circ}\text{C}$	$\geq 78^{\circ}\text{C}$	$\geq 76^{\circ}\text{C}$	$\geq 74^{\circ}\text{C}$
2.	Uji Warna dengan Lovibond	Sesuai contoh	Sesuai contoh	Sesuai contoh	Sesuai contoh
3.	Kadar Kotoran	$\leq 0,02\%$	$\leq 0,05\%$	$\leq 0,07\%$	$\leq 0,10\%$
4.	Bilangan Asam (Acid Value)	160 - 190			
5.	Bilangan Penyambunan (Saponification Value)	170 - 220			
6.	Bilangan Iod (Iodine Value)	5 - 25			
7.	Kadar Abu (Ash Content)	$\leq 0,01\%$	$\leq 0,04\%$	$\leq 0,05\%$	$\leq 0,08\%$
8.	Kadar Terpenting Tersisa (Volatile Oil Content)	$\leq 2 \%$	$\leq 2 \%$	$\leq 2,5 \%$	$\leq 3 \%$
Keterangan : X (Rex) = Warna yang paling jernih WW (Water White) = Warna yang beningnya seperti air WG (Window Glass) = Warna bening seperti kaca jendela N (Nancy) = Warna kuning kecoklat-coklatan					

Sumber : SNI 01-5009.12.2001

Menurut Reni Arlia (2017), Penambahan gondorukem berpengaruh terhadap nilai karakteristik Marshall, CL, dan AFD, dimana semakin besar presentase gondorukem ke dalam aspal, maka semakin meningkatkan nilai stabilitas, VIM, CL, dan AFD.

F. Abu Batu Bara (Fly Ash)

Abu batu bara merupakan partikel halus yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu dimana abu batu tersebut memiliki sifat keras, awet, dan unsur *pozzolan*. Sehingga abu batu bisa digunakan dalam campuran aspal beton untuk meningkatkan ketahanan suatu campuran aspal (Sukirman, 2003).

Menurut Yuniarti (2015), Abu terbang batu bara merupakan bahan anorganik sisa pembakaran. Pada pembakaran batu bara dalam pembangkit tenaga listrik terbentuk dua jenis abu yakni abu terbang batu bara (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut abu dasar. Sebagian abu dasar berupa lelehan abu disebut terak (*slag*). Abu terbang batu bara yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah abu terbang batu bara (*fly ash*).

Komponen utama dari *fly ash* batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), Kalsium (CaO) dan sisanya adalah magnesium, potassium, sodium, titanium, dan belerang dalam jumlah yang sedikit. (Yuniarti, 2005).

Abu batu bara (*fly ash*) adalah material yang sangat halus yang berasal dari sisa pembakaran batu bara. *Fly ash* ini dapat dijadikan *filler* atau bahan pengisi pada campuran laston karena ukurannya yang sangat halus karena partikel tersebut lolos saringan apabila disaring menggunakan saringan No.200 dan mengandung unsur *pozzolan*. Sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan dapat juga sebagai pengikat pada aspal beton.

G. Metode Pengujian *Marshall*

Pengujian yang dilakukan untuk menentukan kualitas dari campuran aspal beton sering disebut dengan *Marshall Test*. *Marshall Test* ditemukan pertama kali oleh Bruce *Marshall* dan dikembangkan oleh U.S Corps of Engineer. Untuk mengetahui kualitas dari campuran aspal beton, harus dilakukan pengujian dengan alat yang bernama marshall test. Dalam pemeriksaannya, *Marshall test* menggunakan prosedur PC-0201-76, AASHTO T 245-74 atau ASTM D 1559-62T.

Marshall Test 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, sedangkan arloji kelelahan (*flow meter*) berfungsi untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*). Dalam pengujian dengan metode marshall akan diperoleh data-data sebagai berikut :

1. Stabilitas yang dinyatakan dalam bulat. Stabilitas menunjukkan kekuatan dan ketahanan terhadap terjadinya alur (*rutting*).
2. Kelelahan plastis (*flow*) yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch. *Flow* dapat digunakan sebagai indicator terhadap lentur.
3. VIM yang merupakan persen rongga dalam campuran dan dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka belakang koma.
4. VMA yang merupakan persen rongga terhadap agregat dan dinyatakan dalam bilangan bulat VMA dan VIM merupakan indikator durabilitas.

Menurut ASTM D 1559-62T, Berikut adalah rumus-rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari karakteristik *marshall*:

1. Berat Jenis *bulk* dari total agregat

Setiap masing-masing fraksi dari agregat (agregat kasar, agregat halus dan filler) mempunyai nilai berat jenis bulk sendiri-sendiri. Berikut adalah rumus untuk mencari berat jenis bulk dari total agregat :

$$G_{sb\text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

$G_{sb\text{total}}$: Berat jenis *bulk* agregat gabungan, (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Presentase berat dari masing-masing agregat, (%)

$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}$: Berat jenis *bulk* masing-masing agregat, (gr/cc)

2. Berat jenis semu dari total agregat

Berikut adalah rumus untuk mencari nilai dari berat jenis semu dari total agregat :

$$G_{sa\text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

$G_{sa\text{total}}$: Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Presentase berat dari masing-masing agregat, (%)

$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}$: Berat jenis semu masing-masing agregat, (gr/cc)

3. Berat jenis efektif agregat

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

G_{se} : Berat jenis efektif total agregat , (gr/cc)

G_{sb} : Berat jenis bulk agregat, (gr/cc)

G_{sa} : Berat jenis semu agregat, (gr/cc)

4. Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis maksimum campuran diperlukan untuk mencari atau menghitung kadar rongga udara dalam campuran. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari jenis maksimum campuran :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

P_{mm} : Presentase berat total campuran (=100)

P_s : Presentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

P_b : Presentase kadar aspal terhadap berat total campuran (%)

G_{se} : Berat jenis efektif (gr/cc)

G_b : Berat jenis aspal (gr/cc)

5. Berat jenis *bulk* campuran padat

Berat jenis *bulk* campuran padat dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

G_{mb} : Berat jenis campuran setelah dipadatkan, (gr/cc)

V_{bulk} : Volume campuran setelah dipadatkan, (gr/cc)

W_a : Berat di udara (gr)

6. Kepadatan (Density)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Nilai kepadatan dihitung dengan rumus berikut ini :

$$\text{Kepadatan} = \frac{W_m}{(W_{msd} - W_{mpw})} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

W_m : Berat benda uji setelah dipadatkan (gr)

W_{msd} : Berat benda uji ssd setelah dipadatkan (gr)

W_{mpw} : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)

7. *Void In The Mix* (VIM)

Vim merupakan presentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Syarat nilai VIM adalah sekitar 3%-5% sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010. Nilai VIM dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$VIM = \frac{G_{mm} + G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan :

VIM : Rongga udara pada campuran (%)

G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan (gr/cc)

G_{mb} : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cc)

8. *Void In Mineral Agregate (VMA)*

VMA adalah kabar presentase ruang rongga diantara partikel agregat pada benda uji, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Nila VMA yang disyaratkan adalah minimal 14% sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010. VMA dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$VMA = \frac{100 (G_{sb} - G_{mb}) + G_{mb} . P_b}{G_{sb}} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

G_{mb} : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cc)

G_{sb} : Berat jenis bulk dari total agregat (gr/cc)

P_s : Presentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

9. *Void Filled With Asphalt (VFA)*

VFA merupakan presentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA yang disyaratkan adalah minimal 65%. Nilai VFA dapat dihitung rumus seperti berikut :

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan :

VFA : Presentase rongga udara yang terisi aspal (%)

VMA : Presentase rongga udara pada mineral agregat (%)

VIM : Presentase rongga udara pada campuran (%)

10. Kelelehan

Flow adalah tingkat kelelehan campuran ketika diuji dalam keadaan suhu ekstrim yaitu 60°C. Dikarenakan tidak tersedianya alat flowmeter dilaboratorium, maka nilai flow didapat dari hasil mengurangi rata-rata diameter awal benda uji sebelum pengujian dengan rata-rata diameter benda uji setelah pengujian.

11. Stabilitas

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian dengan alat marshall. Selanjutnya dicocokkan dengan angka kalibrasi proving ring dengan satuan Ibs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan factor koreksi tebal benda uji. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai stabilitas :

$$S = p \times q \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan :

S : Nilai stabilitas (kg)

p : Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q : Angka koreksi tebal benda uji

Tabel 8. Faktor koreksi stabilitas

Isi benda uji (cm) ³	Tebal benda uji (mm)	Angka korelasi
200 – 213	25,4	5,56
214 – 225	27,0	5,00
226 – 237	28,6	4,55
238 – 250	30,2	4,17
251 – 264	31,8	3,85
265 – 276	33,3	3,57
277 – 289	34,9	3,33
290 – 301	36,5	3,03
302 – 316	38,1	2,78
317 – 328	39,7	2,50
329 – 340	41,3	2,27
341 – 353	42,9	2,08
354 – 367	44,4	1,92
368 – 379	46,0	1,79
380 – 392	47,6	1,67
393 – 405	49,2	1,56
406 – 420	50,8	1,47
421 – 431	52,4	1,39
432 – 443	54,0	1,32
444 – 456	55,6	1,25
457 – 470	57,2	1,19
471 – 482	58,7	1,14
483 – 495	60,3	1,09
496 – 508	61,9	1,04
509 – 522	63,5	1,00
523 – 535	65,1	0,96
536 – 546	66,7	0,93
547 – 559	68,3	0,89
560 – 573	69,9	0,86
574 – 585	71,4	0,83
586 – 598	73,0	0,81
599 – 610	74,6	0,78
611 – 625	76,2	0,76

Sumber : SNI 06-2489-1991

H. Penelitian Yang Relevan

Penelitian yang terkait dengan penelitian ini pernah dilakukan oleh Rianung (2015) dengan judul “Kajian Laboratorium Pengaruh Bahan Tambah Gondorukem pada *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) Terhadap Nilai

Propertis Marshall dan Durabilitas”. Mengatakan penggunaan pengaruh pada bahan tambah Gondorukem dengan variasi 1%, 2%, 3%, dan 5% pada Kadar Aspal Optimal (KAO) dengan masa perendaman 24, 48, 72, 96 jam untuk 2x75 tumbukkan memeberikan pengaruh pada penurunan Berat Isi/ kepadatan, presentase VMA dan VIM naik, presentase VFB turun, nilai stabilitas dan flow mengecil, nilai MQ lebih besar dan untuk 2x400 tumbukan adalah untuk berat Isi/ Kepadatan mengalami kenaikan, presentase VMA dan VIM turun, presentase VFB naik, nilai stabilitas dan flow mengecil, nilai MQ lebih besar sehingga campuran aspal beton lebih kaku dan mudah retak serat berkurang kekuatan dan kelenturannya jika terendam air. Dalam penelitian ini juga memberikan hasil jika Gondorukem digunakan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal panas AC-BC dengan nilai campuran yang paling optimal sebesar 2,5 %, karena semua parameter uji aspal dapat dipenuhi dan mempunyai karakteristik marshall.

Penelitian kedua dilakukan oleh Fajri (2015) dengan judul “Studi Penggunaan Aspal Modifikasi Dengan Getah Pinus Pada Campuran Beton Aspal”. Dalam penelitian ini menggunakan aspal pen 60 bercampur dengan getah pinus dan memakai kadar getah pinus sebanyak 0%, 1%, 2,5%, dan 5% dari berat total aspal. Hasil dari pengujian benda uji memenuhi persyaratan kecuali benda uji dengan bahan tambah getah pinus 5%. Aspal modifikasi yang dicampur dengan getah pinus 2,5% merupakan hasil yang paling baik, Karena nilai titik lembek yang lebih tinggi di bandingkan dengan kadar 1% dengan nilai suhu 54°C dan baik untuk digunakan sebagai aspal modifikasi. Nilai VMA

cenderung menurun dengan bertambahnya kadar aspal modifikasi. Nilai VFA, Flow, Stabilitas dan MQ yang diperoleh pada campuran memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Kadar aspal optimum yang didapat dari pengujian aspal dengan bahan tambahn getah pinus 2,5% sebesar 6,8%.

Penelitian ketiga dilakukan oleh Arlia (2015) yang berjudul “Pengaruh Substitusi Gondorukem Dalam Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus”. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan gondorukem sebagai bahan substitusi aspal penetrasi 60/70 terhadap karakteristik campuran aspal porus berdasarkan metode *Australian Asphalt pavement Association* (AAPA). Dari hasil Analisa didapatkan nilai kadar aspal optimum terbaik adalah 5,56% dengan substitusi 8% gondorukem. Pada KAO terbaik diperoleh nilai stabilitas sebesar 554,81 kg, nilai %VIM sebesar 18,04%, nilai CL sebesar 20,66% dan nilai AFD sebesar 0,28%. Nilai permeabilitas yang diperoleh sebesar 0,2212 cm/det dan sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan, tetapi nilai durabilitas yang diperoleh yaitu 76,68% tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan yaitu >90%, hal ini dikarenakan menurunnya daya ikat aspal terhadap agregat yang disebabkan oleh masuknya air ke dalam pori campuran sehingga menurunkan tingkat keawetan campuran aspal.