

## **BAB 3**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Perkerasan Jalan**

Perkerasan jalan adalah lapisan konstruksi di atas tanah dasar yang berfungsi menyalurkan beban kendaraan secara efektif. Tujuannya adalah untuk mendukung kelancaran transportasi, dengan harapan tetap mempertahankan kondisi yang baik tanpa mengalami kerusakan signifikan sepanjang masa layanannya (Sukirman S, 2010).

Perkerasan jalan merupakan kombinasi antara agregat dan bahan pengikat yang dirancang untuk menahan beban lalu lintas. Jenis agregat yang umum digunakan meliputi batu pecah, batu belah, batu kali, serta limbah industri seperti hasil samping peleburan baja. Sementara itu, bahan pengikat yang digunakan mencakup aspal, semen, dan tanah liat (Tenriajeng, 2002).

Dari dua pendapat di atas, saya menyimpulkan perkerasan jalan adalah struktur campuran antara agregat dan bahan pengikat yang dibangun di atas tanah dasar untuk menyalurkan beban kendaraan dan menjaga kelancaran transportasi tanpa mengalami kerusakan berarti selama masa layanannya..

#### **3.2 Jenis Perkerasan Jalan**

Jenis perkerasan jalan dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis bahan pengikat yang digunakan pada lapisan permukaan. Berdasarkan bahan pengikatnya, terdapat tiga tipe utama perkerasan, yaitu: perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan perkerasan komposit (*composite pavement*)

##### **3.2.1 Perkerasan lentur (*flexible pavement*)**

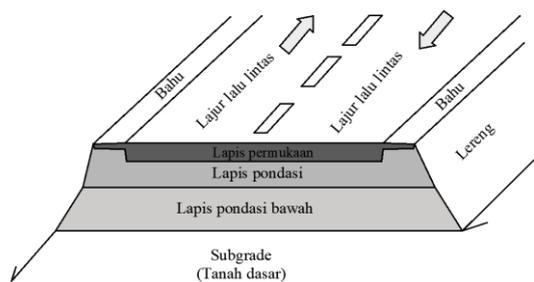
Perkerasan lentur merupakan jenis perkerasan yang memakai aspal sebagai pengikat utama. Perkerasan lentur pada prinsipnya tersusun atas lapisan permukaan beraspal yang terletak di atas lapisan pondasi serta lapisan pondasi bawah berbahan granular yang dibentangkan di atas tanah dasar (Al-amri, 2013).

Secara umum, jenis perkerasan lentur sesuai untuk digunakan pada ruas jalan yang menanggung beban lalu lintas ringan hingga sedang, seperti jalan di kawasan

perkotaan, jalan yang memiliki jaringan utilitas di bawahnya, bahu jalan, maupun konstruksi perkerasan yang dibangun secara bertahap (Sukirman, 2010).

Struktur perkerasan lentur tersusun atas beberapa lapisan yang bertahap memiliki daya dukung menurun seiring kedalamannya. Berikut lapisan – lapisan tersebut:

- Lapisan permukaan (*surface course*).
- Lapisan pondasi (*base course*).
- Lapisan pondasi bawah (*subbase course*).
- Lapisan tanah dasar (*subgrade*).

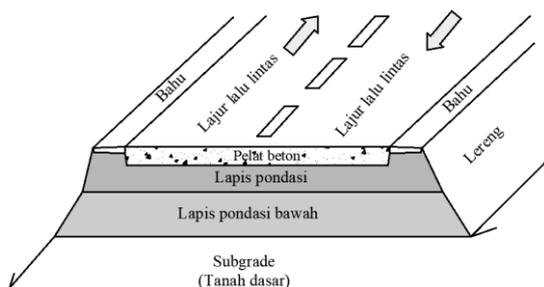


Gambar 3.1 Struktur perkerasan lentur

(Sumber : Analisis penulis, 2025)

### 3.2.2 Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku yaitu lapisan perkerasan yang pengikatnya berupa semen *Portland* (Maharani & Wasono, 2018). Perkerasan kaku biasa diperuntukan untuk ruas jalan dengan volume lalu lintas tinggi yang banyak dilalui oleh kendaraan berat. Struktur perkerasan kaku tersusun oleh pelat beton sebagai lapisan atas, lapis pondasi homogen sebagai bantalan, serta lapisan tanah dasar sebagai tempat dudukan keseluruhan struktur perkerasan. (Sukirman, 2010).



Gambar 3.2 Struktur perkerasan kaku

(Sumber : Analisis penulis, 2025)

### 3.2.3 Perkerasan komposit (*composite pavement*)

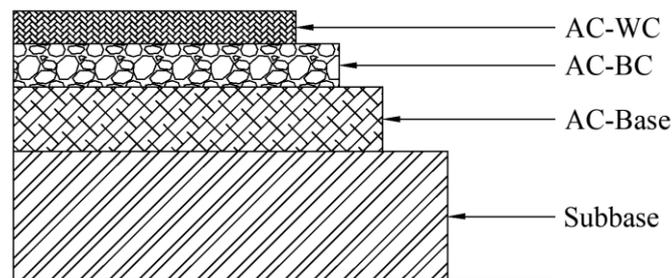
Perkerasan komposit jenis perkerasan yang menggabungkan perkerasan kaku dan lentur, di mana pelat beton semen berfungsi sebagai lapisan pondasi, sedangkan lapisan permukaannya menggunakan aspal beton. Perkerasan komposit tidak jarang diaplikasikan pada *runway* lapangan terbang (Lourdes et al., 2023).

### 3.3 Lapis Aspal Beton (Laston)

Laston merupakan lapisan struktural dalam konstruksi perkerasan jalan yang tersusun oleh campuran aspal keras dan agregat dengan gradasi menerus. Campuran ini diproses melalui tahapan pencampuran, penghamparan, dan pemadatan pada suhu tertentu untuk menghasilkan lapisan yang mampu menahan serta mendistribusikan beban roda kendaraan. (Tenriajeng, 2002).

Berdasarkan Pedoman Teknik No. 025/T/BM/1999, Lapis Beton Aspal merupakan bagian atas struktur perkerasan jalan yang berfungsi secara struktural. Artinya, lapisan ini dapat menahan beban lalu lintas dengan tingkat stabilitas dan daya tahan yang memadai, serta memiliki karakteristik tidak tembus air.

Berdasarkan kedua pendapat tersebut dapat disimpulkan bahwa Lapis Aspal Beton (Laston) merupakan lapisan campuran antara aspal sebagai pengikat dan agregat bergradasi menerus, dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan pada temperatur tertentu membentuk perkerasan dengan tingkat stabilitas dan daya tahan yang memadai, serta memiliki karakteristik tidak tembus air.



Gambar 3.3 Lapis aspal beton

(Sumber :Analisis penulis, 2025)

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan lapisan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Lapisan ini adalah lapisan permukaan yang ditunjukkan pada

gambar diatas. Lapis beton AC–WC merupakan lapisan perkerasan teratas yang langsung bersentuhan dengan beban lalu lintas dan kondisi iklim lingkungan seperti temperatur dan curah hujan. Lapisan AC–WC bersifat non struktural, sehingga rentan mengalami kerusakan (Anggraeni et al., 2019).

Tabel 3.1 Ketentuan sifat-sifat campuran laston (AC Mod)

Sifat - Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,6		
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	1000		2250
Pelelehan (mm)	Min	2	2	3
	Maks	4	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		-
Stabilitas dinamis, ;intasan/mm	PG 70	Min	3000	
	PG 76		5000	

(Sumber : Spesifikasi Umum Untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan Bina Marga, 2024)

### 3.4 Karakteristik Beton Aspal

Campuran beton aspal harus memenuhi tujuh karakteristik utama agar dapat berfungsi optimal dalam konstruksi perkerasan jalan, yaitu; stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelehan, ketahanan terhadap geser, kedap air, dan mudah untuk dilaksanakan.

Stabilitas adalah kapasitas lapisan perkerasan dalam menahan beban kendaraan tanpa mengalami perubahan bentuk permanen seperti alur, gelombang, atau rembesan. Kebutuhan stabilitas bergantung pada fungsi jalan dan karakteristik beban lalu lintas. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi, memerlukan perkerasan dengan tingkat stabilitas yang tinggi guna menjamin kinerja dan umur layanan yang optimal. (Sukirman, 2016).

Keawetan atau durabilitas mengacu pada kemampuannya dalam menghadapi pengaruh berulang dari beban lalu lintas, tekanan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta pengaruh lingkungan seperti udara, air, dan fluktuasi suhu. Faktor-faktor yang memengaruhi daya tahan ini meliputi ketebalan lapisan aspal, tingkat porositas campuran, dan kerapatan material (Sukirman, 2016).

Fleksibilitas pada beton aspal mengacu pada kemampuannya untuk menyesuaikan diri terhadap deformasi yang terjadi pada lapisan fondasi atau tanah dasar (*settlement*) tanpa menyebabkan kerusakan struktural. Untuk meningkatkan fleksibilitas campuran, dapat dilakukan dengan menerapkan gradasi agregat yang lebih terbuka serta menambah kadar aspal dalam komposisi campuran (Sukirman, 2016).

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) merupakan karakteristik p beton aspal yang menunjukkan kemampuannya dalam menghadapi lendutan berulang akibat beban lalu lintas, tanpa mengalami kerusakan struktural seperti retakan atau deformasi permanen berupa alur. Peningkatan sifat ini dapat dicapai dengan memperbesar kadar aspal dalam campuran, sehingga campuran menjadi lebih elastis dan efektif (Sukirman, 2016).

Kekesatan atau tahanan geser (*skid resistance*) pada beton aspal merujuk pada kemampuannya untuk menghasilkan gaya gesek yang cukup terhadap roda kendaraan guna mencegah terjadinya slip, terutama dalam kondisi permukaan jalan yang basah. Karakteristik ini dipengaruhi oleh tingkat kekasaran agregat, luas kontak antar partikel, bentuk dan ukuran butiran, distribusi gradasi, tingkat kepadatan campuran, serta ketebalan lapisan aspal yang melapisi agregat. (Sukirman, 2016).

Kedap air (impermeabilitas) menunjukkan kemampuannya dalam menghalangi penetrasi air dan udara ke dalam struktur perkerasan. Kehadiran kedua unsur tersebut dapat mempercepat penuaan aspal dan menyebabkan pelepasan lapisan aspal dari agregat. Tingkat kedap air campuran dapat diukur melalui volume rongga pasca pemadatan, di mana semakin rendah rongga, semakin tinggi impermeabilitas (Sukirman, 2016).

Mudah dilaksanakan (*workability*) merupakan kemampuan campuran beton aspal untuk dapat dihampar dan dipadatkan dengan mudah. Tingkat kemudahan pelaksanaan berpengaruh terhadap efisiensi dalam pekerjaan konstruksi. Faktor-faktor yang memengaruhi kemudahan proses penghamparan dan pemadatan meliputi viskositas aspal, sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu, serta gradasi dan kondisi fisik agregat (Sukirman, 2016).

### **3.5 Bahan Pembentuk Perkerasan Jalan**

#### **3.5.1 Aspal**

Aspal merupakan material semen hitam, padat hingga setengah padat, dengan komponen utama berupa bitumen yang berasal dari proses alami atau hasil penyulingan minyak bumi (petroleum). Aspal adalah bahan alami yang tersusun dari senyawa hidrokarbon, hasil eksplorasi, memiliki sifat plastis hingga cair, tidak larut dalam air, larutan asam encer, maupun alkali, namun dapat larut dalam pelarut organik seperti eter, karbon disulfida (CS<sub>2</sub>), dan chloroform (Lestari, 2013).

Aspal dalam campuran agregat berfungsi sebagai bahan pengikat yang memiliki sifat viskoelastis, dengan tingkat kekentalan (viskositas) yang tinggi selama masa pelayanan. Saat proses penghamparan di lapangan, aspal juga berperan sebagai pelumas sehingga campuran lebih mudah dipadatkan. Selain itu, aspal membentuk lapisan film yang menyelimuti agregat, berfungsi menahan gaya geser antar permukaan dan membantu mengurangi kadar pori udara yang berlebihan dalam campuran (Alifuddin, 2020).

Aspal memiliki sifat termoplastis, yaitu dapat melunak atau mencair ketika dipanaskan pada suhu tertentu sehingga mampu melapisi partikel agregat saat proses pembuatan beton aspal. Ketika suhu menurun, aspal akan kembali mengeras dan mengikat agregat. Dalam konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan komponen minor, dengan kadar pemakaian umumnya berkisar antara 4%–10% berdasarkan berat, atau 5%–10% berdasarkan volume (Mashuri & Rahman, 2020).

Aspal Modifikasi, yang dikenal juga sebagai *Polymer Modified Asphalt* (PMA), merupakan jenis aspal minyak yang telah ditambahkan bahan aditif untuk meningkatkan performa, sehingga menjadi lebih tahan terhadap beban dan

memiliki umur layanan yang lebih panjang. Salah satu contoh dari jenis aspal modifikasi ini adalah aspal PG 70 (Wibisono & Yuantika, 2024). Penggunaan bahan tambah (*additive*) tersebut menghasilkan karakteristik aspal sebagai berikut:

- a. aspal yang dapat menahan suhu tinggi (meningkatkan titik leleh), dapat diperoleh melalui penambahan aditif berbasis plastomer, elastomer, selulosa, pengisi (*filler*) atau *asphalten* seperti asbuton, *gilsonite*, *Trinidad asphalt*, serta berbagai jenis aditif khusus dengan karakteristik tertentu. Aspal polimer merupakan produk turunan dari proses pengolahan di kilang minyak.
- b. aspal dengan daya rekat yang lebih tinggi (meningkatkan adhesi). Untuk mencapai sifat tersebut, digunakan aditif yang memiliki karakter lengket dan fleksibel, seperti aditif berbasis karet.
- c. aspal yang tidak mudah menua (*ageing*) dan lebih tahan ultra violet.
- d. Nilai penetrasi lebih kecil mengidentifikasikan aspal lebih keras.

Beberapa keunggulan dari aspal PG 70 yang dikenal memiliki tingkat stabilitas tinggi antara lain sebagai berikut:

- a. kekuatan terhadap deformasi: Tingginya stabilitas pada aspal menghasilkan kemampuannya dalam menahan perubahan bentuk yang disebabkan beban lalu lintas, sehingga tidak mudah mengalami deformasi permanen seperti gelombang, alur, maupun bleeding (aspal yang keluar ke permukaan).
- b. Kekuatan terhadap retak: Stabilitas yang tinggi pada aspal mencerminkan kemampuannya dalam menahan retak yang disebabkan oleh deformasi, sehingga campuran aspal tidak mudah pecah atau rusak.
- c. Ketahanan terhadap kondisi cuaca: Tingkat stabilitas yang tinggi mencerminkan kemampuannya menghadapi berbagai kondisi iklim, seperti suhu panas, dingin, dan hujan, sehingga tidak mudah mengalami kerusakan.
- d. Ketahanan terhadap beban lalu lintas berat: Stabilitas yang tinggi pada aspal mencerminkan kemampuannya menahan tekanan kendaraan berat, sehingga tidak mudah mengalami kerusakan akibat beban lalu lintas yang intensif..

### **3.5.2 Agregat**

Agregat merupakan sekumpulan butiran batu pecah, kerikil, pasir, atau partikel mineral yang asalnya dari alam atau hasil rekayasa. Agregat alam terbentuk secara

alami melalui proses erosi dan pelapukan, serta hanya memerlukan sedikit pengolahan. Sementara itu, agregat buatan dihasilkan melalui proses tahapan pemecahan batu menggunakan mesin pemecah batu (*stone crusher*) (Tenriajeng, 2002).

a. Agregat kasar

- 1) Fraksi agregat kasar yang tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm) dalam kondisi basah harus memiliki karakteristik bersih, keras, tahan lama, dan bebas dari kontaminasi tanah liat.
- 2) Agregat kasar harus berasal dari batu yang dihancurkan secara mekanis dan disiapkan dalam ukuran nominal yang sesuai dengan jenis campuran yang akan digunakan.
- 3) Angularitas agregat kasar merujuk pada persentase berat agregat berukuran lebih dari 4,75 mm yang memiliki satu atau lebih bidang pecah, sesuai dengan pengujian berdasarkan standar SNI 7619:2012.
- 4) Fraksi agregat kasar wajib disimpan secara terpisah dan disuplai ke unit pencampur aspal melalui sistem penampung dingin (*cold bin feed*), agar gradasi agregat campuran dapat dikontrol secara optimal.

Tabel 3.2 Ketentuan agregat kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
	magnesium sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kekekalan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Maks. 95%
Butiran Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 3407:2008	100/90
	Lainnya		95/90
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

(Sumber : Spesifikasi Umum Untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan Bina Marga, 2024)

b. Agregat halus

- 1) Agregat halus dapat berasal dari berbagai jenis material, terdiri atas pasir atau hasil penyaringan batu pecah lolos dari saringan No. 4 (4,75 mm).
- 2) Pasir dan agregat halus hasil pemecahan harus disimpan terpisah dari agregat kasar untuk menjaga kualitas campuran.
- 3) Pasir dan agregat halus pecah wajib ditumpuk secara mandiri dan disuplai ke unit pencampur aspal oleh penampung dingin (*cold bin feeds*) yang berbeda, agar proporsi pasir dan gradasi campuran dapat dikontrol secara akurat.
- 4) Pasir alami dapat dimasukkan dalam campuran *Asphalt Concrete* (AC) dengan batas maksimum 15% dari total berat campuran.
- 5) Agregat halus harus memenuhi persyaratan teknis yang telah ditetapkan.

Tabel 3.3 Ketentuan agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60 %
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 C117:2002	Maks. 10%

(Sumber : Spesifikasi Umum Untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan Bina Marga, 2024)

### 3.5.3 Filler

*Filler* merupakan agregat halus yang melewati saringan No. 200, berbentuk abu (*dust*) atau memiliki ukuran butiran kurang dari 0,075 mm. *Filler* digunakan dalam campuran aspal untuk mengisi celah-celah dalam campuran, memperbaiki daya lekat antara aspal dan agregat, serta meningkatkan kestabilan campuran aspal beton. (Saodang, 2005).

Pengisian *filler* dilakukan secara sistematis, karena kelebihan bahan pengisi dalam campuran dapat membuat aspal beton menjadi terlalu kaku dan rentan retak, meskipun telah ditambahkan aspal dalam jumlah cukup untuk menjaga kelentukan. Sebaliknya, kekurangan *filler* akan menyebabkan campuran menjadi terlalu lentur

sehingga mudah mengalami deformasi akibat tekanan roda kendaraan dan menghasilkan permukaan jalan yang bergelombang. Jenis *filler* yang dapat digunakan antara lain: abu batu, semen portland (PC), debu dolomit, abu terbang, debu tanur tinggi, serta serbuk Bunga Pinus yang dihaluskan sebagai *filler* (Gunarto & Candra, 2019). Dalam penelitian ini, bahan pengisi dipilih abu dari ampas tebu.

### 3.6 Gradasi

Gradasi merupakan distribusi ukuran butiran yang dianalisis melalui uji saringan. Gradasi agregat berpengaruh terhadap stabilitas atau kekuatan, sifat kedap air, dan berat jenis campuran. Sebaran butiran yang semakin merata akan menghasilkan gradasi yang lebih rapat, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi fluida. Selain itu, gradasi juga memengaruhi berat jenis campuran karena distribusi butiran yang merata akan memperkecil rongga udara yang tersisa dalam campuran padat (Sukirman, 2016).

memiliki peran penting dalam campuran beraspal karena berfungsi memberikan kekuatan yang berdampak langsung pada stabilitas campuran. Hal ini terjadi melalui mekanisme saling mengunci (*interlocking*) antar partikel agregat kasar yang membentuk struktur padat dan kokoh. (Sukirman, 2016).

Gradasi agregat didapat melalui analisis menggunakan satu rangkaian saringan, di mana saringan berukuran paling besar ditempatkan di bagian atas dan yang berukuran paling kecil berada di bagian bawah. Rangkaian saringan ini dimulai dengan pan di bagian dasar dan ditutup dengan penutup di bagian atas. Berdasarkan hasil analisis tersebut, gradasi agregat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis :

a. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Gradasi seragam merupakan jenis gradasi agregat yang terdiri dari butiran dengan ukuran hamper sama. Gradasi ini juga dikenal sebagai gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus, sehingga menghasilkan banyak celah atau ruang kosong di antara butiran agregat. Campuran beraspal dengan gradasi ini cenderung memiliki sifat porus atau permeabilitas tinggi, stabilitas rendah, serta berat jenis yang relatif kecil.

b. Gradasi rapat (*Dense graded*)

Gradasi rapat merupakan jenis gradasi agregat yang memiliki distribusi butiran dari agregat kasar hingga halus dalam proporsi seimbang. Karena sebaran ukurannya merata, gradasi ini sering disebut sebagai gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). Agregat gradasi rapat mampu membentuk lapisan perkerasan yang memiliki stabilitas tinggi, namun cenderung kurang kedap air, memiliki sifat drainase yang buruk, dan berat jenis yang besar.

c. Gradasi senjang (*Gap graded*)

Gradasi senjang merupakan jenis gradasi agregat yang ditandai dengan jumlah yang sangat sedikit dari salah satu fraksi ukuran agregat, sehingga distribusi ukurannya tidak lengkap. Campuran beraspal yang menggunakan agregat gradasi senjang akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan kualitas yang berada di antara gradasi seragam dan gradasi rapat.

### 3.7 Abu Ampas Tebu

Tebu adalah tanaman yang dimanfaatkan sebagai bahan baku utama dalam industri gula, di mana batangnya diperas menggunakan mesin pemeras di pabrik gula. Abu ampas tebu merupakan residu hasil pembakaran ampas tebu, yang berasal dari limbah padat berlimpah hasil proses produksi gula (Rahmania et al., 2021).

Menurut data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), hasil ampas tebu mencapai sekitar 32% dari total berat tebu yang digiling. Dari jumlah tersebut, sekitar 60% telah dimanfaatkan oleh pabrik gula sebagai bahan bakar, bahan baku pembuatan kertas, media tanam untuk industri jamur, bahan baku kanvas rem, dan berbagai keperluan lainnya. Namun, sekitar 40% dari ampas tebu tersebut masih belum dimanfaatkan secara optimal. Berdasarkan data tersebut, muncul dorongan untuk mencari solusi atas limbah ampas tebu yang belum termanfaatkan, salah satunya dengan menjadikannya sebagai *filler* campuran aspal beton (Rosyad & Putri, 2024).

Beberapa keuntungan yang menonjol dari penggunaan abu ampas tebu sebagai bahan *filler* antara lain ketersediaannya yang melimpah. Abu ampas tebu diyakini mengandung senyawa silika ( $\text{SiO}_2$ ), yang apabila dicampurkan dengan semen dan air, dapat berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan tekan dan kekuatan tarik

pada campuran aspal. Potensi ini menjadikan abu ampas tebu sebagai alternatif *filler* yang tidak hanya ekonomis, tetapi juga fungsional dalam memperbaiki performa campuran aspal beton (Rahmania et al., 2021).

Tabel 3.4 Senyawa kimia abu ampas tebu

Senyawa Kimia	Persentase (%)
SiO <sub>2</sub>	71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,8
CaO	3,4
MgO	0,3
K <sub>2</sub> O	8,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,0
MnO	0,2

(Sumber : Sulaiman F, 2019)

### 3.8 Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal perkiraan, atau yang disebut juga kadar aspal rencana, merupakan kadar aspal ideal atau tengah dalam suatu campuran. Estimasi awal kadar aspal ideal dalam perencanaan campuran aspal dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Pb = 0,035 CA + 0,045 FA + 0,18 \text{ filler} + K \quad (3.1)$$

Keterangan :

Pb = kadar aspal rencana

CA = agregat tertahan saringan No. 8

FA = agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan di saringan No. 200

*filler* = agregat halus lolos saringan No. 200

K = konstanta 0,5 – 1 untuk lapis AC

### 3.9 Marshall Test

Pengujian *Marshall* yaitu metode yang digunakan untuk mengetahui beban maksimum yang dapat ditahan oleh spesimen sebelum rusak (*Marshall Stability*), serta besarnya deformasi plastis sebelum kegagalan terjadi (*Marshall Flow*). Perbandingan antara kedua nilai tersebut disebut *Marshall Quotient* (MQ). Konsep

dasar dari metode ini adalah penilaian terhadap stabilitas dan kelelahan campuran. Alat yang digunakan mencakup mesin tekan dengan *proving ring* berkapasitas 22,2 kN (5000 lbs) untuk mengukur stabilitas, dan *flow* meter untuk mencatat nilai deformasi plastis (Kumalawati et al., 2013).



Gambar 3.4 Alat *marshall*

(Sumber : Dokumentasi penulis, 2025)

Berikut adalah karakteristik *Marshall* yang dapat diketahui melalui parameter parameter berikut:

a. *Void in the Mineral Aggregate* (VMA)

*Void in Mineral Aggregate* (VMA) merupakan volume rongga udara yang terdapat di antara partikel-partikel agregat dalam campuran aspal panas yang telah dipadatkan, termasuk ruang yang diisi oleh aspal. Nilai VMA dinyatakan dalam bentuk persentase terhadap total volume campuran agregat dan aspal. VMA menggambarkan ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal serta rongga udara yang dibutuhkan dalam campuran. Besarnya VMA dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti bentuk gradasi agregat, intensitas pemadatan, kadar aspal, bentuk butiran, tekstur permukaan agregat, dan tingkat penyerapan air oleh agregat (Bakri, 2020). VMA dihitung dengan persamaan :

$$VMA = 100 - \left( \frac{(100 - \text{kadar aspal}) \cdot \text{Berat volume benda uji}}{BJ \text{ Agregat}} \right) \quad (3.2)$$

b. *Void In Mixture* (VIM)

VIM (*Void In Mix*) adalah jumlah pori-pori yang terdapat di antara butiran agregat yang telah dilapisi oleh aspal. Nilai VIM dinyatakan sebagai persentase terhadap volume total campuran beton aspal yang telah dipadatkan. VIM

merepresentasikan volume rongga yang masih tersisa setelah proses pemadatan selesai. Jika nilai VIM terlalu tinggi, maka kadar aspal dalam campuran cenderung rendah, yang dapat mempercepat terjadinya kelelahan. Sebaliknya, jika nilai VIM terlalu rendah, campuran menjadi sangat kedap terhadap air dan udara, sehingga dapat memicu proses oksidasi dan menyebabkan aspal menjadi rapuh atau getas (Saudi et al., 2023). VIM dihitung dengan persamaan:

$$\text{VIM} = 100 - \left( 100 \times \frac{\text{Berat isi}}{\text{BJ maksimum teoritis}} \right) \quad (3.3)$$

Berat jenis maksimum teoritis:

$$\text{BJ} = \frac{100}{\frac{100 - \text{kadar aspal}}{\text{BJ Agregat}} + \frac{\text{kadar aspal}}{\text{BJ aspal}}} \quad (3.4)$$

c. *Void Filled with Asphalt* (VFA)

VFA merupakan persentase volume rongga antar agregat yang terisi aspal, tanpa menghitung aspal yang terserap. Agar perkerasan awet, pori agregat harus terisi cukup aspal untuk membentuk lapisan pelindung yang optimal (Raffles & Umar, 2023). Nilai VFA diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{VFA} = 100 \times \left( \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \right) \quad (3.5)$$

d. Stabilitas

Stabilitas adalah daya tahan lapisan perkerasan terhadap deformasi akibat beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk permanen seperti gelombang, alur (*rutting*), atau *bleeding*. Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan dial stabilitas saat pengujian menggunakan alat *Marshall*, lalu dihitung dengan mencocokkan angka kalibrasi pada *proving ring* dalam satuan lbs atau kg dan disesuaikan dengan faktor koreksi berdasarkan ketebalan benda uji setelah proses pemadatan (Ramadhan et al., 2024). Nilai stabilitas diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S = P \times q \quad (3.6)$$

Keterangan:

P = Pembacaan alat

q = kalibrasi *marshall*

e. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah besarnya penurunan pada campuran benda uji akibat pembebanan hingga mencapai titik runtuh, dinyatakan dalam satuan (mm). *Flow* berfungsi sebagai indikator kelenturan campuran aspal panas dalam menghadapi beban lalu lintas. Kelelehan mencerminkan besarnya deformasi yang terjadi sejak awal pembebanan hingga nilai stabilitas mulai menurun, menunjukkan seberapa besar perubahan bentuk campuran perkerasan akibat tekanan yang diterimanya. Campuran dengan nilai *flow* tinggi dan stabilitas rendah cenderung bersifat plastis, sehingga mudah berubah bentuk saat menerima beban lalu lintas. Sebaliknya, campuran dengan *flow* rendah dan stabilitas tinggi cenderung bersifat getas, sehingga lebih rentan mengalami retak saat terkena beban lalu lintas berat dan intens (Bitu et al., 2024).

f. *Marshall Quotient* (MQ)

*Marshall Quotient* (MQ), yang merupakan rasio antara stabilitas dan kelelehan, digunakan sebagai indikator tingkat kekakuan dari spesimen uji. Nilai MQ yang tinggi menandakan bahwa campuran aspal memiliki sifat kaku, menunjukkan kepadatan yang baik serta stabilitas yang tinggi. Sebaliknya, nilai MQ yang rendah mengindikasikan campuran aspal yang lebih lunak dan kurang stabil, sehingga berisiko mengalami retak pada permukaan serta geseran horizontal searah dengan arah lalu lintas (Irianto, 2021).

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Kelelehan}} \quad (3.7)$$