

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Aspal merupakan bahan utama dalam perkerasan jalan. Aspal memiliki beberapa jenis, yaitu aspal alam, aspal keras, aspal cair, dan aspal modifikasi. Aspal memiliki sifat *viskoelastis* yaitu sifat untuk mencair pada suhu tinggi dan memadat pada suhu rendah. Sifat yang dimiliki aspal tersebut merupakan hal utama yang menjadikan aspal sebagai bahan utama dalam perkerasan jalan karena dapat mengikat bahan-bahan pencampur perkerasan jalan. Perkerasan jalan yang baik adalah perkerasan jalan yang mampu menahan beban lalu lintas. Perkerasan jalan yang digunakan di Indonesia terdiri dari beberapa jenis. Perkerasan jalan yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah lapisan aspal beton atau Laston (*AC/Asphalt Concrete*). Lapisan aspal beton banyak digunakan karena jenis perkerasan ini memiliki nilai stabilitas dan fleksibilitas yang baik.

Aspal beton (Laston) sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Penggunaannya pun di Indonesia dari tahun ke tahun makin meningkat. Laston (*AC/Asphalt Concrete*) yang dibuat sebagai campuran panas (*hot mix*) merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan konstruksi perkerasan yang paling umum digunakan. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu.

Di Indonesia kendaraan bermotor meningkat tiap tahunnya, peningkatan kendaraan bermotor didominasi oleh kendaraan penumpang, bis, kendaraan pengangkut barang dan sepeda motor. Pada tahun 2017 jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mencapai 137.211.818 unit, kemudian pada tahun 2018 meningkat menjadi 146.858.759 unit (Badan Pusat Statistik Republik Indonesia Tahun 2020). Seiring dengan meningkatnya beban pada perkerasan jalan akibat bertambahnya jumlah kendaraan yang ditampung oleh jalan, maka bahan lapis

keras dituntut mampu meneruskan dan menyebarkan beban tersebut ke lapis yang berada di bawahnya.

Lapis perkerasan jalan adalah bagian terpenting dari struktur konstruksi jalan dalam mendukung beban lalu lintas kendaraan. Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Perkerasan jalan merupakan lapis perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan pada konstruksi jalan itu sendiri. Saat ini dengan kemajuan teknologi yang sangat pesat membuat banyak teknisi jalan berlomba-lomba untuk menciptakan jenis dan bentuk jalan yang bermacam-macam. Dengan perkembangan teknologi bahan yang sangat pesat juga berdampak pada berkembangnya teknik perkerasan jalan dan berdampak pada kemampuan menahan beban kepadatan lalu lintas yang berkepanjangan di setiap jalan. Salah satu usaha untuk meningkatkan kualitas aspal adalah dengan menambahkan bahan pengisi (*filler*) di dalam campuran perkerasan.

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga). Pengolahan limbah merupakan kegiatan mendaur ulang atau menggunakan suatu produk/bahan menjadi produk yang dapat digunakan kembali dan mempunyai nilai ekonomis termasuk penggunaannya dalam konstruksi perkerasan. Pada penelitian ini akan dicoba menggunakan limbah kaca sebagai pengganti *filler* abu batu. Penelitian ini merupakan eksperimen dan akan dilihat pengaruhnya dari penggantian sebagian *filler* abu batu dengan abu kaca pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*. Penggunaan limbah kaca sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran aspal beton dikarenakan kaca merupakan sebuah substansi yang keras dan rapuh serta di dalam kaca terdapat silika sebagai bahan komponen utamanya yang mana diketahui silika merupakan bahan yang bersifat mengikat atau memiliki angka *adhesi* yang cukup tinggi.

Pada penelitian ini peneliti mencoba untuk menguji pengaruh dari penggantian sebagian *filler* abu batu dengan limbah kaca sebagai *filler* pengganti

terhadap campuran lapis aspal beton pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*. Dengan hasil penelitian ini, peneliti berharap dapat mengetahui pengaruh dari limbah kaca terhadap campuran lapis aspal beton terhadap karakteristik *Marshall*.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Seberapa besar pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai pengganti *filler* terhadap karakteristik *Marshall* dengan komposisi *filler* yang digunakan yaitu 100% abu batu, 50% abu batu : 50% limbah kaca (50:50), dan 100% limbah kaca pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*.
2. Berapa nilai persentase optimum karakteristik *Marshall* pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. *Filler* yang akan diganti adalah abu batu dan bahan pengganti *filler* berupa limbah kaca dengan komposisi *filler* yang digunakan yakni 100% abu batu, 50% abu batu : 50% limbah kaca (50:50), dan 100% limbah kaca.
2. Limbah kaca yang digunakan adalah jenis botol kaca yang dikumpulkan dari sampah rumah tangga dan kemudian diolah menjadi serbuk. Adapun limbah botol kaca yang digunakan tidak mengenal bentuk dan merek dari produk botol kaca tersebut.
3. Spesifikasi campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* beserta persyaratan agregat dan aspal mengacu pada Bina Marga 2018.
4. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 produksi Pertamina.
5. Penelitian ini tidak memperhitungkan nilai workabilitas.
6. Penelitian ini tidak memperhitungkan faktor ekonomis dan keawetan.
7. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen Medan.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui dan menguji nilai karakteristik *Marshall* pada penggantian sebagian *filler* abu batu dengan limbah kaca pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* yang terdiri dari stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFA dan *Marshall Quotient*.
2. Untuk mencari komposisi *filler* yang optimum diantara komposisi *filler* dengan menggunakan 100% abu batu, 50% abu batu : 50% limbah kaca (50:50), dan 100% limbah kaca.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Diharapkan penggunaan limbah kaca sebagai *filler* dapat memberikan kekuatan yang lebih besar terhadap lapisan aspal beton.
2. Mengurangi masalah limbah khususnya limbah botol kaca yang sulit terurai dan menjadikannya sebagai produk yang lebih bermanfaat terkhusus dalam konstruksi perkerasan.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun tujuan sistematika penulisan ini adalah untuk memberikan gambaran secara garis besar isi setiap bab yang dibahas pada penyusunan tugas akhir ini. Sistematika penulisannya adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Pada bab ini diuraikan secara singkat mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini diuraikan mengenai istilah-istilah dan dasar-dasar teori yang berhubungan dengan penelitian.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Pada bab ini diuraikan langkah sistematis yang ditempuh untuk mencapai subjek penelitian, teknik pengumpulan data dan teknik analisis data.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini diuraikan mengenai hasil penelitian dan pembahasan dari penelitian mengenai limbah kaca sebagai *filler* pada campuran aspal beton.

5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini berisikan kesimpulan berdasarkan analisa yang telah dibahas sebelumnya, pada bab ini juga ditulis saran-saran yang dapat bermanfaat untuk penyempurnaan dan kebaikan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

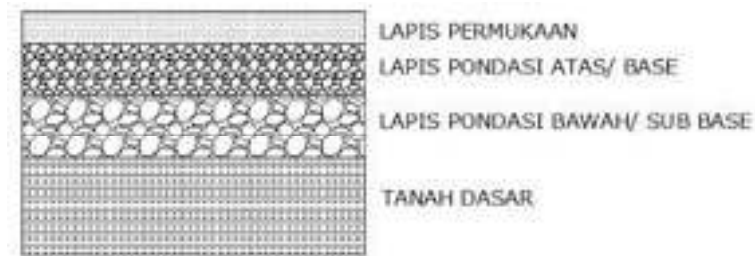
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Aspal

Beton Aspal merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Adapun susunan lapis konstruksi perkerasan lentur terdiri dari (Sukirman S. 1999):

- a. Lapis permukaan (*surface course*)
- b. Lapis pondasi atas (*base course*)
- c. Lapis pondasi bawah (*subbase course*)
- d. Lapis tanah dasar (*subgrade*)

Susunan konstruksi perkerasan jalan dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Susunan konstruksi perkerasan jalan

Berdasarkan gambar di atas maka lapisan yang paling berat menerima beban adalah lapisan permukaan (*surface course*) yang kemudian didistribusikan ke lapisan di bawahnya.

Adapun jenis lapisan aspal beton campuran panas, terbagi menjadi tiga yaitu:

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) dengan tebal minimum AC-WC adalah 4 cm. lapisan ini adalah lapisan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan dan dirancang untuk tahan terhadap perubahan cuaca, gaya geser, tekanan roda ban kendaraan serta memberikan lapis kedap air untuk lapisan di bawahnya.

2. Laston sebagai lapisan pengikat, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*) dengan tebal minimum AC-BC adalah 5 cm. lapisan ini membentuk lapisan pondasi jika digunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan.
3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt Concrete - Base*) dengan tebal minimum AC-Base adalah 6 cm. lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca tetapi memerlukan stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan.

Menurut Silvia Sukirman (2003) bahwa campuran dari aspal dan agregat yang direncanakan harus dapat memenuhi karakteristik tertentu agar dapat bertahan pada kondisi beban lalu lintas dan iklim sehingga dapat menghasilkan suatu perkerasan yang kuat, aman dan nyaman. Maka setiap campuran beton aspal (AC) harus memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Stabilitas

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

2. Keawetan (Durabilitas)

Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya *film* atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.

3. Kelenturan (Fleksibilitas)

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (*konsolidasi/settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat berat sendiri tanah timbunan yang

dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat terbuka dengan kadar aspal tinggi.

4. Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue resistance*)

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

5. Kekesatan / Tahanan Geser (*Skid resistance*)

Kekesatan atau ketahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun *slip*. Berikut faktor-faktor yang mempengaruhi kekesatan jalan yaitu:

- a) Kekasaran permukaan dari butir-butir. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak hanya mempunyai permukaan kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan
- b) Luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir
- c) Gradasi agregat
- d) Kepadatan campuran
- e) Tebal *film* aspal
- f) Ukuran maksimum butir agregat

6. Kedap Air (Impermeabilitas)

Kedap air atau impermeabilitas adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan *film*/selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kekedapan air campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Mudah dilaksanakan (*workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah:

- a) *Viscositas* aspal

- b) Kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur
- c) Gradasi dan kondisi agregat

Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran pelaksanaan.

2.2. Campuran Beton Aspal

Campuran beton aspal adalah kombinasi material bitumen dengan agregat yang merupakan permukaan perkerasan yang biasa dipergunakan akhir-akhir ini. Karakteristik campuran diperoleh melalui analisis hasil rancangan dan pengujian yang dilakukan selama pencampuran material dan pemadatan. Material aspal dipergunakan untuk semua jenis jalan raya dan merupakan salah satu bagian dari lapisan beton aspal jalan raya kelas satu hingga di bawahnya. Material bitumen adalah hidrokarbon yang dapat larut dalam karbon disulfat. Material tersebut biasanya dalam keadaan baik pada suhu normal dan apabila kepanasan akan melunak atau berkurang kepadatannya. Ketika terjadi pencampuran antara agregat dengan bitumen yang kemudian dalam keadaan dingin, campuran tersebut akan mengeras dan akan mengikat agregat secara bersamaan dan membentuk suatu lapis permukaan perkerasan (Rian Putrowijoyo, 2006). Adapun sifat-sifat campuran untuk lapis aspal beton (Laston) sebagaimana diisyaratkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		

Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.	2		

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.2.1. Agregat

Secara umum bahan penyusun beton aspal terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi dan aspal sebagai pengikat. Dimana bahan-bahan tersebut sebelum digunakan harus diperiksa di laboratorium. Agregat yang akan dipergunakan sebagai material campuran perkerasan jalanan haruslah memenuhi persyaratan sifat dan gradasi agregat seperti yang ditetapkan oleh badan berwenang.

Menurut Spesifikasi Umum Divisi 6 Perkerasan Aspal 2018 memberikan persyaratan untuk agregat sebagai berikut:

a. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk campuran adalah tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan bersih, keras, awet, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12%
	Magnesium sulfat			Maks. 18%
Abrasi	Campuran AC	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%

dengan mesin Los Angeles	modifikasi dan SMA	500 putaran		Maks. 30%
	Semua campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		200 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011		Min. 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012		100/90
	Lainnya			95/90
Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791 Perbandingan 1:5		Maks. 5%
	Lainnya			Maks. 10%
Material lolos ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012		Maks. 1%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm), yang harus memenuhi persyaratan agregat halus sebagai berikut:

- 1) Agregat halus dari sumber manapun harus terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No. 4 (4,75 mm).
- 2) Fraksi agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.
- 3) Agregat pecah halus harus ditumpuk secara terpisah.
- 4) Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran.
- 5) Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%

Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.2.2. Bahan Pengisi (*filler*)

Filler adalah suatu bahan berbutir halus yang lewat ayakan No. 200 (0,075 mm). Bahan *filler* sendiri dapat berupa debu batu, kapur, semen *portland* atau bahan lainnya (Totomiharjo, Soeprapto. 1994). *Filler* mempunyai fungsi mempertinggi kepadatan dan stabilitas campuran, menambah jumlah titik kontak butiran, mengurangi jumlah bitumen yang digunakan untuk mengisi rongga dalam campuran. Bahan pengisi (*filler*) pada campuran beraspal terutama Laston sebagai lapis permukaan jalan, merupakan salah satu komponen yang mempunyai prosentase yang terkecil disamping aspal. Namun mempunyai fungsi yang sangat penting untuk memodifikasi gradasi agregat halus dalam campuran beraspal, sehingga kepadatan campuran bisa meningkat. Salah satu syarat *filler* untuk campuran beraspal yaitu bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya kecuali untuk mineral asbuton. Mineral asbuton harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 100 (150 micron) tidak kurang dari 95% terhadap beratnya (sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal).

2.2.3. Bahan Pengikat (Aspal)

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada pada waktu penyemprotan atau penyiraman pada perkerasan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan akan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis) (Sukirman, Silvia. 1999). Jenis aspal berdasarkan tempat diperolehnya aspal dibedakan atas dua yaitu aspal alam yaitu aspal yang berasal dari bahan alam seperti asbuton dan aspal buatan, aspal jenis ini diperoleh dari hasil atau

penyulingan minyak bumi sehingga sering disebut aspal minyak dan umum digunakan yang berasal dari bahan baku minyak bumi dengan kandungan parafin rendah. Adapun jenis-jenis aspal minyak adalah sebagai berikut:

- a) Aspal keras/panas (*Asphalt Cement, AC*), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas serta penyimpanannya dalam bentuk padat pada temperatur ruang antara 25°C - 30°C. AC penetrasi rendah dipakai untuk daerah yang memiliki cuaca panas atau volume lalu lintasnya tinggi, sedangkan AC penetrasi tinggi dipakai untuk daerah dingin atau volume lalu lintasnya rendah. Di Indonesia umumnya dipakai penetrasi 60/70 dan 80/100.
- b) Aspal Dingin/Cair (*Cutback Asphalt*), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair. Aspal ini dibuat dengan mencampur aspal keras/panas (AC) dengan bahan pencair hasil penyulingan minyak bumi yang berbentuk cair seperti minyak tanah, bensin atau solar.
- c) Aspal Emulsi (*Emulsion Asphalt*), adalah aspal yang lebih cair dari aspal cair yaitu campuran aspal, air dan bahan pengemulsi.

Pada penelitian ini akan digunakan *Asphalt Cement* penetrasi 60/70. Selain itu aspal untuk lapis beton harus memenuhi beberapa syarat sebagaimana tercantum pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Ketentuan-ketentuan Untuk Aspal Keras Pen 60/70

Jenis Pengujian	Metoda pengujian	Persyaratan
Penetrasi pada 25 °C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
Daktalitas pada 25 °C, (cm)	SNI 2432:2011	≥100
Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
Berat jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Devisi 6 Perkerasan Aspal

2.2.4. Gradasi Campuran Beton Aspal

Gradasi agregat merupakan salah satu sifat yang sangat menentukan kinerja atau daya tahan jalan. Setiap jenis perkerasan jalan mempunyai gradasi tertentu yang dapat dilihat di dalam setiap spesifikasi material perkerasan jalan. Menurut Silvia Surkirman (2003) gradasi agregat

adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisa saringan. Distribusi ini dibedakan menjadi 3 macam, yaitu:

a. Gradasi Seragam

Gradasi seragam adalah agregat yang mempunyai ukuran sama atau hampir sama. Agregat ini mempunyai pori antar butir yang cukup besar, sehingga sering juga disebut agregat bergradasi terbuka.

b. Gradasi Senjang

Gradasi senjang merupakan gradasi dengan agregat yang tidak memiliki ukuran yang tak sama rata dan memiliki sela.

c. Gradasi Menerus

Gradasi menerus merupakan gradasi dengan agregat yang semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Agregat ini lebih sering digunakan dalam lapis perkerasan lentur.

Gradasi agregat untuk campuran berasal panas ditunjukkan pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Amplop Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran ayakan (mm)	Berat yang lolos terhadap agregat dalam campuran (%)		
	Laston (AC)		
	WC	BC	Base
37,5	-	-	100
25	-	100	90 – 100
19	100	90 – 100	76 – 90
12,5	90 – 100	75 – 90	60 – 78
9,5	77 – 90	66 – 82	52 – 71
4,75	53 – 69	46 – 64	35 – 54
2,36	33 – 53	30 - 49	23 – 41
1,18	21 – 40	18 - 38	13 – 30
0,600	14 -30	12 – 28	10 – 22
0,300	9 – 22	7 – 20	6 – 15
0,150	6 – 15	5 – 13	4 – 10

0,075	4 – 9	4 – 8	3 – 7
-------	-------	-------	-------

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.3. Kaca

Kaca merupakan sebuah substansi yang keras dan rapuh, serta merupakan padatan *amorf*. Hal ini dikarenakan bahan-bahan pembuat kaca bersifat *amorf* yang mana dapat meleleh dengan mudah. Kaca merupakan hasil penguraian senyawa-senyawa inorganik yang mana telah mengalami pendinginan tanpa kristalisasi. Komponen utama dari kaca adalah silika. Dalam kehidupan sehari-hari kaca digunakan sebagai cermin, insulator panas, alat-alat laboratorium, dekorasi, dan pembatas ruang.

Kaca adalah material *amorf* yang pada suhu biasa mempunyai bentuk yang keras, tetapi apabila dipanaskan, lama kelamaan akan menjadi lunak, sesuai dengan suhu yang meningkat dan akhirnya menjadi kental hingga mencapai keadaan cair. Selama proses pendinginan terjadi proses yang berkebalikan dengan proses peleburan kaca. Kaca memiliki sifat yaitu tahan terhadap bahan kimia, efektif sebagai isolator listrik, dapat menahan vakum. Selain memiliki sifat-sifat tersebut, kaca merupakan bahan yang rapuh dan tidak tahan terhadap benturan.

2.3.1. Unsur-Unsur Pembentuk Kaca

Kaca merupakan bentuk lain dari gelas (*glass*), oksida-oksida yang digunakan untuk menyusun komposisi kaca dapat digolongkan menjadi:

- 1) Glass former (merupakan kelompok oksida pembentuk utama kaca) antara lain: B_2O_3 , SiO_2 , GeO_2 , P_2O_5 , V_2O_5 , AsO_3 .
- 2) Glass Intermediate (oksida yang menyebabkan kaca mempunyai sifat-sifat yang lebih spesifik, contoh untuk menahan radiasi, menyerap UV dan sebagainya) antara lain: Al_2O_3 , Sb_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 , PbO , BeO , ZnO .
- 3) Glass modifier (oksida yang tidak menyebabkan kaca memiliki elastisitas, ketahanan suhu, tingkat kekerasan dan lainnya) antara lain: MgO , Li_2O , BaO , CaO , SrO , Na_2O , K_2O .

Kombinasi dari ketiganya akan mempengaruhi karakteristik kaca saat dilakukan proses pembentukan.

2.3.2. Sifat Fisik dan Kimia yang Penting dari Kaca

Beberapa sifat fisik dan kimia yang penting dari kaca antara lain:

1) Sifat Mekanik

Tension strength atau daya tarik adalah sifat utama kaca. *Tension strength* merupakan tegangan maksimum yang dialami oleh kaca sebelum terpisahnya kaca akibat adanya tarikan (*fracture*). Sumber *fracture* ini dapat muncul jika kaca mempunyai cacat di permukaan, sehingga tegangan akan terkonsentrasi pada cacat tersebut. Kekuatan dari kaca akan bertambah jika cacat di permukaan dapat dihilangkan.

2) Densitas dan Viskositas

Densitas adalah perbandingan antara massa suatu bahan dibagi dengan volumenya. Nilai densitas kaca adalah sekitar $2,49 \text{ g/cm}^3$. Densitas kaca akan menurun seiring dengan kenaikan temperatur. Viskositas merupakan sifat kekentalan dari suatu cairan yang diukur pada rentang temperatur tertentu. Viskositas kaca sekitar $4,5 \times 10^7$ poise.

3) Sifat Termal

Konduktivitas panas dan panas ekspansi merupakan sifat *thermal* yang penting dari kaca. Kedua sifat ini digunakan untuk menghitung besarnya perpindahan panas yang diterima oleh cairan kaca tersebut. Nilai dari tahanan kaca sekitar $10^{20} - 1\Omega \text{ cm}^3$.

4) *Optical Properties*

- *Refractive properties*

Kaca mempunyai sifat memantulkan cahaya yang jatuh pada permukaan kaca tersebut. Sebagian sinar dari kaca yang jatuh itu akan diserap dan sisanya akan diteruskan. Apabila cahaya dari udara melewati medium padat seperti kaca, maka kecepatan cahaya saat melewati kaca menurun. Perbandingan antara kecepatan cahaya di udara dengan kecepatan cahaya yang lewat gelas ini disebut dengan indeks bias. Nilai indeks bias untuk kaca adalah $\pm 1,52$.

- *Absorptive properties*

Intensitas cahaya yang masuk ke dalam akan berkurang karena adanya penyerapan sepanjang tebal kaca tersebut. Jika kaca semakin tebal, maka energi

cahaya yang diserap akan semakin banyak sedangkan intensitas cahaya yang masuk melalui kaca akan semakin rendah.

5) Stabilitas Kimia

Stabilitas kimia adalah ketahanan suatu bahan terhadap pengaruh zat kimia. Stabilitas kimia banyak dipengaruhi oleh bahan-bahan pembentuk kaca.

2.3.3. Bahan Baku Kaca

Ada empat bahan baku utama yang digunakan untuk menghasilkan kaca antara lain:

1. Pasir silika

Merupakan sumber dari SiO_2 . Pasir silika yang digunakan adalah pasir silika yang tidak banyak mengandung pengotor, baik dari bahan organik maupun bahan anorganik. Pasir silika berguna untuk membentuk cairan gelas yang sangat kental yang memiliki ketahanan terhadap perubahan temperatur yang mendadak.

2. Dolomite ($\text{CaO.MgO.H}_2\text{O}$)

Dolomite digunakan sebagai sumber CaO dan MgO . Dolomite ini biasanya berupa mineral tambang berwarna putih. Penggunaan *dolomite* sangat penting karena dapat mempermudah peleburan serta mempercepat proses pendinginan kaca.

3. Soda Ash (Na_2CO_3)

Soda Ash ini digunakan sebagai sumber Na_2O dan K_2O . Fungsi dari Na_2O adalah menurunkan titik lebur. Secara umum, penggunaan soda ash ini adalah untuk mempercepat pembakaran, menurunkan titik lebur, mempermudah pembersihan gelembung dan mengoksidasi besi.

4. *Cullet*

Cullet merupakan sisa-sisa dari pecahan kaca yang dapat digunakan sebagai salah satu bahan baku utama dari produksi kaca. Tujuan dari penggunaan *cullet* ini adalah mengurangi 3 bahan baku utama (pasir silika, *dolomite*, soda ash) di atas sehingga biaya produksi dapat semakin kecil. Komposisi kimia dari *cullet* sama dengan komposisi kimia kaca yang diproduksi. Selain itu, penggunaan *cullet* ini dapat memperkecil *melting point* atau titik lebur dari pembuatan kaca, sehingga dapat menghemat penggunaan bahan bakar.

Bahan baku kaca tidak hanya terdiri dari bahan empat bahan diatas, tapi ada juga bahan pendukung lainnya seperti *Feldspar*, *Calumite*, *Sodium Nitrate*, *Blue Dust*, *Nickel Oxide*, *Cobalt Oxide*, *Salt Cake*, *Nepheline* dan *Sodium Selenite*.

Limbah kaca yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis botol kaca seperti pada gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2.2 Limbah Botol Kaca

2.4. Proporsi Campuran

Proporsi campuran merupakan distribusi dari variasi ukuran butir agregat, gradasi campuran ini diperlukan unntuk melihaat fraksi dari setiap perbutiran penyusunnya. Terdapat 2 cara untuk mendapatkan proporsi campuran yaitu dengan metode grafis dan metode analisis. Metode analisis dibagi menjadi 2 cara yakni, analisis dengan “*Trial and Error*” dan analisis dengan pertidaksamaan linear.

2.4.1. Metode Trial and Error

Metode ini adalah metode yang menggunakan cara mencoba-coba persentase setiap fraksi agregat agar gradasi campuran sesuai dengan *range* dari gradasi yang diisyaratkan yaitu batasan atas dan batasan bawah pada setiap agregat seperti pada tabel 2.4.2. Metode *trial and error* ini digunakan dengan bantuan *Microsoft Excel*, Formula yang dipakai pada metode Trial and eror ini dapat dilihat pada rumus 2.1.

$$G = \left\{ \frac{A}{100} (nX1) + \frac{B}{100} (nX2) + \frac{C}{100} (nX3) + \frac{D}{100} (nX4) \right\} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- G = Gradasi campuran (%)
- A = Fraksi agregat kasar (%)
- X1 = Kumulatif persen lolos agregat kasar
- B = Fraksi agregat sedang (%)
- X2 = Kumulatif persen lolos agregat sedang
- C = Fraksi agregat halus (%)
- X3 = Kumulatif persen lolos agregat halus
- D = Fraksi *filler* (%)
- n = urutan *cell* pada *microsoft excel*

Dari formula diatas maka data yang akan dimasukkan sebagai *trial and eror* adalah data pada fraksi kasar, sedang, halus, dan *filler*. Kemudian akan dilihat nilai G (gradasi campuran) dan dibuat kedalam grafik campuran, selanjutnya akan dilihat apakah gradasi campuran tersebut berada pada *range* batasan atas dan batasan bawah yang telah diisyaratkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

2.5. Kadar Aspal Rencana

Untuk perencanaan campuran beraspal panas (laston) dengan kepadatan mutlak, secara garis besar adalah melakukan pemilihan gradasi agregat campuran berdasarkan jenis dan fungsi campuran yang akan digunakan, serta melakukan penggabungan beberapa fraksi agregat dengan salah satu cara (cara analitis), kemudian hitung perkiraan kadar aspal rencana. Untuk rancangan campuran di laboratorium dipergunakan kadar aspal tengah/ideal dari rentang kadar aspal dalam spesifikasi campuran. Kadar aspal tengah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \quad (2.2)$$

Dimana:

- Pb = Kadar aspal rencana awal, adalah % terhadap berat campuran
- CA = Agregat kasar, adalah % terhadap agregat tertahan saringan no.8
- FA = Agregat halus, adalah % terhadap agregat lolos saringan no.8 dan tertahan saringan no.20
- FF = Bahan pengisi (*filler*), minimal 75% lolos no.200
- K = Konstanta berkisar antara 0,5 – 1,0

Kadar aspal yang diperoleh dibulatkan mendekati angka 0,5% yang terdekat.

2.6. Volumetrik Campuran Beraspal

Volumetrik campuran beraspal yang dimaksud adalah volume benda uji campuran yang telah dipadatkan. Komponen campuran beraspal secara volumetrik tersebut adalah: volume

rongga diantara mineral agregat (VMA), volume *bulk* campuran padat, volume campuran padat tanpa rongga, volume rongga terisi aspal (VFA), volume rongga dalam campuran (VIM), volume aspal yang diserap agregat, volume agregat berdasarkan berat jenis *bulk* dan volume agregat berdasarkan berat jenis efektif.

Perhitungan berat jenis dan volume rongga campuran beraspal adalah dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

1. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis yang diuji terdiri dari tiga jenis yaitu berat jenis *bulk* (*dry*), berat jenis *bulk* campuran (*density*), berat jenis maksimum (*theoritis*).

a. Berat Jenis *Bulk* Agregat

Berat jenis *bulk* adalah perbandingan antara berat bahan di udara (termasuk rongga yang kedap dan menyerap air) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air serta volume yang sama pada suhu tertentu pula, yang dirumuskan:

$$Gsb = \frac{P1 + P2 + \dots + Pn}{P1/G1 + P2/G2 + \dots + Pn/Gn} \quad (2.3)$$

Keterangan:

Gsb = Berat jenis *bulk* total agregat
P1, P2, Pn = Presentasi masing-masing fraksi agregat
G1, G2, Gn = Berat jenis *bulk* masing-masing fraksi agregat

b. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif adalah perbandingan antara berat bahan di udara (tidak termasuk rongga yang menyerap aspal) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air destilasi dengan volume yang sama dan suhu tertentu pula, yang dirumuskan:

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{Pmm/Gmm - Pb/Gb} \quad (2.4)$$

Keterangan:

Gse = Berat jenis efektif agregat
Pmm = Presentasi berat total campuran (=100)
Gmm = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol
Pb = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum
Gb = Berat jenis aspal

c. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$Gmm = \frac{Pmm}{Ps/Gse + Pb/Gb} \quad (2.5)$$

Keterangan:

- G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran agregat, rongga udara nol
- P_{mm} = Presentasi berat total campuran (=100)
- P_s = Kadar agregat persen terhadap berat total campuran
- G_{se} = Berat jenis efektif agregat
- G_b = Berat jenis aspal

2. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_b \quad (2.6)$$

Keterangan:

- P_{ba} = Penyerapan aspal, % total agregat
- G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat
- G_{se} = Berat jenis efektif agregat
- G_b = Berat jenis aspal

3. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan aspal. Kadar aspal efektif ini dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{be} = P_b \times \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \quad (2.7)$$

Keterangan:

- P_{be} = Kadar aspal efektif, % total agregat
- P_b = Kadar aspal % terhadap berat total campuran
- P_{ba} = Penyerapan aspal, % total agregat
- P_s = Kadar agregat, % terhadap berat total campuran

4. Rongga diantara Mineral Agregat (VMA)

Rongga diantara mineral agregat adalah ruang diantara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Perhitungan VMA terhadap campuran total dengan persamaan:

a. Terhadap berat campuran total

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (2.8a)$$

- Keterangan: VMA = Rongga diantara mineral agregat, % volume *bulk*
 G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat

Gmb = Berat jenis *bulk* campuran padat
 Ps = Kadar agregat, % terhadap berat total campuran

b. Terhadap berat agregat total

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100+Pb)} \times 100 \quad (2.8b)$$

Keterangan: VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume *bulk*

Gsb = Berat jenis *bulk* agregat

Gmb = Berat jenis *bulk* campuran padat

Pb = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran

5. Rongga di dalam Campuran (VIM)

Rongga udara di dalam campuran adalah campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam persen dapat ditentukan dengan persamaan:

$$VIM = 100 \times \frac{Gmm \times Gmb}{Gmm} \quad (2.9)$$

Keterangan:

VIM = Rongga dalam campuran, % total campuran

Gmm = Berat jenis maksimum campuran agregat, rongga udara nol

Gmb = Berat jenis *bulk* campuran padat

6. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Untuk mendapatkan VFA dapat ditentukan dengan persamaan:

$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \quad (2.10)$$

Keterangan:

VFA = Rongga terisi aspal, % VMA

VMA = Rongga diantara mineral agregat, % volume *bulk*

VIM = Rongga udara campuran, % total campuran

2.7. Metode *Marshall*

Metode *Marshall* bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suatu perkerasan lentur. Metode *Marshall* ini terdiri dari uji *Marshall* dan parameter *Marshall* yaitu sebagai berikut:

2.7.1. Uji *Marshall*

Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (*flow*). Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (500 *lbs*) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *Marshall* standart berbentuk silinder berdiameter 4 *inchi* (10,16 cm) dan tinggi 2,5 *inchi* (6,35 cm).

Hasil uji akan menunjukkan karakteristik *Marshall* dan karakteristik akan dipengaruhi oleh sifat-sifat campuran yaitu: kepadatan, rongga diantara agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam campuran pada kepadatan mutlak, stabilitas, kelelahan serta *Marshall Quotient* (MQ).

2.7.2. Parameter pengujian *Marshall*

Adapun parameter-parameter marshall adalah sebagai berikut:

a. Kepadatan rongga dalam agregat (VMA)

Rongga dalam campuran agregat adalah rongga antar butiran agregat dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan serta aspal efektif yang dinyatakan dalam persentase volume total campuran.

b. Rongga terisi aspal (VFA)

VFA adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat VMA yang terisi oleh aspal, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat.

c. Rongga dalam campuran (VIM)

Rongga dalam campuran digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran dalam persen. Rongga udara yang dihasilkan ditentukan oleh susunan partikel agregat dalam campuran serta ketidakseragaman bentuk agregat.

d. Stabilitas *Marshall*

Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban yang bekerja tanpa mengalami deformasi yang permanen seperti gelombang, alur ataupun *bleeding* yang dinyatakan dalam satuan kg atau *lbs*. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang. Perhitungan stabilitas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$S = P \times K \times T \times 0,4536 \quad (2.11)$$

Dengan:

S = Stabilitas (kg)
P = Angka pembacaan arloji
K = Angka kalibrasi alat
T = Angka kolerasi tinggi
0,4536 = Angka konversi berat *lbs* ke kg

e. Kelelahan (*flow*)

Seperti cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum *dial* (dalam satuan mm) pada saat melakukan pengujian *Marshall*. Suatu campuran yang mempunyai kelelahan yang rendah akan lebih kaku dan cenderung untuk mengalami retak dini pada usia pelayanannya. Sedangkan nilai kelelehannya yang tinggi mengindikasikan campuran yang bersifat plastis.

f. *Marshall Quotient*

Marshall Quotient merupakan hasil bagi dari stabilitas dengan kelelahan. Semakin tinggi MQ maka akan semakin tinggi kekakuan campuran dan semakin rentan terhadap kerusakan akibat adanya beban yang bekerja di atasnya. Karakteristik ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (2.12)$$

Dengan:

MQ = *Marshall Quotient*
S = Nilai stabilitas terkoreksi (kg)
F = Nilai *flow* (mm)

2.8. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini dicantumkan juga beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang memiliki keterkaitan dan berhubungan dengan penelitian ini diantaranya adalah:

- a) Ratna Yuniarti dkk (2019) melakukan penelitian mengenai penggunaan limbah kaca sebagai *filler* pada campuran perkerasan aspal panas, dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa *filler* limbah kaca yang bereaksi dengan filler abu batu dan aspal yang meleleh akibat pencampuran secara panas menghasilkan kinerja *hot mix* yang maksimum pada penggunaan filler limbah kaca sebesar 75% terhadap total berat *filler*. Pada penggunaan 75% limbah kaca dan 25% *filler* abu batu, nilai VIM dan VMA mencapai

minimum sedangkan nilai VFB mencapai maksimum karena pada proporsi tersebut terjadi ikatan yang lebih kuat sehingga memperkecil terbentuknya rongga dan memperbesar prosentase selimut aspal pada agregat dalam rongga di antara mineral agregat tersebut. Penggunaan 75% limbah kaca menghasilkan sifat saling mengunci yang lebih tinggi sehingga meningkatkan stabilitas dan kekakuan campuran yang berarti bahwa campuran lebih mampu untuk menerima pembebanan. Hasil uji *Marshall immersion* dan *Cantabro loss* menunjukkan bahwa campuran dengan proporsi 75% *filler* limbah kaca dan 25% *filler* abu batu menghasilkan campuran yang lebih tahan terhadap rendaman air sehingga memiliki durabilitas yang lebih tinggi dan lebih tahan terhadap potensi *disintegarsi*. Dan penggunaan 100% *filler* abu batu menghasilkan kinerja campuran yang lebih baik dari 100% *filler* limbah kaca karena sifat limbah kaca yang tidak mampu mengabsorpsi aspal mengakibatkan ikatan yang terjadi pada campuran yang menggunakan *filler* limbah kaca lebih rendah dari campuran yang menggunakan *filler* abu batu.

- b) Miftahul Fauziah dan Fitri Sari Wijayanti (2016) melakukan penelitian mengenai pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap karakteristik campuran aspal porus, berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan dari karakteristik campuran aspal porus dengan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus no.8 dapat disimpulkan bahwa campuran dengan menggunakan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus baik digunakan hingga kurang dari 30% dari total campuran agregat halus No.8 dan mengalami perubahan karakteristik *Marshall* yaitu pada kemampuan campuran menahan beban yang semakin meningkat hingga batas optimum dan menurun setelahnya yaitu pada nilai stabilitas, kemudian nilai *flow*, MQ, VIM, VMA yang mengalami kenaikan hingga batas nilai optimumnya kemudian mengalami penurunan setelahnya dan nilai VFWA dan *density* yang mengalami penurunan namun hingga nilai tertentu mengalami kenaikan setelahnya. Nilai *Cantabro* mengalami penurunan dan kenaikan yang tidak signifikan secara keseluruhan seiring dengan penambahan substitusi kaca ke dalam campuran aspal porus. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tersebut tahan terhadap benturan hingga mencapai nilai optimalnya dan akan kurang tahan terhadap benturan setelah melewati nilai optimumnya. Dan nilai AFD (*Asphalt Flow Down*) mengalami penurunan yang signifikan seiring dengan penambahan proporsi substitusi

kaca ke dalam campuran aspal porus. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tersebut homogen.

- c) Rossian M. Setiawan (2013) melakukan penelitian mengenai komparasi penggunaan *filler* kaca pada campuran HRS dan SMA terhadap karakteristik *Marshall* dan *workabilitas*, hasil analisa nilai *marshall* dan kadar *filler* kaca 0%, 25%, 50%, 75%, 100% menunjukkan bahwa campuran HRS-WC dan SMA 0/11 nilai stabilitas, VFWA, MQ cenderung mengalami kenaikan, sedangkan nilai *flow*, VIM, VMA cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *filler*. Dari hasil analisa diperoleh kadar *filler* optimum sebesar 22,75% untuk campuran HRS-WC dan 31,50% untuk campuran SMA 0/11. Besarnya nilai *workabilitas* berdasarkan tinjauan faktor kepadatan pada campuran HRS-WC dan SMA 0/11 cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar *filler* kaca, sedangkan berdasarkan metode *Cabrera* didapatkan nilai *Workability Index* (WI) yang cenderung mengalami penurunan pada campuran HRS-WC, dan cenderung stabil pada campuran SMA 0/11 seiring dengan bertambahnya kadar *filler* kaca.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen Medan.

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen terhadap beberapa benda uji atau sampel, meliputi pengujian material, pembuatan sampel, dan pengujian *Marshall* dengan panduan standar pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal.

3.3. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal.

1. Agregat kasar dan agregat halus berupa batu pecah.

2. Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 produksi Pertamina.

3. Bahan pengisi (*filler*)

Penelitian ini berupa eksperimen dari penggantian *filler* yang dikombinasikan. Terdapat dua jenis *filler* yang dipakai adalah:

a. Abu batu

Abu batu digunakan sebagai bahan utama *filler*.

b. Botol kaca

Botol kaca digunakan sebagai bahan pengganti *filler*.

1) Sumber bahan

Limbah botol kaca didapat dari limbah/sampah rumah tangga yang dikumpulkan peneliti.

2) Tahap pengolahan

a) Botol kaca dicuci dan dibersihkan untuk memisahkan kotoran yang menempel pada botol lalu dikeringkan.

b) Siapkan alat palu, lesung batu, penggilingan batu dan batu penggiling. Alat-alat tersebut digunakan untuk pengolahan botol kaca hingga menjadi serbuk.

c) Setelah pembersihan dilakukan, botol kaca kemudian dipecahkan dan ditumbuk lalu digiling sampai menjadi serbuk.

d) Setelah botol kaca menjadi serbuk, serbuk kaca disaring dengan saringan no.200. Serbuk botol kaca yang lolos saringan no.200 tersebut akan digunakan sebagai *filler* pada benda uji. Pengolahan limbah botol kaca menjadi serbuk dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Pengolahan Limbah Kaca Menjadi serbuk (*Filler*)

3.4. Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat pemeriksaan agregat, terdiri dari:
 - a. Satu set mesin uji *Los Angeles*.
 - b. Satu set alat uji saringan (terdiri dari ukuran 3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, no.200).
 - c. Satu set mesin getar untuk saringan (*sieve shaker*).
2. Oven dan pengatur suhu.
3. Timbangan.
4. Termometer.
5. Alat pembuat *briquet* campuran aspal hangat terdiri dari :
 - a. Satu set cetakan (*mold*) berbentuk silinder dengan diameter 101,45 mm, tinggi 80 mm lengkap dengan plat atas dan leher sambung.
 - b. Alat penumbuk (*compactor*) yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg (10 lbs), tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18").
 - c. Satu set alat pengangkat *briquet* (dongkrak hidrolis).
6. *Water bath* (bak perendam).
7. Satu set alat *Marshall*, terdiri dari :
 - a. Kepala penekan yang berbentuk lengkung (*Breaking Head*).
 - b. Cincin penguji berkapasitas 2500 kg dengan arloji tekan.
 - c. Arloji penunjuk kelelahan.
8. Alat penunjang lainnya seperti panci, kompor, sendok, spatula, kunci pas, obeng, *roll* kabel, wajan, spidol atau tipe-x.

3.5. Benda Uji

Pada penelitian ini menggunakan benda uji sebanyak 30 buah benda uji untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) dan 6 buah setelah didapat KAO. Adapun tiap persentase *filler* dibuat 2 buah sampel untuk mencari nilai rata-ratanya. Adapun kebutuhan benda uji tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Kebutuhan Benda Uji Untuk Mencari KAO

Kadar Aspal (%)	Jumlah Benda Uji Pada Setiap Komposisi <i>Filler</i>		
	100% abu batu	50% abu batu : 50% limbah kaca	100% limbah kaca
5	2	2	2
5,5	2	2	2
6	2	2	2
6,5	2	2	2
7	2	2	2
Jumlah Benda Uji	30 Buah Benda Uji		

3.6. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan penelitian yang akan dilakukan mulai dari awal sampai akhir. Adapun prosedur penelitian meliputi:

3.6.1. Persiapan

Persiapan yang dilakukan yaitu persiapan bahan dan alat-alat yang digunakan. Persiapan bahan (aspal pen 60/70, agregat kasar, agregat halus, *filler*, limbah kaca) yaitu mendatangkan bahan-bahan yang diperlukan ke Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen Medan dan menyiapkan serta mengecek peralatan tersebut sebelum digunakan.

3.6.2. Pengujian Bahan

Pengujian bahan dilakukan untuk pemeriksaan material yang akan digunakan diantaranya pengujian agregat, pengujian limbah dan pengujian aspal mengikuti prosedur pemeriksaan sesuai standar yang telah ditetapkan.

3.6.3. Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran adalah analisa perhitungan komposisi campuran material agregat dari tiap nomor saringan, sehingga didapat komposisi campuran agregat yang diharapkan. Pemilihan gradasi agregat campuran sangat penting sekali bagi kinerja perkerasan jalan. Untuk itu dalam pemilihan gradasi agregat campuran ini harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

Langkah-langkah dalam merencanakan campuran aspal adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung presentase kombinasi masing-masing agregat terdiri dari tiga fraksi (agregat kasar, agregat halus dan *filler*) tiap kelompok benda uji. Dalam memperoleh presentase gradasi yang ingin digunakan maka akan digunakan Tabel 2.5 Amplop Gradasi Agregat untuk Campuran Aspal (AC-BC).
- b. Menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) dengan menggunakan persamaan 2.1. Bulatkan perkiraan nilai Pb sampai 0,5% terdekat, jika hasil perhitungan diperoleh 5,8% maka dibulatkan menjadi 6%.
- c. Setelah didapat nilai kadar aspal, selanjutnya menghitung berat jenis maksimum (BJ Max) dengan mengambil data dari percobaan berat jenis agregat halus dan agregat kasar.
- d. Jika semua data telah didapatkan, yang dilakukan berikutnya adalah menghitung berat sampel, berat aspal, berat agregat dan menghitung kebutuhan agregat tiap sampel berdasarkan persentase tertahan.

3.6.4. Pembuatan Benda Uji

Pencampuran dilakukan secara manual sesuai prosedur metode *Marshall*. Dengan cetakan (*mold*) berbentuk silinder dengan tinggi standar 65 mm dan diameter 101 mm. pemadatan dilakukan dengan tumbukan tiap sisi (atas dan bawah) dengan menggunakan alat *Marshall Automatic Compactor*. Berikut langkah-langkahnya:

- a. Menimbang agregat sesuai dengan presentase agregat campuran yang telah dihitung. Kemudian keringkan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu $(150 \pm 5)^\circ\text{C}$.
- b. Memanaskan aspal untuk pencampuran, agar temperatur campuran agregat dan aspal tetap maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata.
- c. Setelah temperatur pemadatan tercapai, maka campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan (*mold*) yang telah dipanasi (100°C hingga 170°C) dan diolesi pelumas terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas yang telah dipotong sesuai diameter *mold*, sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali dibagian tepi dan 10 kali dibagian tengah.

- d. Pemadatan standar dilakukan dengan alat *Marshall Automatic Compactor* dengan jumlah tumbukan 75 kali dibagian sisi atas kemudian dibalik dan sisi bagian bawah juga ditumbuk sebanyak 75 kali.
- e. Setelah proses pemadatan selesai, benda uji didiamkan agar suhunya turun. Setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan *ejektor* dan diberi kode.
- f. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm di ke empat sisi benda uji dan ditimbang beratnya di udara.
- g. Benda uji direndam dalam air selama 10-24 jam supaya jenuh.
- h. Setelah jenuh benda uji ditimbang dalam air.
- i. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (*saturate surface dry, SSD*) kemudian ditimbang.

3.6.5. Pengujian dengan Alat *Marshall*

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan stabilitas terhadap *flow* dari campuran aspal sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T-245-9. Berikut langkah-langkah pengujian dengan alat *Marshall*:

- a. Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 30 hingga 40 menit.
- b. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
- c. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam. Letakkan benda uji tepat ditengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian letakkan bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut tepat di tengah alat pembebanan, arloji kelelahan (*flowmeter*) dipasang pada dudukan di atas satu batang penuntun. Dengan catatan bahwa waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari bak perendam ke kepala penekan tidak boleh melebihi 30 detik.
- d. Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan (*flowmeter*) pada angka nol.

- e. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51 mm (2 inch) per menit, dibaca pada saat arloji pmbebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibaca arloji kelelahan (*flowmeter*).
- f. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil, bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan.

3.6.6. Menghitung Parameter *Marshall*

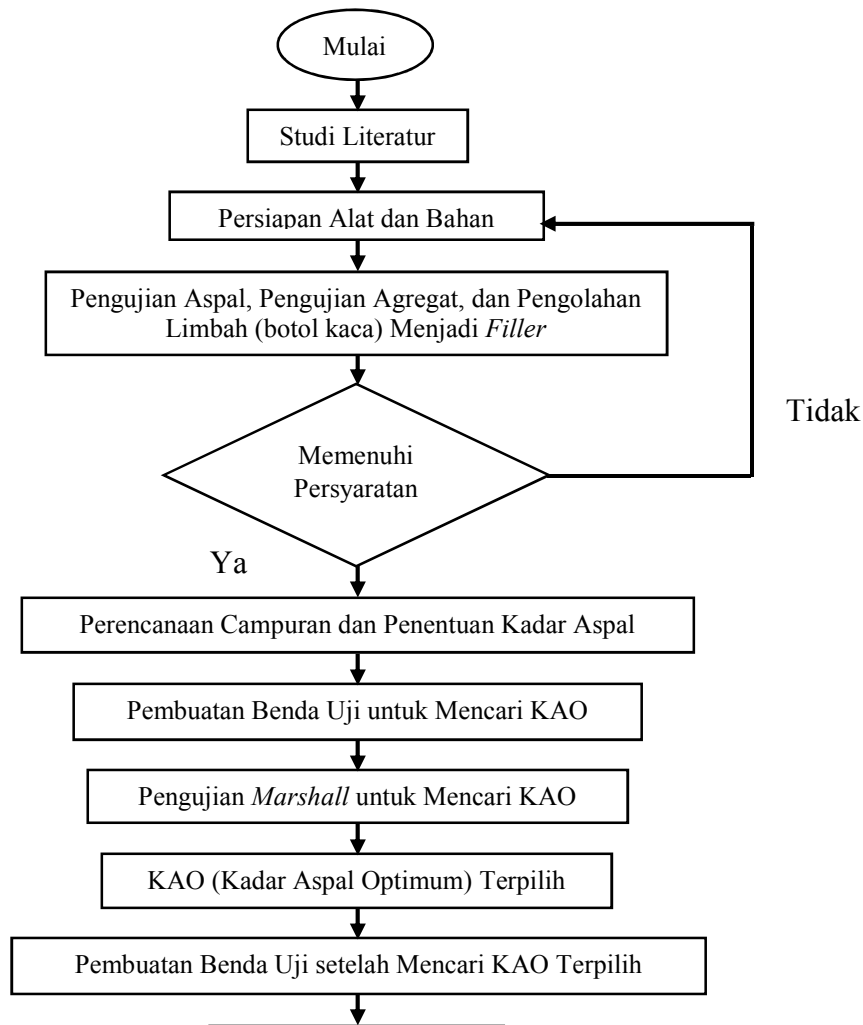
Setelah pengujian dengan alat *Marshall* selesai serta didapatkan nilai stabilitas dan *flow*, kemudian menghitung parameter *Marshall* yaitu VIM, VFA, VMA, dan *Marshall Quotient (MQ)*.

3.6.7. Pembahasan dan Analisa Hasil

Setelah data hasil pengujian diperoleh, maka data tersebut dibuat dalam bentuk tabel dan disajikan dalam bentuk grafik kemudian dilakukan analisa dan perbandingan pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai *filler* terhadap campuran aspal normal.

3.7. Diagram Alur Penelitian

Bagan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian