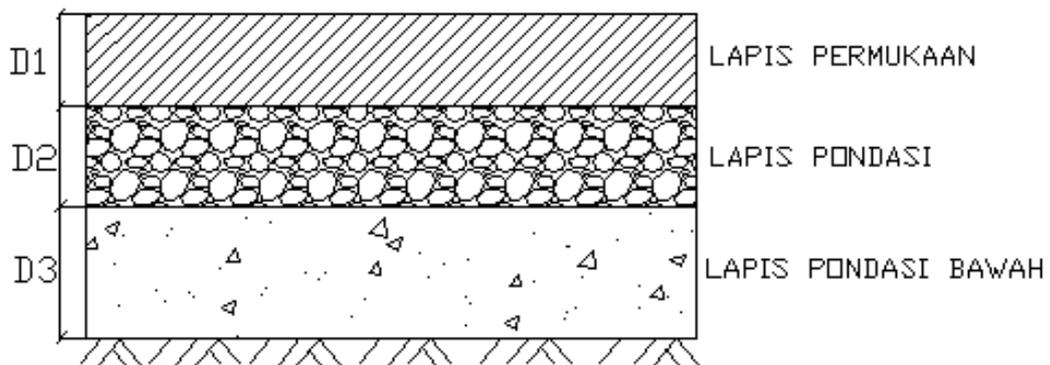


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Flexible Pavement*

Flexible Pavement adalah suatu jenis struktur perkerasan yang memiliki beberapa komponen lapisan penyusun. Setiap lapis penyusun biasanya memakai material dan landasan dasar yang tidak sama dan tergantung pada fungsi dan peruntukannya seperti menyalurkan pembebanan kendaraan lalu lintas seefektif mungkin hingga lapisan tanah dasar dengan kemampuan daya dukungnya dapat bekerja secara optimal. Laston AC-WC ialah komponen perkerasan letaknya pada bagian permukaan jalan yang menggunakan aspal sebagai perekat pengikat antar agregatnya.. Lapisan aus ini memiliki beberapa fungsi yaitu : (1) Melayani pembebanan dari lalu lintas kendaraan, (2) Mencegah kerusakan struktur jalan dari pengaruh cuaca, (3) Memberikan efek kedap air bagi lapisan dibawahnya.



Gambar 2.1. Lapis Perkerasan Jalan Lentur

2.2. **Lapis Aspal Beton**

Aspal beton adalah gabungan yang bersifat satu kesatuan yang tersusun dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal yang berfungsi untuk mengikat agregat dimana agregat tersebut mempunyai gradasi yang bervariasi. Lapis aspal beton atau dikenal juga sebagai lapis permukaan (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), laston sebagai lapisan antara (*Asphalt Concrete-Binder Course*) dan laston sebagai lapis pondasi AC-Base Laston Bina Marga (2007). Laston sendiri tersusun oleh kumpulan material yang memiliki gradasi kasar dan aspal lebih dominan kemudain

dilakukan pencampuran menjadi satu, lalu di *compact* dengan suhu yang cukup tinggi pada *temperature* tertentu, (Sukirman, 2003). Dari fungsinya Laston memiliki 3 Tipe lapisan sebagai berikut :

- AC – Base (*Asphalt Concrete – Base*) sebagai pondasi atau bagian dasar, sering dipakai untuk melakukan peningkatan atau pemeliharaan jalan dengan ketebalan minimum 7,5cm.
- AC – BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*) ialah lapisan beraspal yang terdapat pada bagian bawah dari lapis aus serta di atas dari lapis pondasi dengan tebal minimal 6cm.
- AC – WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) ialah lapisan beraspal yang letaknya berada pada bagian atas dan rentan terhadap *temperature*, cuaca dan pembebanan dari lalu lintas kendaraan, dengan ketebalan minimum 4 cm.

Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010, Menyatakan diameter maksimal agregat tiap lapisan beraspal ialah 19mm, 25,4mm dan 37,5mm adalah spesifikasi untuk *hotmix*, untuk laston (AC) tersusun atas 3 tipe lapisan, yaitu AC-WC, AC-BC dan AC-Base. Beberapa ketentuan dan syarat dari *hotmix* yang sudah ditentukan oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah dengan kerjasama Bina Marga, dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Ketentuan Campuran Beraspal Panas (AC)

Sifat Capuran		LASTON		
		Lapis AUS	Lapis Pengikat	Pondasi
Kadar Aspal Efektif	Min	5,3	4,3	4
Penyerapan Aspal (%)	Maks	1,2		
Jumlah Tumbukan Perbidang		75		112
Rongga Dalam Campuran (VIM)(%)	Min	3,5		
	Maks	5		
Rongga Dalam Agregat (VMA)(%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (VFA)(%)	Min	65	63	60
Stabilitas <i>Marshall</i> (Kg)	Min	800		1800
	Maks			
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
<i>Marshall Quotient</i> (Kg/mm)	Min	250		300
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90		

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal.

2.2.1. Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)

Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) adalah lapisan *pavement* yang berada dibagian teratas yang memiliki permukaan yang rata dan relatif halus. Lapis AC-WC dapat menaikkan durabilitas perkerasan terhadap penurunan kualitas hingga dapat meningkatkan masa pelayanan dari konstruksi *pavement*.

2.3. Aspal

Komponen bahan yang memiliki warna gelap kehitaman atau kecoklatan, pada *temperature* rendah memiliki bentuk padat atau sedikit padat didefinisikan sebagai Aspal, namun jika diberikan suhu tinggi tekstur aspal berubah bentuk hingga lebih mencair yang bisa menutupi dan melapisi campuran bahan ketika waktu pembuatan campuran Laston serta mampu masuk ke bagian dalam agregat melalui pori yang ada pada agregat. Jika *temperature* kembali menurun, ia akan kembali menjadi padat dan menyebabkan agregat menjadi terikat karena telah dilapisi oleh aspal. Aspal atau umumnya disebut bitumen berbahan dasar *hydrocarbon*. Aspal yang sering dipakai saat ini bersumber dari hasil tahap pendestilasian minyak bumi. Namun saat ini telah berbagai perusahaan yang memakai aspal alam bersumber dari pulau Buton di Indonesia.. Aspal semen adalah aspal minyak yang dipakai pada pembangunan jalan adalah hasil residu dari proses pendestilasian minyak bumi. Aspal semen yang memiliki sifat mengikat campuran agregat pada campuran Laston dan menjadikan lapisan kedap air, dan juga mampu menahan efek asam, basa serta garam. Aspal memiliki sifat yang berubah ubah yang diakibatkan oleh adanya perubahan suhu dan juga umur dari aspal itu sendiri, ia akan berubah kearah yang lebih kaku dan juga getas hingga berdampak pada kemampuan ikat yang dimiliki aspal menjadi semakin menurun.

Terdapat beberapa jenis aspal atau bitumen, yakni:

1. Aspal Keras

Aspal keras ialah aspal hasil dari pendestilasian yang memiliki sifat plastis dan dapat berubah menjadi lunak serta menjadi cair apabila diberikan suhu tinggi, serta menjadi keras jika mendapatkan suhu yang rendah.

2. Aspal Cair

Aspal cair ini ialah hasil pelarutan dari aspal keras yang dilarutkan menggunakan

suatu zat pelarut berbahan dasar minyak.

3. Aspal Emulsi

Aspal ini terbuat dari aspal keras yang dilakukan tahapan pengemulsian, di tahapan ini, bagian aspal yang cukup padat kemudian dilakukan penguraian serta pendispersian di dengan menggunakan air.

4. Aspal Alami

Aspal ini adalah terbuat dari alam serta tidak dipengaruhi atau diolah manusia. Campuran beraspal wajib mengikuti persyaratan yang sudah diatur untuk dasar konstruksi struktur jalan. Pada umumnya aspal keras wajib mengikuti spesifikasi yang sudah disyaratkan sebagaimana peraturan dan ketentuan yang berlaku, dapat dilihat persyaratan yang telah di tetapkan pada tabel 2.2. menurut BinaMarga :

Tabel 2.2. Syarat spesifikasi Aspal Keras Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Standar Pengujian	Syarat
1	Penetrasi, 25°C (mm)	SNI 2456:2011	60-70
2	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1
3	Titik Lembek, (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
4	Daktalitas 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5	Viskositas	ASTM D2170 -10	≥ 300

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

Aspal yang sering dipakai untuk konstruksi perkerasan yang terdapat di Indonesia memiliki berbagai fungsi yaitu :

1. Bahan pengikat, yang bersifat mengikat aspal dan agregat yang digunakan didalam campuran beraspal.
2. *Filler*, aspal juga meresap kedalam rongga antar material agregat dan rongga yang terdapat pada agregat.

Aspal memiliki beberapa sifat seperti :

- Ketahanan (*durability*)

Ialah kemampuan dari aspal untuk tidak merubah sifat aslinya terhadap efek dari suhu dan kondisi cuaca. Daya tahan dari aspal dipengaruhi juga oleh sifat dari material, komposisi pencampuran, perlakuan pada saat konstruksi, cuaca dan sebagainya.

- Adhesi serta Kohesi
Aspal bersifat mengikat bahan agregat yang digunakan pada campuran dan terjadi efek *interlocking* yang baik adalah sifat adhesi dari aspal. Aspal juga dapat mengunci agregat yang telah dilapisinya dengan baik sehingga agregat tetap berada pada posisinya ketika aspal mulai mengeras adalah sifat kohesi dari aspal.
- Peka terhadap suhu
Aspal cukup peka dengan perubahan suhu menyebabkannya menjadi komponen yang memiliki sifat *thermoplastis*, bahwa aspal menjadi padat jika suhu rendah serta menjadi lunak ketika diberikan *temperature* yang tinggi.
- Tingkat penetrasi
Dari nilai penetrasinya bisa ditentukan tingkat kekerasan aspal, semakin tinggi angka penetrasi mengindikasikan bahwa aspal tersebut adalah aspal yang cukup lunak dan jika nilai penetrasi semakin kecil maka aspal makin keras..

2.4. Agregat

Daya dukung dari struktur jalan sedikit banyaknya dipengaruhi oleh sifat sifat dasar dari material yang dipakai. Agregat tersusun dari komponen batu pecah, kerikil, pasir dan material lainnya. Agregat adalah bagian penting dari campuran yang akan digunakan untuk konstruksi jalan, serta mempunyai fungsi yang cukup fundamental dalam perancangan perkerasan jalan. Penentuan agregat yang baik dan lolos dari persyaratan akan menjadi penentu kemampuan dan kualitas konstruksi perkerasan jalan. Penggunaan agregat untuk campuran perkerasan terbagi menjadi 2 fraksi secara umum, sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material yang ditahan oleh ayakan nomor 8 atau diameter 2,36mm. Untuk dapat menciptakan efek *interlocking* maka harus digunakan tidak terlalu pipih dan tidak terlalu lonjong serta agregat harus terbebas dari debu maupun sampah organik, kokoh, kering, dan memiliki sudut serta bertekstur kasar. Jika komposisi agregat kasar cukup dominan, akan menyebabkan

campuran tersebut menjadi bersifat permeabel serta menimbulkan rongga antar agregat yang tinggi pula. Jika semakin bertambahnya pori maka daya lekat antar partikel agregat yang ada menjadi rendah serta menyebabkan pengelupasan aspal menjadi lebih cepat. Adapun beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh gregat kasar pada umumnya seperti yang tercantum pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Standar	Nilai
Kekuatan agregat terhadap tumbukan			BS 812: Part3 1975	Maks. 30%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC bergradasi kasar	100 Putaran	SNI 2417: 2008	Maks. 6%
		500 Putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 Putaran		Maks. 8%
		500 Putaran		Maks. 40%
Partikel pipih dan lonjong			ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No.200			SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6

2. Agregat Halus

Agregat ini adalah material yang lolos dari ayakan nomor 8 atau saringan diameter 2,36 mm atau biasanya dapat disebut juga pasir kerana ukuran butir agregat yang cukup halus. Nilai stabilitas dan sifat *interlocking* yang baik dapat di pengaruhi oleh komposisi dan kualitas dari agregat halus. Agregat halus juga memiliki kemampuan untuk menempati ruang kosong di antara butir butir agregat. Adapun beberapa ketentuan yang wajib ikuti untuk agregat halus seperti yang di syaratkan oleh binamarga tercantum pada tabel 2.3.

Tabel 2.4. Nilai Standar Untuk Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Material Lolos Saringan No.200	SNI ASTM C117 : 2012	Maks. 10%
Kadar Lempung	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6

2.5. Gradasi Agregat

Gradasi agregat ialah susunan butir agregat dari ukurannya sesuai ukuran diameter saringan yang digunakan. Ukuran diameter agregat didapatkan dari pengujian analisa saringan. Hasil gradasi didapatkan dalam bentuk presentase agregat yang lolos ayakan, dan juga presentase berat yang ditimbang kemudian dihitung tergantung dengan berat agregat. Terdapat beberapa ketentuan mengenai batasan ukuran untuk variasi gradasi agregat halus bahwa agregat harus di dalam batas - batas tertentu. Oenyebaran dan pembagian dari variasi diameter butir agregat dikenal juga sebagai gradasi agregat. Gradasi dari agregat tersebut yang menjadi penentu besaran nilai dari *Void in Mix* , kemudahan pekerjaan, serta *indeks stability* dari campuran. Adapun beberapa pembagian gradasi agregat adalah sebagai berikut:

1. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Gradasi seragam ialah gradasi material yang memiliki diameter yang saling mendekati. *Uniform graded* atau dikenal juga dengan sebutan *open graded* sebab sedikitnya komposisi agregat halus sehingga menimbulkan nilai pori yang cukup tinggi. Campuran aspal dengan menggunakan *uniform graded* memiliki permeabilitas tinggi serta *stability* yang relatif rendah dan juga menyebabkan bobot campuran yang kecil meskipun memiliki volume yang besar hal itu disebabkan karena *uniform graded* mempunyai *bulk density* yang relatif rendah.

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi yang memiliki variasi sebaran butir yang kompleks, maka dari itu dikenal juga sebagai gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). *admixture* gradasi ini menimbulkan efek yang mampu menahan air yang dianggap dapat merusak, dan juga mempunyai nilai berat volume yang tinggi serta memiliki stabilitas yang rata – rata cukup tinggi.

3. Gradasi senjang (*gap graded*)

Terdapat fraksi yang tidak lengkap di gradasi ini pada diameter butir agregatnya dan terdapat juga beberapa fraksi agregat yang memiliki presentase bobot yang sedikit bahkan tidak ada sama sekali. Kualitas yang dihasilkan dari *gap graded* ini berada diantara *uniform graded* dan *dense graded*.

Bentuk gradasi agregat pada umumnya ditampilkan pada sebuah diagram hubungan antara diameter ayakan dan presentase dari agregat yang tidak tertahan. Variasi sebaran butir fraksi agregat dengan ketentuan yang telah disyaratkan oleh Spesifikasi Umum BinaMarga 2018 seperti yang tercantum pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Variasi Butir Agregat Pada Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos		
		Gradasi Rapat		
(Inch)	(mm)	AC-WC	AC-BC	AC-Base
1 1/2"	37,5			100
1"	25		100	90—100
3/4"	19	100	90—100	76—90
1/2"	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 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.6. Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler adalah bahan pengisi yang merupakan material tidak tertahan dari ayakan nomor 200 atau diameter saringan 0,075 mm. Bahan pengisi memiliki fungsi untuk menekan angka *Void In Mix*, tetapi bobot dari *filler* tetap harus diberi batasan supaya tidak menyebabkan berkurangnya kualitas dari campuran. Pada penelitian kali ini akan digunakan semen *portland* sebagai *filler*. Bahan pengisi atau *filler*

semestinya kering serta tidak ada material yang menggumpal dan bersifat non plastis.

Semen portland adalah material yang tersusun atas gabungan dari kalsium, *silica*, aluminium serta besi di campur dengan komposisi tertentu secara presisi dan beberapa bahan lain dengan komposisi kecil seperti gipsum yang diberikan pada saat tahap pencampuran akhir agar dapat memanipulasi waktu yang diperlukan campuran hingga mencapai *setting time* beton. Pada umumnya campuran ini didominasi oleh komposisi silika dan kapur dengan porsi berkisar 85% dari massa. Material yang umum sering dipakai untuk memproduksi semen adalah batu kapur, kerang, dan marl yang digabungkan dengan tanah liat, *slag*, pasir silika, dan bijih besi.

2.7. Bahan Tambah

Penelitian menggunakan bahan tambah/additive yang telah dilakukan oleh I Nyoman Arya Thanaya dkk (2016), mencoba menghasilkan campuran Laston (AC-WC) dengan memakai aspal dengan nilai penetrasi 60/70 dan dengan dilakukan penambahan epoxy, yang memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik campuran laston AC-WC pada kadar aspal optimum dengan penambahan epoxy dalam sebaran variasi 0% dari KAO, 2% dari KAO, 4% dari AKO, 6% dari KAO, 8% dari KAO, dan 10% dari bobot aspal KAO. Didapatkan bahwa nilai dari Stabilitas dengan nilai 1439,26 kg (≥ 800 kg), flow dengan nilai 3,84 mm (2-4 mm), Marshall Quotient dengan nilai 379,66 kg / mm (≥ 250 kg / mm), VIM dengan nilai 4,437% (3-5%), VMA dengan nilai 15.280% ($\geq 15\%$) dan VFB dengan nilai 70.961 ($\geq 65\%$). Disimpulkan bahwa hasil dari campuran yang mengandung epoxy memiliki stabilitas yang lebih baik.

Adapun penelitian serupa yaitu penelitian campuran aspal dengan penambahan getah pinus menggunakan Metode Marshall dengan percobaan sebanyak 5 kali, dan jumlah benda uji nya sebanyak 3 benda uji dengan nilai sebaran kadar aspalnya ialah 5% aspal, 5,5% aspal, 6% aspal, 6,5% aspal, dan 7% aspal. Untuk analisa dari eksperimen terhadap campuran aspal dengan bahan pengikat getah pohon pinus.

Didapatkan hasil angka stabilitas dengan nilai 1200,5 kg, untuk kelelahan 10,8mm, presentase porositas 18,07%, nilai densitas atau berat isi 2,316 gr/cm³, nilai VMA 34,9 %, nilai VIM 6,5%, nilai VFA 7,5%, dan nilai Marshall Quotient sebesar 91 kg/mm (Prastowo, Doni Setio. 2019).

Modifikasi aspal dengan dilakukan menambahkan serbuk dari serat batang pohon pisang bisa dibuat untuk mengoptimalkan hasil kerja dari aspal murni. Laston AC-WC adalah lapisan flexible pavement yang memiliki fungsi untuk mendistribusikan beban ke arah lapisan bawah dan pondasi. Maka sangat membutuhkan kekuatan, daya tahan dan stabilitas yang baik. Maka dari itu perlu dilakukan modifikasi aspal dengan bubuk dari serat batang pohon pisang yang digunakan untuk salah satu komposisi bahan pengikat yang ada di campuran beton aspal AC - BC. Benda uji aspal beton dibuat 3 (tiga) buah sampel dengan beberapa sebaran kadar aspal sebesar 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; dan 7%. KAO pada campuran didapatkan dari hasil pengecekan volumetrik dari angka VMA, VIM, dan VFA serta penilaian mekanis yaitu stability, kelelahan dan MQ. Output yang dihasilkan dari analisa data menemukan bahwa nilai dari Void In Mix, Stability dan Marshall Quotient cenderung berkurang dengan bertambahnya komposisi aspal modifikasi. Di sisi lain didapatkan bahwa nilai VMA, VFA dan kelelahan cenderung bertambah dengan bertambahnya komposisi aspal modifikasi. Tetapi dari seluruh variasi kadar aspal tersebut diperoleh kadar aspal 5% dan 5,5% yang memenuhi berbagai syarat spesifikasi Laston AC-BC. Agar bisa mendapatkan nilai KAO, menggunakan nilai rata-rata dari kadar aspal yang telah memenuhi syarat. Sehingga aspal beton AC - BC dapat memberikan efek bagi struktur yang lebih maksimal dengan stabilitas dan durabilitas yang optimal pada kadar aspal 5,25% dan untuk komposisi bubuk dari serat batang pohon pisang pada aspal yaitu sebesar 0,1%. (Desi widianty, Dkk. 2018)

Hal ini menunjukkan bahwa bahan tambahan/Additive memiliki pengaruh terhadap perkerasan dalam meningkatkan stabilitas dan durabilitas. Aspal yang memiliki fungsi sebagai bahan pengikat agregat pada campuran laston memiliki posisi yang sangat penting untuk dipertahankan karakteristiknya. Salah satu cara untuk

menstabilkan dan membuat kualitas aspal meningkat dapat memakai bahan tambah (additive). Bahan tambah ialah sebuah bagian yang ditambahkan di luar dari komposisi asli aspal beton yang kemudian dilakukan pencampuran agar bisa menimbulkan dampak yang baik di pada campuran. Telah dilakukan penelitian dan bahkan sangat banyak penelitian dengan memakai additive atau bahan tambah pada campuran laston, dan pada penelitian ini menggunakan epoxy sebagai bahan tambahan, epoxy memiliki tingkat penyusutan yang sangat rendah saat curing sehingga mencegah terjadinya deformasi yang terlalu berlebihan pada campuran perkerasan serta memiliki tingkat kelembaban yang baik sehingga lapis perkerasan tahan terhadap kondisi lembab, sebab lapis perkerasan sangat rentan dengan tingkat kelembaban yang dapat menyebabkan kerusakan pada lapis perkerasan.

2.8. Epoxy

Epoxy adalah bahan *copolymer* yang tersusun oleh dua komponen kimiawi yang tidak sama, yaitu resin dan *hardener*. Untuk *base* nya digunakan resin sedangkan pengeras nya menggunakan *hardener*. Pada bentuk aslinya *epoxy* memiliki tekstur cukup kokoh dan getas, namun ketika dilakukan pengaplikasian akan dicampurkan bahan dengan takaran komposisi untuk mengatur tingkat kekerasan nya sesuai dengan kebutuhannya, mulai dari sisi kekokohannya dan elastisitasnya. (Said Muhammed, 2017). Pada penelitian yang akan dilakukan kali ini akan menggunakan *epoxy* untuk menjadi komposisi bahan *additive* pada aspal modifikasi, hal – hal yang menjadi pertimbangan adalah beberapa kelebihan yang dimiliki *epoxy* yaitu tahan terhadap kelembaban, tahan terhadap penyusutan, dan dapat mengurangi atau meredam getaran yang ditimbulkan oleh suatu pergerakan, hal itu cukup berhubungan dengan kelemahan yang rentan terjadi pada lapis perkerasan terutama pada lapisan *Asphalt Concrete Wearing Course* yang berhubungan langsung dengan getaran, beban kendaraan, dan genangan air.

Epoxy pun sering dimanfaatkan untuk dijadikan bahan pengikat material struktur, *epoxy* juga dapat merekatkan material kayu, beton dan baja. Jenis jenis *epoxy* antara lain :

1. Epoxy Floor Coating

Epoxy floor coating adalah *epoxy resin* dan *polymed* yang dicampur menjadi suatu kesatuan suatu bahan kimia yang bersifat kokoh dan mampu melapisi beton, keramik, kayu, maupun metal.

2. *Epoxy Mortar*

Berfungsi sebagai bahan perbaikan pada bagian lapis luar beton, menjadi pelapis acian untuk konstruksi beton yang membutuhkan perkuatan dan juga sebagai penutup lapisan pada bagian beton yang mengalami kerusakan.

3. *Epoxy Body Coat*

Memiliki fungsi sebagai pelapis untuk menutupi pori, lubang, dan juga keretakan pada struktur beton, pendempulan pada lapisan struktur dinding, bagian *body* kapal, pelat dudukan mesin, kayu, fiber, *body* mobil.

4. *Epoxy Clear*

Memiliki fungsi untuk mengikat cat *finishing* pada beton, memiliki ketahanan yang baik terutama menyerap beban yang ada pada bagian permukaan cat *finishing*, menugrangi dan menahan terjadinya korosi serta pelapukan pada material besi.

2.8.1. *Epoxy Coat*

Epoxy Coat ialah campuran dari resin *epoxy* yang dikombinasikan dengan *hardener*. Kedua bahan tersebut disatukan hingga homogen sesaat sebelum dipergunakan, Pengaplikasian *epoxy coating* dapat berhasil dan bisa juga terjadi kegagalan, sama seperti sifat cat. Namun sedikit berbeda dari cat, penggabungan dari *epoxy* dan bahan pengeras tersebut menyebabkan terjadinya aksi reaktif yang menimbulkan efek *cross-linking* ketika mengeras. Hal itu menjadikan bagian luar cukup kuat dan keras serta memiliki daya tahan yang cukup lama, *epoxy coat* ini juga memberikan perlindungan dari zat kimia yang dapat merusak.



Gambar 2.2. *Epoxy dan hardener*

Kekuatan, daya tahan dan hasil dari lapisan *epoxy* dapat diatur dari kualitas seta bahan dari *epoxy* yang dipakai, (Said Muhammed 2017). Setelah dilakukan pencampuran terdapat batasan waktu dan suhu. Beberapa kelebihan dari *Epoxy coat* yaitu :

1. Ketahanan

epoxy ini telah terbukti ketahanannya yang sudah memiliki standart dari ISO untuk perusahaan jenis industri. Oleh karenanya sekarang banyak perusahaan dan pabrik yang sudah menggunakan *epoxy*. *Epoxy* juga mampu menahan beban dengan tekanan tinggi. Selain ketahanan dalam tekanan *epoxy* tahan terhadap suhu tinggi dan tahan air, lalu *epoxy* juga memiliki ketahanan terhadap bakteri atau kotoran, hal itu menjadikan *epoxy* banyak digunakan di rumah sakit, perusahaan farmasi dan tempa kesehatan lainnya.

2. *Durability*

Epoxy adalah pelapis yang memiliki daya tahan dalam umur pengaplikasian. Pelapis *epoxy* memiliki umur yang cukup panjang dan mampu bertahan selama beberapa tahun tanpa retak ataupun mengelupas. Hal ini disebabkan oleh pelapis *epoxy* yang terbuat dari bahan kimia resin dengan campuran pengeras yang menjadikan kedua bahan tersebut menjadi sebuah senyawa yang kompleks dalam pencampurannya.

3. Protektif

Pelapis *epoxy* juga besifat melindungi dari air, keretakan, minyak, bakteri, atau pun bebrapa zat kimia yang membahayakan. Hal ini dapat menghemat biaya pemeliharaan.

2.9. Metode Pencampuran Aspal

Dalam pencampuran bahan dilakukan secara manual dengan suhu stabil menggunakan *mixer* hingga aspal dan *epoxy* benar – benar tercampur supaya menjadi suatu kesatuan yang baik. kemudian akan dilakukan pengujian kualitas terhadap campuran aspal dan *epoxy* yang telah tercampur dengan baik bersama aspal. Pengujian mutu yang dilakukan yaitu :

- a. Pengujian Titik Lembek dengan metode *Ring and Ball* untuk mengukur seberapa kuat aspal dalam menyerap suhu yang diberikan hingga tidak merubah tekstur aspal menjadi lunak supaya tidak menyebabkan berkurangnya kelekatan dari aspal.



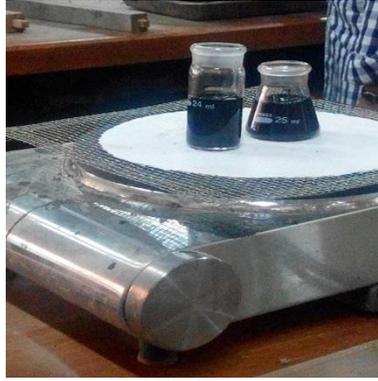
Gambar 2.3. Alat uji Titik Lembek

- b. Uji Penetrasi, pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui seberapa keras aspal yang digunakan dengan mengamati besaran angka yang keluar pada saat jarum melakukan penetrasi ke sampel aspal pada alat uji penetrasi dengan diberikan pembebanan pada 5 detik pertama di suhu 25 derajat *celcius*.



Gambar 2.4. Alat uji Penetrasi Aspal

- c. Uji Berat Jenis, dilakukan untuk mengetahui nilai *density* dari aspal yang dipakai di penelitian ini dengan menggunakan *picnometer*.



Gambar 2.5. Alat uji Berat Jenis Aspal

Binamarga 2018 mensyaratkan beberapa ketentuan untuk pengujian kualitas agar memenuhi ketentuan yang ada.

Apabila pengujian kualitas aspal telah memenuhi persyaratan yang ada, kemudian aspal yang telah di modifikasi dijadikan satu kesatuan dengan agregat panas untuk proses pembuatan benda uji *marshall* dengan suhu yang telah ditentukan dan pencampuran dilakukan secara bersamaan.

- d. Uji Daktilitas, dilakukan untuk mengetahui tingkat kekenyalan dari sampel aspal yang digunakan sebagai bahan pengujian dengan melihat seberapa panjang dari pemuluran yang mampu dicapai oleh aspal hingga sesaat sebelum sampel aspal terputus (pada pengujian ini minimal panjang pemuluran 100 cm) tanpa putus.



Gambar 2.6. Alat Uji Daktilitas

- e. Uji Viskositas, bertujuan untuk mengetahui seberapa kental sampel aspal menggunakan alat saybolt, dari pengujian viskositas ini dapat diketahui suhu yang dipakai saat pencampuran dan suhu yang dipakai pada saat benda uji dipadatkan.



Gambar 2.7. Alat Uji Viskositas

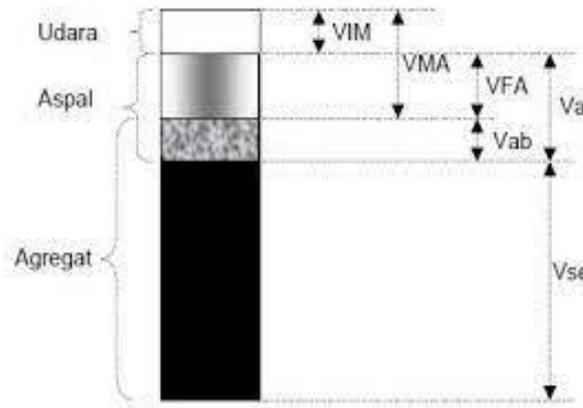
2.9.1. Karakteristik Campuran Aspal

Menurut Tenriajeng (2002) seperti yang tertulis pada buku *Rekayasa Jalan Raya-2*, dinyatakan jika *pavement* adalah campuran antara aspal dan agregat yang berfungsi untuk menahan pembebanan yang disebabkan oleh lalu lintas. Adapun bahan material yang dipakai adalah : batu pecah, batu belah, batu kali, hasil samping peleburan baja. Material pengikat yang dipakai adalah: *asphalt*, *cement*, tanah liat. Menurut pendapat Saodang (2005), struktur perkerasan jalan adalah campuran dari beberapa bahan, yang tiap bahan memiliki tingkat elastisitas yang berbeda.

Asphalt Institute (1997), campuran laston yang berkualitas seharusnya mampu memberikan pelayanan yang berkualitas pula selama umur perencanaan yang dipengaruhi oleh keadaan geografis, dan seharusnya sifat dasar dari campuran seperti stabilitas, daya tahan, *impermeability*, *workability*, *flexibility*, *fatigue resistance*, dan *skid resistance* yang baik dimiliki oleh *hotmix* laston. Dikutip dari Departemen Pekerjaan Umum (2014:6-28), untuk tipe campuran laston atau yang dikenal juga *asphalt concrete* tersusun atas beberapa tipe campuran AC-WC, AC-BC dan AC *Base*. Campuran aspal beton (AC-WC) adalah bagian dari perkerasan jalan yang letaknya berada diatas lapis lainnya yang berhadapan langsung dengan roda kendaraan, dengan bentuk permukaan yang lebih halus dari lapis bawahnya serta mampu memberikan daya dukung dan memberikan efek kedap air yang berguna untuk menjaga lapisan dibawahnya dari air.

2.10. Metode Marshall

Metode marshall ditemukan oleh Bruce Marshall yang di standarisasi oleh AASHTO dan ASTM sebagai landasan perancangan campuran dengan dilakukan beberapa modifikasi, seperti ASTM-D 1559-76, atau AASHTO T-245-90.



Gambar 2.7. Skematis Volume Aspal Beton

Adapun prinsip teori yang digunakan pada metode *Marshall* ialah pengecekan nilai *stability* dan *flow*, dan menganalisis rongga udara yang ada pada campuran. Alat pengujian *Marshall* adalah alat pembebanan yang dibekali dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN (5000 lbs) dan *flowmeter*. *Proving ring* berfungsi untuk mengukur nilai dari stabilitas serta *flowmeter* berfungsi untuk mengukur angka kelelahan. Sampel *Marshall* memiliki bentuk silinder.

2.10.1. Uji Marshall

Mold yang digunakan untuk benda uji standar berbentuk silinder berdiameter 10,16 cm dengan tinggi 7 cm. kemudian dipadatkan dengan alat pemadat benda uji yaitu *Marshall Compaction Hammer* berbentuk seperti penumbuk yang memiliki permukaan rata dengan bentuk silinder dan diameternya 9,8 cm, dengan berat 4,54 kg, proses penumbukan dilakukan dengan cara menjatuhkan alah penumbuk dari ketinggian 45,7 cm yang diberi beban dan kecepatan konstan sebesar 50 mm/menit



Gambar 2.8. Alat uji *Marshall*

Pada Spesifikasi umum BinaMarga 2018 terdapat ketentuan yang mengatur jumlah tumbukan yang dilakukan untuk memadatkan campuran aspal beton yaitu sebanyak 75 tumbukan dibagian atas dan 75 tumbukan pada bagian bawah dengan total 150 tumbukan untuk 1 sampel benda uji.

2.10.2. Parameter Uji *Marshall*

Beberapa parameter yang ada pada pengujian *marshall* yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

1. Stabilitas

Sifat kohesi adhesi, nilai penetrasi, kadar aspal dalam campuran, gesekan (*internal friction*), efek *interlocking* dari material agregat, bentuk agregat, tekstur permukaan dan gradasi agregat menjadi penentu nilai dari stabilitas. Nilai stabilitas didapatkan pada saat pengujian *marshall* dengan cara membaca dial stabilitas pada alat uji. Jika nilai pada dial terlalu tinggi mengindikasikan bahwa benda uji bersifat sangat kaku dan getas yang akan berpengaruh terhadap keawetan dari campuran.

Untuk mendapatkan nilai stabilitas yang tinggi bisa menggunakan :

1. Material yang bergradasi yang rapat (*dense graded*).
2. Material yang memiliki permukaan kasar.
3. Aspal yang memiliki angka penetrasi rendah.

Penggunaan bahan material yang mempunyai gradasi baik atau bergradasi rapat akan mengurangi rongga didalam campuran (*Void In Mineral Aggregate*) agar menghasilkan stabilitas yang tinggi, dan juga menggunakan komposisi aspal yang rendah sebagai bahan pengikat agregat. Jika nilai *Void In Mineral*

Agregate (VMA) terlalu kecil akan menyebabkan aspal yang tipis. *Film* (selimut) jika selimut aspal tipis akan mengakibatkan aspal dan lapisan tidak mampu memberikan efek kedap air, mempermudah terjadinya oksidasi, yang menyebabkan jalan akan menjadi cepat rusak. Jika penggunaan aspal terlalu banyak maka aspal tidak dapat menyelimuti agregat seperti seharusnya (karena VMA kecil) serta menciptakan rongga pada campuran *Void In The Mix* (VIM) yang kecil. Hal itu menyebabkan lapisan aspal akan naik ke bagian permukaan pada saat diberikan beban lalu lintas atau disebut dengan istilah *bleeding* (penggumpalan pada aspal dipermukaan perkerasan). Berikut adalah persamaan untuk mendapatkan nilai stabilitas.

$$S = q \times p \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

S = Nilai stabilitas setelah dihitung berdasarkan kalibrasi alat dan angka korelasi beban

P = Nilai yang dilihat pada dial stabilitas dan dikalikan dengan angka kalibrasi alat yang digunakan.

q = Angka korelasi beban. (SNI 06 - 2489 – 1991)

2. Kelelahan (*flow*)

Departemen Pekerjaan Umum (1987) menyimpulkan bahwa kelelahan ialah besarnya perubahan fisik atau deformasi dari suatu sampel campuran beraspal dan disebabkan karena pembebanan hingga mencapai titik keruntuhan, *flow* ditulis dengan satuan panjang. Seperti halnya stabilitas, nilai *flow* dihasilkan dengan cara membaca dial pada alat *marshall* pada saat dilakukan pengujian. Sebuah campel dengan tingkat kelelahan rendah memiliki sifat yang kaku dan gampang mengalami keretakan pada masa layannya, namun bilai nilai *flow* semakin bertambah hal itu mengindikasikan bahwa campuran tersebut terlalu plastis atau lentur yang menyebabkan perkerasan rentan mengalami deformasi pada saat diberi beban lalu lintas.

3. *Marshall Quotient (MQ)*

MQ ialah nilai yang menunjukkan tingkat kekakuan dan tingkat fleksibilitas dari campuran, nilai MQ dihasilkan dari perhitungan antara nilai stabilitas dan nilai kelelahan (*flow*). Jika nilai dari *Marshall Quotient* cukup besar maka akan semakin besar pula tingkat kekakuan dari suatu campuran yang menyebabkan keretakan menjadi mudah terjadi pada campuran tersebut, namun jika nilai MQ sangat rendah maka perkerasan menjadi lemur. Angka MQ didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.2.

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)
- S = Nilai stabilitas yang telah terkoreksi (kg)
- F = Nilai dari pembacaan dial *flow* (mm)

4. *Void In Mix (VIM)* yaitu persentase volume dari rongga udara yang ada didalam campuran aspal yang dengan bilangan desimal satu angka dibelakang koma.

$$VIM = 100 - \left(100 \times \frac{bj \text{ bulk}}{bj \text{ teori maks}} \right) \dots\dots\dots (2.3)$$

5. *Void In Mineral Aggregate (VMA)* yaitu presentase dari ruang rongga yang terdapat diantara material agregat, termasuk rongga udara serta volume aspal efektif.

$$VMA = 100 - \left(\frac{bj \text{ bulk} \times (100 - \text{Kadar Aspal})}{bj \text{ teori agregat gabungan}} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

6. *Void Filled With Asphlat (VFA)* yaitu persentase rongga yang terdapat diantara campuran material (VFA) yang dapat diisi oleh aspal, namun bukan aspal yang terserap dengan bahan material.

$$VFA = \frac{100 \times (VMA - bj \text{ teori maks})}{VMA} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.11. Penelitian Terdahulu

Tabel 2.6 Hasil Penelitian Apal Modifikasi

No	Di teliti oleh	Penelitian	Maksud dan tujuan	Metode yang dipakai	Hasil Penelitian
1	I Gde Wikarga (2017)	Analisis Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin Dengan Epoxy Sebagai Bahan Tambah	<ul style="list-style-type: none"> • Mengamati sifat CAED menggunakan bahan tambah epoxy. • Mengetahui tingkat kekakuan CAED. 	<ul style="list-style-type: none"> • Metode analisis yang digunakan adalah melakukan pengecekan mutu bahan, kemudian menentukan gradasi yang tepat untuk digunakan. Setelah didapat komposisi campuran, dapat ditentukan estimasi Kadar Residu Aspal Emulsi (KRAE) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pada penambahan kadar epoxy 1% dan 3% telah mencapai syarat, tetapi pada kadar 6% belum memenuhi syarat disebabkan nilai porositas sebesar 17,83% (yang disyaratkan. 5%-10%). Didapatkan nilai sebesar 1177,02 kg dan 1416,47 kg untuk stabilitas rendaman CAED tanpa dan dengan 3% epoxy. Diketahui bahwa pada 3 % epoxy bisa menghasilkan stabilitas sebesar 20%. • Untuk pengecekan nilai kekakuan CAED 0% epoxy dan CAED 3% epoxy didapatkan angka sebesar 1854 MPa: 959 MPa (-48,27%); dari angka tersebut mengindikasikan bahwa angka kekakuan terbesar dihasilkan pada CAED tanpa epoxy. Hal itu disebabkan oleh tingkat kepadatan yang tinggi serta porositas yang relatif rendah.
2	Prastowo, Doni Setio (2019)	<i>Analisis Perbandingan Penggunaan Aspal Murni</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mengetahui karakteristik nilai uji marshall, dengan 	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan Metode Uji Marshall 	<ul style="list-style-type: none"> • Didapatkan hasil dengan nilai stabilitas yaitu 1200,5 kg, kemudian untuk <i>flow</i> sebesar 10,8 mm, nilai dari porositas sebesar 18,07%, nilai densitas atau berat

		<p><i>Dengan Aspal Modifikasi Dicampur Getah Pohon Pinus.</i></p>	<p>menggunakan aspal murni.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mengetahui karakteristik nilai uji marshall, dengan menggunakan aspal yang di campur getah pinus. • Membandingkan sifat karakteristik Marshall, dengan aspal <i>unmodified</i> dan aspal yang diberikan getah pohon pinus sebagai bahan tambahnya. 		<p>isi 2,316 gr/ cm³, nilai VMA 34,9 %, nilai VIM 6,5%, nilai VFA 7,5%, dan nilai MQ 91 kg/mm.</p>
--	--	---	---	--	---

3	I Nyoman Arya Thanaya, I Gusti Raka Puranto, I Nyoman Sapta Nugraha. (2016)	Analisa Karakteristik Campuran LAston (AC-WC) memakai Aspal dengan nilai penetrasi 60/70 denga <i>epoxy</i> sebagai bahan tambah.	<ul style="list-style-type: none"> • Mengoptimalkan kemampuan campuran aspal untukperkerasan. • Mengetahui karakteristik nilai uji marshall, dengan menggunakan aspal yang di campur <i>Epoxy</i>. • Pengaruh penambahan <i>Epoxy</i> bagi sifat campuran aspal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode <i>marshall</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • penambahan <i>epoxy</i> pada komposisi aspal menimbulkan efek yang baik ditunjukkan dari nilai stabilitas Marshall yang meningkat, nilai flow semakin besar, <i>Marshall Quotient</i> semakin baik, untuk nilai VIM menjadi rendah, nilai VMA menjadi turun serta nilai VFB yang semakin tinggi. Dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada campuran dengan kadar <i>epoxy</i> 8% dari total bobot aspal, dengan nilai stabilitas yang didapatkan sebesar 1658,00 kg. • Pada penambahan 4% <i>epoxy</i> ketahanan campuran terhadap deformasi meningkat.
---	---	--	---	--	--

4	Desi Widianty, Mudji Wahyudi, Agustono Setiawan (2018)	Kinerja Campuran Beton Aspal Wearing Course Dengan Tambahan Serbuk Serat Pelepah Batang Pisang	<ul style="list-style-type: none"> • Mengetahui karakteristik nilai uji marshall, dengan menggunakan aspal yang di beri tambahan serat pelepah batang pisang. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan Metode Uji Marshall 	<ul style="list-style-type: none"> • Dengan menambahkan 0,1% bubuk serat dari batang pohon pisang sebagai bahan tambah campuran beraspal AC-WC didapatkan bahwa nilai VMA dan VIM menjadi semakin berkurang apabila komposisi aspal modifikasi bertambah. • Dengan menambahkan 0,1% bubuk serat dari batang pohon pisang sebagai bahan tambah campuran pada aspal modified akan menghasilkan nilai flow semakin menurun jika komposisi kadar aspal modifikasi yang digunakan bertambah. Untuk kadar aspal yang memenuhi persyaratan <i>flow</i> hanya pada kadar aspal 5% dan 5,5%. Sedangkan dari hasil pengecekan volumetrik dan mekanis didapatkan kadar aspal optimum sebesar 5,5%.
---	--	--	--	---	---