

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berjalannya perkembangan teknologi, banyak inovasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi kerusakan jalan yaitu dengan menaikkan mutu aspal yang dapat dilakukan dengan menambahkan bahan tambah *additive* ke dalam campuran aspal. Campuran pada aspal dapat juga dimodifikasi dengan menambahkan beberapa bahan tambah atau zat *additive* seperti bahan kimia, dan sisa limbah. Banyak material-material limbah di alam yang merupakan hasil produk lokal dan juga lebih mudah diperoleh serta lebih ekonomis yang dapat digunakan sebagai bahan tambah untuk campuran aspal beton yang dapat meningkatkan kinerja seperti stabilitas dan durabilitas. Daya dukung penerimaan beban yang besar serta biaya konstruksi dan pemeliharannya yang ekonomis menjadikan jenis perkerasan ini sebagai andalan dalam konstruksi jalan. Struktur perkerasan jalan dirancang menggunakan material yang dapat menghasilkan nilai stabilitas tinggi guna mencegah kerusakan pada jalan (Pinem dkk, 2022).

Adapun upaya untuk menginovasi campuran beraspal adalah menggunakan limbah tetes tebu sebagai bahan pengganti sebagian aspal. Limbah tetes tebu di Indonesia, khususnya di Sukoharjo hanya digunakan sebagai campuran pakan ternak serta bahan baku industri pembuatan *alkohol*, selain itu tetes tebu mengandung Barix 88,6 barix, Polarisasi dan Hk 31,82%-28,35%, Kadar Sukrosa 35,53%, Kadar Gula Reduksi 18,63%, Kadar Abu 7,73%, penelitian untuk mengetahui penggunaan tetes tebu belum terlalu banyak digunakan sebagai bahan tambah pada campuran aspal.

Tetes tebu (*molasses*) merupakan produk sampingan dari industri pengolahan gula tebu atau gula bit yang masih mengandung gula dan asam-asam organik. Molase yang hasil dari industri gula tebu di Indonesia dikenal dengan nama tetes tebu. Kandungan sukrosa dalam *molasses* cukup tinggi, berkisar 48-55% sehingga dapat digunakan sebagai sumber yang baik untuk pembuatan *etanol*. *Molasses*

berbentuk cairan kental berwarna coklat ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku etanol, alkohol (Kurniawan dkk, 2019).

Penggunaan bahan limbah beton pada konstruksi jalan dapat menghemat sumber daya alam dan biaya dibandingkan dengan pekerjaan konstruksi yang menggunakan bahan baru serta perlu dilakukan pengembangan teknologi infrastruktur jalan dengan mendaur ulang limbah beton sebagai agregat kasar dan agregat halus dalam konstruksi jalan. Limbah beton di daur ulang menjadi agregat yang dilakukan dengan cara menghancurkan limbah beton menjadi bagian-bagian yang lebih kecil sehingga dihasilkan agregat dari daur ulang limbah beton Yanti dkk, (2021). Menurut SNI 2847:2013, beton didefinisikan sebagai campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah (*admixture* atau *additive*).

Menurut Kurniawan dkk (2019) penambahan tetes tebu pada aspal beton menghasilkan nilai stabilitas masing-masing penurunannya dengan penambahan tetes tebu yaitu 5% sebesar 880 kg, 10% sebesar 517 kg, 15% sebesar 457 kg. Hasil volume rongga udara terhadap campuran (VIM) dengan kadar 5%, 10% dan 15% yaitu 8,68%, 8,52%, dan 7,52%. Hasil volume pori antara butir agregat (VMA) dengan kadar 5%, 10% dan 15% yaitu antara lain 27,40 %, 27,27 %, dan 26,47 %. Hasil volume pori antara butir agregat yang terisi aspal (VFB) dengan kadar 5%, 10% dan 15% yaitu antara lain 74,67%, 76,96%, dan 71,58%. Hasil Marshall Quotient (MQ) dengan kadar 5%, 10% dan 15% Marshall Quotient (MQ) yaitu antara lain 395 kg/mm, 293 kg/mm, dan 817 kg/mm.

Menurut penelitian Yulianti (2019) dengan menambahkan tetes tebu pada campuran *Asphalt Treated Base* (ATB) yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas campuran aspal. Skripsi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan limbah tetes tebu ditinjau dari karakteristik *Marshall Test* dengan menggunakan kadar aspal, yakni 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% dan kadar penambahan tetes tebu yang digunakan yakni 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari berat keseluruhan benda uji, masing-masing benda uji terdiri dari 5 sampel. Material

seperti agregat batu pecah diambil dari Desa Bagu Kecamatan Pasirian Kabupaten Lumajang untuk limbah tetes tebu berasal dari Pabrik Gula Kebon Agung Kecamatan Pakisaji Kabupaten Malang. Dari pengujian tersebut didapat nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,3% dan nilai optimum tetes tebu sebesar 4,97% dengan nilai parameter *Marshall Test* sebagai berikut: Stabilitas (949,341 kg), Flow (3,44 mm), VIM (4,59%), VMA (16,7%), MQ (270,99 kg/mm), VFA (72,47%) dan IP (91,39%). Hasil parameter Marshall Test tersebut masih berada pada syarat minimum dan maksimum yang ditentukan pada Spesifikasi Umum Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur 2018. Untuk pengujian hipotesis parameter *marshall test* seperti stabilitas, *flow*, dan MQ terdapat pengaruh akibat penambahan tetes tebu dan untuk VIM, VMA, VFA tidak terdapat pengaruh akibat penambahan tetes tebu.

Hasil penelitian Damianus (2021) menunjukkan bahwa hasil pengujian karakteristik campuran *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) yang menggunakan bahan tambah limbah tetes tebu melalui pengujian *Marshall Konvensional* telah memenuhi Standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Nilai Stabilitas *Marshall Sisa* yang di peroleh melalui pengujian *Marshall Immertion* yaitu sebesar 95,06% dimana nilai dari Stabilitas *Marshall Sisa* telah memenuhi Standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu minimal 90% Pengaruh adanya penambahan limbah tetes tebu dapat meningkatkan kinerja campuran *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC), membuat rongga pada campuran menjadi kecil sehingga campuran kuat dan stabil tahan terhadap beban lalu lintas.

Menurut Sidi, M. P dkk, (2020) material penyusun perkerasan jalan raya membutuhkan batuan sumber daya alam yang sangat besar dengan jumlah sumber daya alam yang terbatas, limbah beton sebagai salah satu alternatif pengganti agregat maupun *filler* dari campuran perkerasan sangat mungkin digunakan. Memanfaatkan material limbah beton yang selama ini hanya dimanfaatkan sebagai bahan urugan akan menguntungkan bagi kita. Sehingga limbah beton dapat digunakan kembali dengan nilai ekonomis yang lebih tinggi. Metode penelitian yang akan digunakan adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium.

sedangkan penelitian pendahuluan yang digunakan adalah variasi kadar aspal 5,5%, 6% dan 6,5%. Sampel benda uji yang dibuat berjumlah 5 benda uji tiap kadar aspal dan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,89% pada agregat alami dan 5,94% pada limbah beton kemudian di variasikan dengan campuran 25% alami 75% limbah, 50% alami 50% limbah dan 75% alami 25% limbah. Penelitian dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang. Hasil pengujian mendapatkan variasi yang terbaik pada variasi 29%. Dari variasi tersebut didapatkan nilai Stabilitas 1093,7 kg, Flow 3,31%, VIM 4,09%, VMA 16,36%, Marshall Quotient 328,73 kg/mm, VFA 74,96%. Semua hasil pengujian pada variasi memenuhi persyaratan spesifikasi AC–WC yang telah ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018.

Berdasarkan latar belakang sebelumnya, maka penulis ingin melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik *marshall* dengan menambahkan tetes tebu (*molasses*) serta limbah beton sebagai pengganti *filler* pada campuran Laston AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Coarse*). Oleh karena itu penulis memilih judul penelitian “ANALISIS PENGARUH TETES TEBU (*Molasses*) SEBAGAI CAMPURAN ASPAL dan LIMBAH BETON SEBAGAI PENGGANTI FILLER PADA CAMPURAN AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Coarse*)”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yaitu:

1. Bagaimana pengaruh tetes tebu (*molasses*) pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) terhadap karakteristik *marshall*?
2. Apakah penambahan bahan pengganti sebagian aspal dengan menggunakan *molasses* dan pengisi (*filler*) menggunakan limbah beton memenuhi spesifikasi bina marga?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yaitu:

1. Mengetahui pengaruh tetes tebu (*molasses*) pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) terhadap karakteristik *marshall*?
2. Mengetahui penambahan bahan pengganti sebagian aspal dengan menggunakan *molasses* dan pengisi (*filler*) menggunakan limbah beton memenuhi spesifikasi bina marga?

1.4 Batasan Masalah

Gunamempermudah pembahasan penulisan maka penulis memberikan batasan masalah, sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo.
2. Agregat menggunakan 3 (tiga) fraksi yaitu CA, MA, FA sesuai dengan spesifikasi bina marga.
3. *Filler* (bahan pengisi) menggunakan limbah beton.
4. Tetes tebu yang digunakan, diambil dari sekitar Kabupaten Sukoharjo serta limbah beton dimabil dari *Site Plant* PT. Merak Jaya Beton, *Site Plant* Pembangunan Bendungan Jlantah Karanganyar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan sebuah konstruksi yang terletak di atas tanah dasar (Maharani, 2018). Lapisan struktur perkerasan jalan memiliki karakteristik kuat, tebal, dan stabil untuk bisa menyebarkan beban kendaraan yang melalui lapis permukaan sampai ke tanah dasar (Ilmi, 2021). Perkerasan jalan memiliki bahan pembentuk campuran antar agregat, serta memiliki bahan pengikat yang digunakan untuk menerima beban lalu lintas. Agregat yang digunakan dalam perkerasan jalan meliputi, batu pecah, batu belah, batu kali, dan hasil dari peleburan baja. Sedangkan bahan pengikat yang digunakan yaitu, aspal, semen, dan tanah liat (Tentiajeng, 2002).

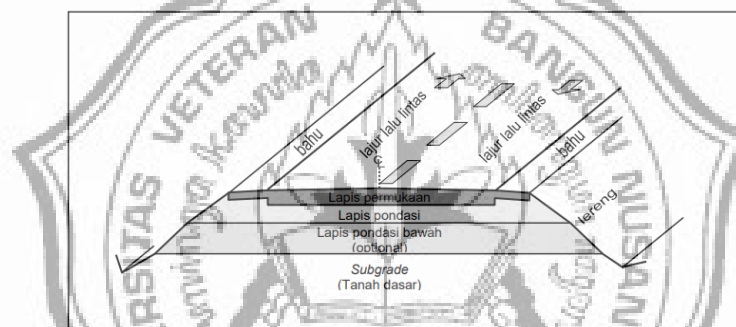
Konstruksi perkerasan jalan menurut Sukirman (1999) dibedakan menjadi 3 (tiga) jenis, yaitu:

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Fleksibel Pavement*), merupakan konstruksi perkerasan yang menggunakan bahan pengikat aspal. Lapisan-lapisan pada perkerasan ini berfungsi untuk menahan dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), adalah konstruksi perkerasan yang bahan pengikatnya menggunakan semen (*portland cement*). Fungsi plat beton pada konstruksi perkerasan ini adalah untuk memikul sebagian beban lalu lintas.
3. Konstruksi Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*), yaitu kombinasi dari perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan lentur (*fleksibel pavement*).

2.2 Perkerasan Lentur

Konstruksi Perkerasan Lentur (*Fleksibel Pavement*) adalah konstruksi perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai pengikat. Lapisan perkerasannya memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke setiap lapisan di bawahnya. Struktur

Konstruksi Perkerasan Lentur (*Fleksibel Pavement*) adalah konstruksi perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai pengikat. Lapisan perkerasannya memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke setiap lapisan di bawahnya. Struktur perkerasan lentur (*fleksibel pavement*) terdiri dari beberapa lapisan yang setiap lapisan akan menerima beban, semakin rendah lapisan perkerasan lentur (*fleksibel pavement*) maka semakin sedikit pula beban yang ditahan (Simatupang, 2021). Perkerasan lentur (*fleksibel pavement*) baik digunakan untuk jalan yang beban lalu lintasnya ringan sampai sedang, seperti jalan perkotaan, jalan dengan sistem utilitas terletak di bawah permukaan jalan, perkerasan bahu jalan, ataupun perkerasan dengan konstruksi bertahap. Adapun pada Gambar 2.1 menunjukkan struktur perkerasan lentur.



Gambar 2.1 Struktur Perkerasan Lentur (*Fleksibel Pavement*) (Silvia Sukirman, 1999).

Tenriajeng (2003) menjelaskan bahwa konstruksi perkerasan lentur (*fleksibel pavement*) memiliki beberapa lapisan, antara lain:

1. Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan (*surface course*) adalah bagian lapis perkerasan yang paling atas.

2. Pondasi Atas (*Base Course*)

Pondasi atas (*base course*) merupakan lapisan perkerasan yang terletak antara lapis permukaan (*surface course*) dengan lapis pondasi bawah (*sub-base course*).

3. Lapis Pondasi Bawah (*Sub-Base Course*)

Lapis pondasi bawah (*sub-base course*) adalah lapisan yang terletak di atas tanah dasar (*subgrade*) dan di bawah pondasi atas (*base course*).

4. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar (*subgrade*) merupakan lapisan paling bawah berupa permukaan tanah semula atau permukaan tanah timbunan atau permukaan tanah galian yang telah dipadatkan sebagai dasar untuk perletakan lapisan perkerasan di atasnya.

Jenis perkerasan lentur yang umum digunakan di Indonesia Tenriajeng (2003), memiliki beberapa lapisan antara lain:

1. Burtu (taburan aspal satu lapis)

Burtu sebagai lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi 1 (satu) lapisan agregat bergradasi seragam dengan maksimal ketebalan 2 cm.

2. Burda (taburan aspal dua lapis)

Burda sebagai lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi 2 (dua) lapisan agregat bergradasi seragam secara berurutan dengan maksimal ketebalan 3,5 cm.

3. Latasir (lapis tipis aspal pasir)

Latasir sebagai lapis penutup yang terdiri dari campuran lapisan aspal dan agregat halus (pasir alam) bergradasi menerus yang kemudian dihampar dan dipadatkan dengan tebal 1-2 cm dengan suhu tertentu.

4. Buras (taburan aspal)

Buras sebagai lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal dan taburan agregat halus (pasir alam) dengan ukuran maksimum agregat 3/8".

5. Lapen (lapis penetrasi)

Lapen sebagai lapis perkerasan yang pembentuknya terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi seragam dan terbuka yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat dengan proses penyemprotan yang kemudian dipadatkan dengan tebal satu lapisan 4-10 cm.

6. Lasbutag (lapisan asbuton agregat)

Lasbutag merupakan lapisan yang terdiri dari campuran asbuton serta bahan pelunak dengan perbandingan tertentu yang pencampurannya dilakukan dalam keadaan dingin dengan tebal lapisan 3-5 cm.

7. Latasbun (lapis tipis asbuton murni)

Latasbun sebagai bahan penutup yang terdiri dari campuran asbuton serta bahan pelunak dengan perbandingan tertentu yang pencampurannya dilakukan dalam keadaan dingin dengan tebal lapisan 1 cm.

8. Lataston (lapis tipis aspal beton) atau *Hot Rolled Streets (HRS)*

Lataston sebagai lapisan penutup yang pembentuknya terdiri dari campuran antara agregat bergradasi menerus dan bahan pengisi (*filler*) serta aspal panas dengan perbandingan tertentu yang kemudian dicampurkan dan dipadatkan dengan tebal pemadatan 2,5-3 cm.

9. Laston (lapis aspal beton)

Laston merupakan lapisan yang terdiri dari campuran aspal keras (*asphalt concrete*) dan agregat dengan gradasi menerus dengan perbandingan dan suhu tertentu yang kemudian dicampur dan dipadatkan. Laston berfungsi sebagai lapis permukaan structural dan juga lapis pondasi, (*asphalt concrete base* atau *asphalt treated base*).

Laston (lapis aspal beton) / *Asphalt Concrete (AC)* memiliki 3 (tiga) struktur lapisan, sebagai berikut:

1. Laston Lapis Aus AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*)

Merupakan lapis perkerasan yang terletak paling atas yang berfungsi sebagai lapisan keausan. Lapisan ini dapat meningkatkan ketahanan struktur perkerasan terhadap penurunan kualitas perkerasan serta dapat meningkatkan umur perkerasan. Tebal minimum lapisan ini yaitu 4 cm dengan toleransi ketebalan -3,0 cm.

2. Laston Lapis Pengikat AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*)

Merupakan lapis perkerasan yang berada di tengah pada struktur lapisan laston yaitu terletak di bawah lapis aus AC-WC dan di atas lapis pondasi AC-Base. Lapisan ini berfungsi untuk mengurangi tegangan/regangan yang dihasilkan dari beban lalu lintas yang kemudian disalurkan ke lapis yang ada di bawahnya (AC-Base dan *Sub Grade*). Lapis Pengikat AC-BC harus memiliki ketebalan minimal 5 cm.

3. Laston Lapis Pondasi AC-Base (*Asphalt Concrete Base*)

Merupakan lapis perkerasan yang terletak paling bawah, terletak di bawah lapis pengikat AC-BC di atas tanah dasar (*sub grade*). Lapisan ini berfungsi sebagai penopang lapisan yang ada di atasnya (lapis aus AC-WC dan lapis pengikat AC-BC) berupa pengurangan tegangan/regangan dan menyebarkan serta meneruskan beban yang dihasilkan dari lalu lintas ke tanah dasar (*sub grade*). Berikut adalah tabel spesifikasi aspal beton menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 bisa dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Spesifikasi Aspal Beton

Sifat-sifat campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang	Min	75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Max	0,6		
	Min	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3		
	Max	5		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas aspal (kg)	Min	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Max	4		6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 0 °C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2		

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018.

2.3 Aspal

Aspal merupakan suatu cairan berbentuk padat atau lekat yang terdiri dari hydrocarbons ataupun turunannya, dapat larut dalam *trichloroethylene* dan memiliki sifat tidak mudah menguap serta lunak apabila dipanaskan secara bertahap (Khairani, 2018).

Menurut Sukirman (2016) menjelaskan bahwa aspal bersifat *termoplastis* yaitu mencair jika dipanaskan dan akan kembali membeku apabila temperature turun. Penggunaan aspal sebagai material perkerasan cukup banyak, mulai dari lapisan

permukaan, lapisan pondasi, lapis aus, maupun lapis penutup. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar 4 – 10 % berdasarkan berat campuran, ataupun 10 – 15 % berdasarkan volume campuran. Jenis aspal berdasarkan tempat diperolehnya dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu:

1. Aspal alam, atau deposit alam merupakan aspal yang ditemukan di alam, berbentuk batuan yang mengandung aspal di dalamnya ataupun aspal alam.
2. Aspal buatan, atau aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi.

2.3.1 Aspal buatan

Aspal buatan atau aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak mengandung residu jenis *aspaltic base crude oil* yang banyak kandungan aspal, *paraffin base crude oil* yang banyak mengandung *paraffin*, ataupun *mixed base crude oil* yang mengandung aspal dan *paraffin*. Berdasarkan bentuknya pada temperature ruang, aspal dibedakan menjadi 3 (tiga), yaitu:

1. Aspal Padat

Aspal Padat atau banyak dikenal dengan semen aspal (*aspalt cement*) adalah aspal yang berbentuk padat ataupun semi padat pada temperature suhu ruang. Semen aspal memerlukan pemanasan pada suhu tertentu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.

2. Aspal Cair

Aspal Cair (*cutback aspalt*) merupakan aspal yang berbentuk cair temperatur suhu ruang, merupakan semen aspal yang dicairkan menggunakan hasil penyulingan minyak bumi.

3. Aspal Emulsi

Aspal emulsi (*emulsified aspalt*) merupakan pencampuran antara aspal dengan air dan bahan emulsi. Spesifikasi aspal penetrasi 60/70 dari Spesifikasi Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini:

Tabel 2.2 Spesifikasi Aspal Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode Peengujian	Tipe I Aspal Pen 60/70	Tipe II Aspal Modifikassi	
				Elastomer Sintetis	
				PG 70	PG 76
1	Penetrasi pada 25 °C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60/70	Dilaporkan	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135 °C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4	Titik Lembek °C	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan	
5	Daktilitas pada 25 °C, (cm)	SNI 2433:2011	≥ 100	-	
6	Titik Nyala (°C)	AASHTO T44-14	≥ 232	≥ 230	
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	-	
9	Stabilitas Penyimpanan : Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10	Kadar Parafi Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002):					
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13	Penetrasi pada 25 °C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14	Daktilitas pada 25 °C, (cm)	SNI 2456:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa					
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa,	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018.

2.3.2 Aspal beton campuran panas

Aspal beton campuran panas merupakan campuran homogen antara agregat dengan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu, pemanasan agregat dan aspal bertujuan untuk mengeringkan agregat dan aspal mendapatkan tingkat kecairan yang cukup untuk memudahkan dalam pencampuran atau disebut dengan (*hot mix*) (Tenriajeng, 2003). Karakteristik yang harus dimiliki oleh aspal beton campuran panas antara lain adalah:

1. Stabilitas

Stabilitas pada lapisan perkerasan merupakan kemampuan untuk menerima beban lalu lintas tanpa terjadi suatu perubahan bentuk seperti gelombang, alur, ataupun bleeding. Kebutuhan stabilitas pada lapisan perkerasan berbanding lurus dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan.

2. Durabilitas (Keawetan atau Daya Tahan)

Durabilitas adalah ketahanan lapisan perkerasan untuk dapat menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air, perubahan suhu maupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton antara lain:

- a. *Voids in mix* (VIM) kecil, sehingga lapis menjadi kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang akan menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh.
- b. *Voids in material aggregate* (VMA) besar, sehingga film (selimut) aspal bisa dibuat tebal. Apabila VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi akan memungkinkan terjadinya kelebihan aspal (*bleending*). Agar VIM besar, maka perlu menggunakan agregat bergradasi senjang.
- c. Film (selimut) aspal, ketebalan selimut aspal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang memiliki durabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleending* menjadi lebih besar.

3. Fleksibilitas (Kelenturan)

Fleksibilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban dari lalu lintas yang berulang tanpa menimbulkan keretakan dan perubahan volume.

4. *Skid Resistance* (Kekesatan)

Tahanan geser merupakan kekesatan yang diberikan oleh lapisan perkerasan sehingga meminimalisir terjadinya slip pada kendaraan pada saat basah maupun kering.

5. *Fatigue Resistance* (Ketahanan Kelelahan)

Ketahanan kelelahan merupakan ketahanan lapis perkerasan dalam menerima beban lalu lintas yang berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan keretakan.

6. *Workability* (Kemudahan Pelaksanaan)

Workability merupakan kemudahan suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga memperoleh hasil sesuai yang diharapkan. Kemudahan pelaksanaan dipengaruhi oleh gradasi agregat, temperatur, dan kandungan bahan pengisi (*filler*).

2.3.3 Aspal modifikasi

Aspal modifikasi atau aspal modifikasi polimer telah banyak dikembangkan di banyak negara dalam beberapa decade terakhir termasuk di Indonesia. Aspal modifikasi polimer merupakan material campuran aspal keras dengan suatu bahan tambah. Aspal modifikasi polimer dikembangkan untuk meningkatkan hasil ketahanan yang lebih tinggi terhadap terjadinya deformasi, keretakan, serta meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan akibat umur sehingga menghasilkan lapisan perkerasan yang lebih tahan lama serta dapat mengurangi biaya perawatan dan perbaikan perkerasan jalan. Aspal modifikasi polimer dibagi menjadi 2 (dua) antara lain:

1. Aspal Polimer Elastomer

Aspal polimer elastomer merupakan polimer yang mempunyai sifat elastis atau sifat karet asli, karet vulkanisasi, karet olahan ulang. Polimer yang biasa digunakan sebagai bahan pencampur aspal keras antara lain, karet alam, getah asli, *silicon*, poli uretan, *nesprene*, *styrene butadine styrene* (SBS), *styrene butadine rubber* (SBR), *styrene isoprene styrene* (SIS) dengan tujuan untuk meningkatkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap terjadinya deformasi.

2. Aspal Polimer Plastomer

Aspal polimer plastomer merupakan penambahan bahan polimer plastomer untuk meningkatkan sifat reologi baik pada aspal keras serta sifat fisik campuran aspal. Jenis polimer yang banyak digunakan antara lain, *ethylene vinyle acetate* (EVA), *polypropylene*, serta *polyethylene* (PE).

Pada penelitian ini menggunakan tetes tebu (*molassess*) yang merupakan produk akhir pembuatan gula yang tidak mengandung lagi gula yang dapat dikristalkan dengan cara konvensional (Olbrich, 1973), yang dihasilkan dari limbah pabrik gula disekitar. Tetes tebu (*molassess*) sebagai bahan tambah campuran aspal

diharapkan mampu meningkatkan kualitas lapisan perkerasan dalam memenuhi karakteristik pada campuran lapis perkerasan terutama pada stabilitas, fleksibilitas, serta durabilitas.

2.4 Agregat

Agregat (*aggregate*) merupakan batuan yang bersifat keras dan solid yang berasal dari formasi kulit bumi. Merupakan komponen utama pembentuk struktur perkerasan jalan yang mengandung 90 – 95 % agregat berdasarkan persentase berat atau 75 – 85 % agregat berdasarkan persentase volume.

Berdasarkan ukuran butirnya agregat dapat dibedakan menjadi 3 (tiga), antara lain:

1. Agregat Kasar, merupakan agregat dengan ukuran butir lebih besar atau tertahan dari saringan No.4 (4,75 mm) dan lebih kecil atau lolos saringan No. $1\frac{1}{2}$ inci.
2. Agregat Halus, merupakan agregat dengan ukuran butir lebih kecil atau lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dan persentase maksimum lolos saringan No. 200 (0,075 mm) adalah 10 %.
3. Bahan Pengisi (*Filler*), merupakan bagian dari agregat halus yang persentase minimum lolos saringan No. 200 (0,075 mm) adalah 75 %.

1. Pengujian agregat

Sebelum agregat digunakan dalam campuran beraspal perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui kesesuaian agregat dengan ketentuan yang berlaku. Pengujian agregat yang dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini:

Tabel 2.3 Jenis Pengujian Agregat

No.	Jenis Pengujian	Standar Pengujian SNI
1	Pengujian untuk gradasi agregat	
	Cara uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar	SNI ASTM C36:2012
2	Berat jenis dan penyerapan agregat	
	Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar	SNI 1969 : 2008
	Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus	SNI 2441 : 2008

Sumber: Sukirman (2016), *Beton Aspal Campuran Panas*.

a. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah susunan butir agregat yang dipisahkan sesuai dengan ukurannya, ukuran butir agregat dapat diperoleh dari pengujian analisis saringan dengan menggunakan 1 (satu) set saringan sesuai dengan SNI ASTM C136:2012. Analisis saringan dapat dilakukan secara basah ataupun kering (ayakan basah/ayakan kering). Analisis saringan secara basah dilakukan untuk menentukan jumlah agregat yang lolos saringan No.200 (0,075 mm), sedangkan persenase lolos masing-masing ayakan dilakukan secara kering melalui pengujian analisis ayakan agregat halus dan agregat kasar. Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

- 1) Gradasi Seragam (*Uniform Graded*) merupakan agregat dengan ukuran sejenis/sama atau memiliki agregat halus yang jumlahnya sedikit sehingga rongga antar agregat tidak bisa terisi. Lapisan perkerasan jalan yang menggunakan agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, namun stabilitas kurang dan berat volume kecil.
- 2) Gradasi Rapat (*Dense Graded*), disebut juga gradasi baik (*well graded*) merupakan campuran agregat kasar dan halus dengan porsi yang berimbang. Lapisan perkerasan jalan yang menggunakan agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan perkerasan dengan stabilitas tinggi, namun kurang kedap air, dan berat volume besar.
- 3) Gradasi Buruk (*Poorly Graded*), merupakan campuran agregat yang tidak memenuhi gradasi seragam dan juga gradasi rapat. Agregat dengan gradasi buruk akan menghasilkan perkerasan dengan mutu diantara gradasi seragam atau gradasi rapat. Secara umum perbedaan dari sifat campuran agregat bergradasi dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat Campuran Agregat

Sifat	Agregat bergradasi buruk	Agregat bergradasi baik
Stabilitas	Buruk	Baik
Permeabilitas	Baik	Buruk
Tingkat Kepadatan	Buruk	Baik
Rongga Pori	Baik	Sedikit

Sumber: Sukirman (2016).

Dalam perencanaan campuran beraspal, Spesifikasi Bina Marga digunakan sebagai acuan dalam menentukan prosentase berat lolos agregat gabungan yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 Amplop Gradasi Agregat Gabungan di bawah ini:

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Gabungan

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asfalt			Laston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	mm	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½ "	37,5								100
1 "	25			100				100	90-100
¾ "	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½ "	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
⅜ "	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No. 8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No. 30	0,6	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,3	10-15					9-22	7-20	6-15
No. 100	0,15						6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Sumber: Spesifikasi Bina Marga, 2018.

b. Berat Jenis

Jenis agregat merupakan perbandingan antara berat dengan satuan volume agregat terhadap berat air dengan volume yang sama pada suhu yang ditentukan.

2.5 Tetes Tebu

Menurut Olbrich (1973) mendefinisikan *molasses* sebagai produk akhir pembuatan gula yang tidak mengandung lagi gula yang dapat dikristalkan dengan cara konvensional. Jenis limbah tetes tebu yang digunakan adalah *molasses*, yakni sirup yang tebal atau kental.

Molasses dihasilkan setelah kristalisasi gula dari jus gula tebu. Produk sampingan dari industri pengolahan gula tebu atau gula bit yang masih mengandung gula dan asam-asam organik. *Molasses* yang hasil dari industri gula tebu di Indonesia dikenal dengan nama tetes tebu. Kandungan sukrosa dalam molase cukup tinggi, berkisar 48-55% Sartini (2007), sehingga dapat digunakan sebagai sumber yang baik untuk pembuatan *etanol* dan *alkohol*. Berikut adalah Gambar 2.2 menunjukkan penampakan tetes tebu.



Gambar 2.2 Tetes Tebu (*Molasses*).

Molasses berbentuk cairan kental berwarna coklat ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku etanol dan alkohol. Tingginya kandungan gula dalam molase sangat potensial dimanfaatkan sebagai bahan baku *bioetanol*. *Molasses* dari tebu dapat dibedakan menjadi 3 jenis. *Molasses* kelas 1, kelas 2 dan "*black strap*". *Molasses* kelas 1 didapatkan saat pertama kali jus tebu dikristalisasi. Saat dikristalisasi terdapat sisa jus yang tidak mengkristal dan berwarna kuning. Maka sisa jus ini langsung diambil sebagai molase kelas 1. Kemudian *molasses* kelas 2 atau biasa disebut dengan "*dark*" diperoleh saat proses kristalisasi kedua. Warnanya agak kecoklatan sehingga sering disebut juga dengan istilah "*dark*". Dan *molasses* kelas terakhir, "*black strap*" diperoleh dari kristalisasi terakhir.

Warna “*black strap*” ini memang mendekati hitam coklat tua sehingga tidak salah jika diberi nama “*black strap*” sesuai dengan warnanya. “*black strap*” ternyata memiliki kandungan zat yang berguna. Zat-zat tersebut antara lain kalsium, magnesium, potasium, dan besi. “*black strap*” memiliki kandungan kalori yang cukup tinggi, karena terdiri dari *glukosa* dan *fruktosa*. Dapat dilihat pada Tabel 2.6 di bawah ini.

Tabel 2.6 Kualitas Tetes Tebu

Analisis	Rata-rata kadar dalam <i>molasses</i>
Barix	88,6 barix
Polarisasi dan Hk	31,82%-28,35%
Kadar Sukrosa	35,53%
Kadar Gula Reduksi	18,63%
Kadar Abu	7,73%

Sumber: Penelitian Reni Puspita 2008.

2.6 Limbah Beton

Menurut Paul (2007) mengungkapkan bahwa pada beton yang baik, setiap butir agregat seluruhnya terbungkus dengan mortar. Demikian pula halnya dengan ruang antar agregat, harus terisi oleh mortar. Jadi kualitas pasta atau mortar menentukan kualitas beton. Semen adalah unsur kunci dalam beton, meskipun jumlahnya hanya 7-15% dari campuran. Beton dengan jumlah semen yang sedikit (sampai 7%) disebut beton kurus (*lean concrete*), sedangkan beton dengan jumlah semen yang banyak disebut beton gemuk (*rich concrete*). Menurut SNI-03-2847-2002, pengertian beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

Limbah beton merupakan limbah hasil sisa pengujian benda uji PT. Merak Jaya Beton, Site Plant Pembangunan Bendungan Jlantah Karanganyar. Pada PT. Merak Jaya Beton, *Site Plant* Pembangunan Bendungan Jlantah Karanganyar material penyusun beton menggunakan semen tiga roda, pasir dan abu batu diambil dari PT.

Merak Jaya Beton sendiri, batu diambil dari CV. Sehati Wonogiri dan Batu Intan Wonogiri. Berikut ini bisa dilihat pada Tabel 2.7 *Job Mix* Beton.

Table 2.7 *Job Mix* Beton

Job Mix Beton									
Volume silinder : $3,14 \times 7,50 \times 7,50 \times 30,00 = 5298,76 \text{ cm}^3$									
Beton normal = $0,0053 \text{ cm}^3 \times 11 = 0,058 \text{ cm}^3$									
Shotcrat = $0,0053 \text{ cm}^3 \times 14 = 0,074 \text{ cm}^3$									
	Mutu Beton	Semen	Air	Pasir	Agg. 0,5 -1 cm	Agg. 1 - 2 cm	Agg. 2 -3 cm	Kumulatif Pasir + Agg	Total (Kg/m³)
1	<-300 (Maks 40 mm)	415,00	199,20	629,83		447,64	659,13	1736,60	2350,80
2	<-125 (Maks 40 mm)	230,00	147,00	734,36		521,86	768,41	2024,53	2401,53
3	<-175 (Maks 40 mm)	280,00	180,00	688,25		489,16	720,26	1897,67	2357,67
4	<-225 (Maks 40 mm)	330,00	172,00	680,84		483,89	712,51	1877,24	2379,24
5	<-125 (Maks 20 mm)	250,00	160,00	716,04	187,34			1984,82	2394,32
6	<-175 (Maks 20 mm)	300,00	180,00	682,27	178,50			1891,21	2371,21
7	<-255 (Maks 20 mm)	350,00	182,00	665,45	174,10			1844,57	2376,57
8	<-300 (Maks 20 mm)	415,00	199,20	629,83	164,78			1745,84	2360,04

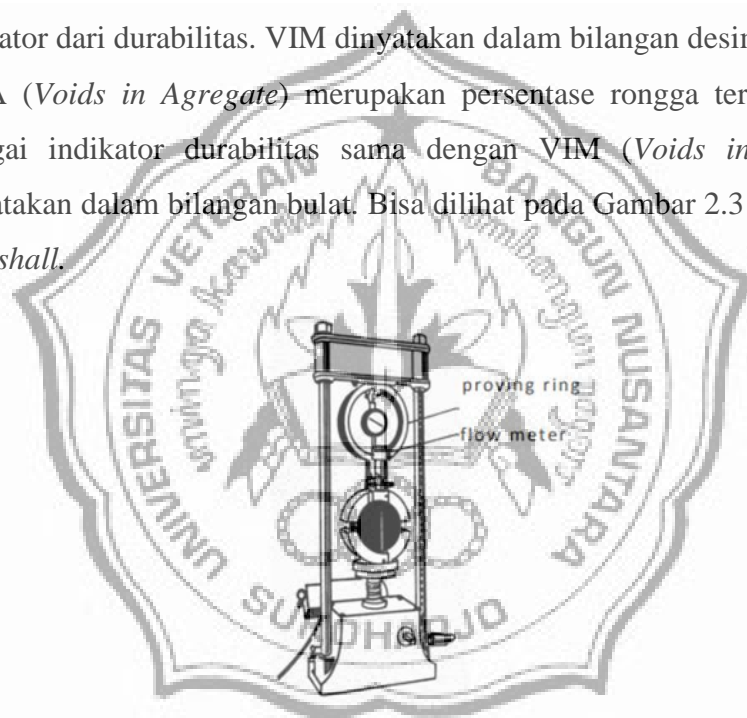
Sumber: Data *Job Mix* Beton Pt. Merak Jaya Beton, Site Plant Pembangunan Bendungan Jlantah Karanganyar, 2023.

2.7 Pengujian Marshall

Pengujian *marshall* (*Marshall Test*) merupakan pengujian untuk menentukan kinerja beton aspal, yang pertama kali dikembangkan oleh Bruce Marshall dan di lanjutkan oleh *U.S. Corps Engineer* serta distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76 atau AASHTO T-245-90. Alat uji Marshall merupakan alat kuat tekan yang dilengkapi dengan cincin

penguji (*proving ring*) yang dilengkapi dengan arloji pengukur berkapasitas 22,2 kN atau sama dengan 5000 lbf untuk menentukan stabilitas campuran dan *flowmeter* untuk menentukan kelelahan praktis (*flow*). Data yang diperoleh dari pengujian *marshall* meliputi:

1. Stabilitas untuk menunjukkan kekuatan dan ketahanan terhadap terjadinya alur (*ruting*). Stabilitas dinyatakan dengan bilangan bulat.
2. Kelelahan praktis (*flow*) digunakan sebagai indikator terhadap kelenturan. *Flow* dinyatakan dalam satuan mm tau 0,01 inci.
3. VIM (*Voids in Mix*) merupakan persentase rongga pada campuran sebagai indikator dari durabilitas. VIM dinyatakan dalam bilangan desimal.
4. VMA (*Voids in Agregate*) merupakan persentase rongga terhadap agregat sebagai indikator durabilitas sama dengan VIM (*Voids in Mix*). VMA dinyatakan dalam bilangan bulat. Bisa dilihat pada Gambar 2.3 alat pengujian *masrshall*.



Gambar 2.3 Alat Uji *Marshall* (Silvia Sukirman, 2016).

Dalam pengujian kualitas campuran beraspal untuk mendapatkan nilai akhir yang digunakan sebagai parameter campuran beraspal dengan menggunakan metode pengujian *marshall*, didapatkan beberapa data yang kemudian diolah menggunakan rumus-rumus empiris. Berdasarkan Sukirman (2016) dari buku “Beton Aspal Campuran Panas” rumus - rumus empiris yang digunakan untuk pengolahan data hasil pengujian *marshall* sebagai parameter kualitas campuran beraspal meliputi:

1. Berat Jenis *Bulk* dari Total Agregat

Setiap fraksi agregat (agregat kasar, agregat halus, dan *filler*) mempunyai nilai berat jenis *bulk* dari total agregat, dinyatakan dalam rumus:

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

Keterangan:

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

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

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

2. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif agregat dapat ditentukan dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}$$

Keterangan:

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

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

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

3. Berat Jenis Maksimal Agregat

Berat jenis maksimal agregat digunakan untuk menentukan kadar rongga udara dalam campuran beraspal, ditentukan melalui rumus:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Keterangan:

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

P_{mm} : Persentase berat total campuran (100)

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

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

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

G_b : Berat jenis aspal (gr/cc)

4. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan merupakan tingkat kerapatan campuran beraspal setelah dipadatkan.

Nilai kepadatan dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Berat Jenis Bulk} = \frac{BK}{BJ - BA}$$

Keterangan:

B_K : Berat benda uji setelah dipadatkan (gr)

B_J : Berat benda uji ssd setelah dipadatkan (gr)

B_A : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)

5. VIM (*Voids in Mix*)

VIM (*voids in mix*) merupakan persentase rongga yang terdapat di dalam total campuran beraspal. VIM memiliki syarat nilai berkisar antara 3% - 5% sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2016. Untuk menentukan nilai VIM dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{VIM} = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

Keterangan:

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

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

VIM : Rongga udara dalam campuran (%)

6. VMA (*Voids Material Agregat*)

VMA merupakan persentase nilai rongga yang terdapat di dalam agregat. Nilai pada VMA sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 minimal 14 % yang dapat dihitung melalui rumus berikut:

$$\text{VMA} = 100 - \frac{(G_{mb}(100 - P_b))}{G_{sb}}$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

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

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

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

7. VFA (*Voids Filled with Asphalt*)

VFA (*Voids Filled with Asphalt*) merupakan nilai persentase rongga pada campuran yang terisi aspal setelah mengalami pemadatan. Syarat nilai VFA adalah 65 % yang dapat ditentukan menggunakan rumus:

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

Keterangan:

VFA : Persentase rongga terisi aspal (%)

VMA : Persentase rongga pada agregat (%)

VIM : Persentase rongga pada campuran beraspal (%)

8. Stabilitas

Stabilitas merupakan nilai yang diperoleh dari pembacaan arloji (dial) stabilitas pada saat pengujian dengan alat uji *marshall*. Kemudian dihitung dengan mencocokkan angka kalibrasi pada *proving ring* dengan menggunakan satuan lbs ataupun kg dan dikoreksi dengan factor koreksi tebal benda uji setelah pemadatan. Nilai stabilitas diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S = p \times q$$

Keterangan:

S : Nilai Stabilitas (kg)

p : Pembacaan alat x kalibrasi

q : Angka koreksi tebal benda uji

9. Kelelahan (*flow*)

Kelelahan (*flow*) merupakan tingkat kelelahan campuran beraspal yang diketahui dari pembacaan arloji (dial) pada saat pengujian dengan alat uji *marshall* dalam keadaan suhu ekstrim 60 °C.

10. *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient (MQ) merupakan nilai dari hasil pembagian antara nilai stabilitas dan nilai kelelahan (*flow*). Syarat yang ditentukan Bina Marga 2016 yaitu lebih besar dari 250 kg/mm dapat dihitung menggunakan rumus:

$$MQ = S / F$$

Keterangan:

MQ : Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

- S : Nilai Stabilitas (kg)
F : Nilai Kelelahan (*Flow*)

2.8 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.8 dapat disimpulkan bahwa penambahan tetes tebu pada campuran beraspal jenis AC-WC dengan persentase 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dapat memperbesar rongga udara yang terdapat pada campuran beraspal, meningkatkan rongga dalam agregat meningkatkan *Marshall Quotient* (MQ). Pada campuran beraspal jenis ABT *Asphalt Treated Base* dengan persentase 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8 % hasil parameter *marshall test* tersebut masih berada pada syarat minimum dan maksimum yang ditentukan pada spesifikasi umum dinas pekerjaan umum bina marga provinsi jawa timur 2018. Untuk pengujian hipotesis parameter *marshall test* seperti stabilitas, flow, dan mq terdapat pengaruh akibat penambahan tetes tebu dan untuk VIM, VMA, VFA tidak terdapat pengaruh akibat penambahan tetes tebu. Pada campuran beraspal jenis AC-BC dengan persentase 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% hasil pengujian karakteristik campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC- BC) yang menggunakan bahan tambah limbah tetes tebu melalui pengujian *Marshall* Konvensional telah memenuhi Standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Nilai Stabilitas Marshall Sisa yang di peroleh melalui pengujian *Marshall Immertion* yaitu sebesar 95,06% dimana nilai dari Stabilitas Marshall Sisa telah memenuhi Standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu minimal 90%. Pengaruh adanya penambahan limbah tetes tebu dapat meningkatkan kinerja campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC), membuat rongga pada campuran menjadi kecil sehingga campuran kuat dan stabil tahan terhadap beban lalu lintas. Limbah beton sebagai salah satu alternatif pengganti agregat maupun *filler* dari campuran perkerasan sangat mungkin. Memanfaatkan material limbah beton yang selama ini hanya dimanfaatkan sebagai bahan urugan akan menguntungkan bagi kita. Sehingga limbah beton dapat digunakan kembali dengan nilai ekonomis yang lebih tinggi. Maka dari itu penulis terinspirasi untuk melakukan penelitian terhadap campuran beraspal AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*) dengan

meggunakan tetes tebu untuk pengganti sebagian aspal dengan persentase 1%, 3%, 5%, 7%, 9% serta menggunakan limbah beton sebagai *filler*.



Tabel 2.8 penelitian terdahulu

No	Jenis Perkerasan	Persentase Polimer (%)	Hasil Penelitian	Referensi
1	AC - WC	Tetes Tebu Dengan Kadar 0 %, 5 %, 10 %, 15 %	<p>Nilai stabilitas masing-masing penurunannya dengan penambahan tetes tebu yaitu 5% sebesar 880 kg, 10% sebesar 517 kg, 15% sebesar 457 kg. Hasil volume rongga udara terhadap campuran (VIM) dengan kadar 5%, 10% dan 15% yaitu 8,68%, 8,52%, dan 7,52%. Hasil volume pori antara agregat (VMA) dengan kadar 5%, 10% dan 15% yaitu antara lain 27,40 %, 27,27 %, dan 26,47 %. Hasil volume pori antara butir agregat yang terisi aspal (VFB) dengan kadar 5%, 10% dan 15% yaitu antara lain 74,67%, 76,96%, dan 71,58%. Hasil <i>Marshall Quotient</i> (MQ) dengan kadar 5%, 10% dan 15% <i>Marshall Quotient</i> (MQ) yaitu antara lain 395 kg/mm, 293 kg/mm, dan 817 kg/mm.</p>	<p>Kurniawan, dkk. 2019. PENELITIAN PENAMBAHAN BAHAN LIMBAH TETES TEBU DARI PABRIK GULA MERITJAN PADA CAMPURAN ASPAL BETON, <i>Universitas Kadiri</i></p>
2	ABT Asphalt Treated Base	Tetes Tebu Kadar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8 %	<p>Dari pengujian tersebut didapat nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,3% dan nilai optimum tetes tebu sebesar 4,97% dengan nilai parameter <i>Marshall Test</i> sebagai berikut: Stabilitas (949,341 kg), Flow (3,44 mm), VIM (4,59%), VMA (16,7%), MQ (270,99 kg/mm), VFA (72,47%) dan IP (91,39%). Hasil parameter <i>Marshall Test</i> tersebut masih berada pada syarat minimum dan maksimum yang ditentukan pada Spesifikasi Umum Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur 2018. Untuk pengujian hipotesis parameter <i>Marshall Test</i> seperti stabilitas, <i>flow</i>, dan MQ terdapat pengaruh akibat penambahan tetes tebu dan untuk VIM, VMA, VFA tidak terdapat pengaruh akibat penambahan tetes tebu.</p>	<p>Yulianti, 2019. PENGARUH PENAMBAHAN TETESTEBU PADA CAMPURAN ASPHALT TREATED BASE (ABT) DITJAU DARI NILAI PARAMETER MARSHALL, <i>Institut Teknologi Nasional, Malang</i></p>

No	Jenis Perkerasan	Persentase Polimer (%)	Hasil Penelitian	Referensi
3	AC-BC	Limbah tetes tebu dengan kadar variasi 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%	Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pengujian karakteristik campuran <i>Asphalt Concrete – Binder Course</i> (AC-BC) yang menggunakan bahan tambah limbah tetes tebu melalui pengujian <i>Marshall</i> Konvensional telah memenuhi Standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Nilai Stabilitas Marshall Sisa yang di peroleh melalui pengujian Marshall Immertion yaitu sebesar 95,06% dimana nilai dari Stabilitas Marshall Sisa telah memenuhi Standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu minimal 90%. Pengaruh adanya penambahan limbah tetes tebu dapat meningkatkan kinerja campuran <i>Asphalt Concrete – Binder Course</i> (AC-BC), membuat rongga pada campuran menjadi kecil sehingga campuran kuat dan stabil tahan terhadap beban lalu lintas.	Damianus. 2021 LIMBAH TETES TEBU SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA CAMPURAN LASTON LAPIS ANTARA. <i>Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar</i>
4	AC - WC	Limbah beton sebagai pengganti agregat 5.50%, 6.00%, 6.50%, 7.00%, dan 7.50%	Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan berupa agregat dari Limbah beton memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 sebagai lapisan jalan. Melalui pengujian <i>Marshall</i> diperoleh karakteristik campuran Laston Lapis Aus dengan Kadar aspal 5.50%, 6.00%, 6.50%, 7.00%, dan 7.50%. Material penyusun perkerasan jalan raya membutuhkan sumberdaya alam batuan yang sangat besar dengan jumlah sumber yang terbatas, limbah beton sebagai salah satu alternatif pengganti agregat maupun <i>filler</i> dari campuran perkerasan sangat mungkin Memanfaatkan material limbah beton yang selama ini hanya dimanfaatkan sebagai bahan urugan akan menguntungkan bagi kita. Sehingga limbah	Sidi, M. P, dkk. 2020 PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH ENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BETON SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT DALAM CAMPURAN ASPAL BETON LAPIS AUS (AC-WC). <i>jurusan Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang</i>

		<p>beton dapat digunakan kembali dengan nilai ekonomis yang lebih tinggi. Metode penelitian yang akan digunakan adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium. Sedangkan penelitian pendahuluan yang digunakan adalah variasi kadar aspal 5,5%, 6% dan 6,5%. Sampel benda uji yang dibuat berjumlah 5 benda uji tiap kadar aspal dan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,89% pada agregat alami dan 5,94% pada limbah beton kemudian di variasikan dengan campuran 25% alami 75% limbah, 50% alami 50% limbah dan 75% alami 25% limbah. Penelitian dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang. Hasil pengujian mendapatkan variasi yang terbaik pada variasi 29%. Dari variasi tersebut didapatkan nilai Stabilitas 1093,7 kg, Flow 3,31%, VIM 4,09%, VMA 16,36%, Marshall Quotient 328,73 kg/mm, VFA 74,96%. Semua hasil pengujian pada variasi memenuhi persyaratan spesifikasi AC-WC yang telah ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018</p>	
--	--	---	--