

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 DEFINISI PERKERASAN JALAN

Tanah saja tidak cukup kuat dan tahan, tanpa adanya deformasi yang berarti, terhadap beban roda berulang. Untuk itu perlu lapis tambahan yang terletak antara tanah dan roda, atau lapis paling atas dari badan jalan. Lapis tambahan ini disebut dengan lapis keras/ perkerasan/ *pavement*. Berdasarkan bahan pengikatnya, lapisan perkerasan jalan di bagi menjadi dua kategori, antara lain perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan lentur (*flexible pavement*).

3.1.1 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku atau *rigid pavement* merupakan perkerasan yang terdiri atas plat (slab) beton semen sebagai lapis pondasi dan lapis pondasi bawah (bisa juga tidak ada) di atas tanah dasar. Dalam konstruksi perkerasan kaku, plat beton sering disebut lapis pondasi karena masih adanya lapisan aspal beton pada bagian atasnya yang berfungsi sebagai lapis permukaan.

3.1.2 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur atau *flexible pavement* merupakan perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Bahan perkerasan lentur terdiri atas, bahan ikat (aspal, agregat halus) dan agregat kasar. Perkerasan ini, pada umumnya terdiri atas tiga lapis atau lebih, yaitu lapis permukaan, lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, dan tanah dasar (*subgrade*).

Lapisan tanah dasar (*subgrade*) merupakan bagian terbawah dari perkerasan jalan. Apabila kondisi tanah pada lokasi pembangunan jalan mempunyai spesifikasi yang direncanakan maka tanah tersebut akan langsung dipadatkan dan digunakan.

Pada umumnya, lapisan ini berkisar antara 50 – 100 cm. Lapisan ini berfungsi sebagai tempat perletakan jalan.

Lapisan pondasi bawah (*subbase course*) merupakan lapisan yang berada di bawah lapisan pondasi atas dan di atas lapisan tanah dasar. Lapisan ini berfungsi untuk menyebarkan beban dari lapisan pondasi bawah ke lapisan tanah dasar. Lapisan ini juga berfungsi untuk menghemat penggunaan material yang digunakan pada lapisan pondasi atas, karena pada umumnya menggunakan material dengan kualitas di bawahnya. Selain itu, lapisan pondasi bawah juga berfungsi untuk mencegah partikel halus masuk ke dalam material perkerasan jalan dan melindungi air agar tidak masuk ke lapisan di bawahnya.

Lapisan pondasi atas (*base course*) terletak dibawah lapisan permukaan. Lapisan ini berfungsi untuk menahan gaya lintang akibat beban roda dan meneruskan beban ke lapisan di bawahnya, sebagai bantalan untuk lapisan permukaan dan lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah. Material yang digunakan untuk lapisan ini diharuskan material dengan kualitas yang tinggi sehingga kuat menahan beban yang direncanakan.

Lapisan permukaan (*surface course*) merupakan lapisan yang berada paling atas pada suatu jalan raya. Lapisan pada jalan arteri pada umumnya, terdiri dari tiga lapisan yaitu *Asphalt concrete Base (AC-Base)*, *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*, dan *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.

3.2 FUNGSI PERKERASAN

Fungsi utama perkerasan adalah menyebarkan beban roda ke area permukaan tanah dasar yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dan perkerasan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah dasar, yaitu pada tekanan dimana tanah dasar tidak mengalami deformasi berlebihan selama masa pelayanan perkerasan. Secara umum, fungsi perkerasan adalah sebagai berikut.

1. Untuk memberikan struktur yang kuat dalam mendukung beban lalu lintas.
2. Untuk memberikan permukaan rata bagi pengendara.

3. Untuk memberikan kekesatan atau tahanan gelincir (*skid resistance*) di permukaan perkerasan.
4. Untuk mendistribusikan beban kendaraan ke tanah dasar secara memadai, sehingga tanah dasar terlindung dari tekanan yang berlebihan.
5. Untuk melindungi tanah dasar dari pengaruh buruk perubahan cuaca.

3.3 MATERIAL KONSTRUKSI PERKERASAN

Material dalam pengerjaan konstruksi perkerasan lapis aspal terdiri dari aspal, agregat (agregat halus dan agregat kasar), dan *filler*.

3.3.1 Aspal

Aspal merupakan material berwarna hitam atau coklat tua. Pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, yang jika dipanaskan hingga temperatur tertentu dapat menjadi lunak/ cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan campuran aspal beton. Aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (bersifat termoplastis).

Hidrocarbon adalah bahan dasar utama dari aspal yang umumnya disebut bitumen, sehingga aspal sering juga disebut bitumen. Aspal merupakan salah satu material konstruksi perkerasan lentur. Aspal merupakan komponen kecil, umumnya 4 – 10% dari berat campuran, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal. Aspal umumnya berasal dari salah satu hasil destilasi minyak bumi (aspal minyak) dan bahan alami (aspal alam).

Aspal minyak (aspal semen) bersifat mengikat agregat pada campuran aspal beton dan memberikan lapisan kedap air, serta tahan terhadap pengaruh asam, basa, dan garam. Sifat aspal akan berubah akibat panas dan umur, aspal akan menjadi kaku dan rapuh dan akhirnya daya adhesinya terhadap partikel agregat akan berkurang.

Fungsi aspal sebagai perkerasan jalan adalah sebagai berikut.

1. Sebagai pengikat batuan agar tidak lepas dari permukaan jalan akibat lalu lintas (*water proofing, protect*) terhadap erosi air.

2. Sebagai bahan pelapis dan perekat agregat.
3. Sebagai lapis resap pengikat (*prime coat*). *Prime coat* merupakan lapisan tipis aspal cair yang diletakkan di atas lapisan pondasi sebelum lapis berikutnya.
4. Sebagai lapis pengikat (*tack coat*). *Tack coat* merupakan lapis aspal cair yang diletakkan di atas jalan yang telah beraspal sebelum lapis berikutnya dihampar, berfungsi sebagai pengikat di antara keduanya.
5. Aspal juga berfungsi sebagai pengisi ruang yang kosong antara agregat kasar, agregat halus, dan *filler*.

Terdapat beberapa lapisan aspal pada perkerasan jalan, meliputi.

1. Laston sebagai lapisan pondasi, atau yang disebut *AC-Base (Asphalt Concrete-Base)* dengan tebal minimum *AC-Base* adalah 7,5 cm. Lapisan ini merupakan perkerasan yang terletak di bawah lapis pengikat (*AC-BC*). Perkerasan tersebut tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk menahan beban lalu lintas yang disebarkan melalui roda kendaraan. Perbedaan terletak pada jenis gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (DPU) Laston atas atau lapisan pondasi atas (*AC-Base*) merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Lapis pondasi (*AC-Base*) mempunyai fungsi memberi dukungan lapis permukaan, mengurangi regangan dan tegangan, menyebarkan dan meneruskan beban konstruksi jalan di bawahnya (*Sub Grade*).
2. Laston sebagai lapisan pengikat, atau yang disebut *AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course)* dengan tebal minimum *AC-BC* adalah 6 cm. Lapisan ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (*Wearing Course*) dan di atas lapisan pondasi (*Base*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan atau regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan di bawahnya yaitu *Base* dan *Sub Grade* (Tanah dasar). Karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas.

3. Laston sebagai lapisan aus, disebut *AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course)* dengan tebal minimum *AC-WC* adalah 4 cm. Lapisan ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berhubungan langsung dengan roda kendaraan. Lapisan ini berfungsi sebagai pertahanan terhadap perubahan cuaca, gaya geser, tekanan roda ban kendaraan dan memberikan lapis kedap air untuk lapisan dibawahnya. Walaupun bersifat non struktural, *AC-WC* dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan.
4. *Prime coat* merupakan aspal cair yang digunakan untuk merekatkan lapisan pondasi sirtu (pasir batu) dengan lapisan *AC-Base (Asphalt Concrete-Base)*.
5. *Tack coat* merupakan aspal cair yang digunakan untuk merekatkan lapisan *AC-Base (Asphalt Concrete-Base)* dengan lapisan *AC-BC (Asphalt Concrete-Base Course)* juga lapisan *AC-BC (Asphalt Concrete-Base Course)* dengan lapisan *AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course)*. *Tack coat* hampir sama dengan *prime coat* hanya saja karena digunakan untuk merekatkan sesama aspal, maka aspal tersebut lebih cair dibandingkan *prime coat*.

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3) Bab VII Spesifikasi Umum, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal, setiap jenis lapisan memiliki ketebalan tersendiri seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal

| Jenis Campuran | | Simbol | Tebal Nominal Minimum (cm) |
|----------------|---------------|---------|----------------------------|
| Laston | Lapis Aus | AC-WC | 4,0 |
| | Lapis Antara | AC-BC | 6,0 |
| | Lapis Pondasi | AC-Base | 7,5 |

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010 (Revisi 3) Bab VII Spesifikasi Umum, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal)

Pada penelitian ini, akan digunakan aspal Starbit E-60 dengan ketentuan seperti pada Tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.2 Syarat Aspal Starbit E-60

| No | Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Hasil Uji | Satuan | Starbit E-60 | |
|----|-------------------------------------|------------------|-----------|--------|--------------|------|
| | | | | | Min | Max |
| 1 | Penetrasi pada 25°C | SNI 06-2456-1991 | 40,90 | mm | 40 | |
| 2 | Titik Lembek | SNI 06-2434-1991 | 63,00 | °C | 54 | |
| 3 | Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit | SNI 06-2432-1991 | 110,67 | cm | 100 | |
| 4 | Indeks Penetrasi | | 1,11 | | 0,4 | |
| 5 | Kadar Aspal | SNI 06-2438-1991 | 99,88 | % | 99 | |
| 6 | Titik Nyala (COC) | SNI 06-2433-1991 | 300++ | °C | 232 | |
| 7 | Berat Jenis | SNI 06-2441-1991 | 1,027 | | 1 | |
| 8 | Kehilangan Berat (RTFOT) | SNI 06-2440-1991 | -0,080 | % | | 0,8 |
| 9 | Penetrasi, setelah RTFOT | SNI 06-2456-1991 | 75,79 | % | 54 | |
| 10 | Titik Lembek, setelah RTFOT | SNI 06-2434-1991 | 65,00 | °C | | |
| 11 | Indeks Penetrasi, setelah RTFOT | | 0,85 | | 0,4 | |
| 12 | Viskositas pada suhu 135°C | SNI 06-6441-2000 | 2165,46 | cst | | 3000 |
| 13 | Temperatur Campuran (0,2 – 0,5 PAS) | | 169 - 206 | °C | | |
| 14 | Temperatur Pemasakan (1 – 2 PAS) | | 136 - 150 | °C | | |
| 15 | Elastis Recovery | AASHTO T 301-98 | 87,50 | % | 60 | |
| 16 | Stabilitas Penyimpanan | ASTM D 5976-87 | 2,00 | °C | | 2,2 |

(Sumber : PT. Bintang Djaja)

3.3.2 Agregat

Agregat merupakan butiran batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lain baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat dan mempunyai ukuran besar maupun kecil (Departemen Pekerjaan Umum-Direktorat Jendral Bina Marga, 2010). Agregat di bagi menjadi 3, yaitu:

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang tertahan pada ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel atau pecahan batu atau kerikil yang keras dan awet yang memenuhi persyaratan. Bahan yang pecah bila berulang-ulang dibasahi dan dikeringkan tidak boleh digunakan. Ketentuan mengenai agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Ketentuan Agregat Kasar

| Pengujian | | Standar | Nilai |
|---|---|---------------|-------------|
| Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan | Natrium sulfat | SNI 3407:2008 | Maks. 12 % |
| | Magnesium sulfat | | Maks. 18 % |
| Abrasi dengan mesin Los Angeles | Campuran AC Modifikasi | SNI 2417:2008 | 100 putaran |
| | | | 500 putaran |
| | Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya | | 100 putaran |
| | | | 500 putaran |
| | | | Maks. 6 % |
| | | | Maks. 30 % |
| | | | Maks. 8 % |
| | | | Maks. 40 % |

| | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|------------|
| Kelekatan agregat terhadap aspal | SNI 2439:2011 | Min. 95 % |
| Butir Pecah pada Agregat Kasar | SNI 7619:2012 | 95/90 |
| Partikel Pipih dan Lonjong | ASTM D4791 Perbandingan 1 : 5 | Maks. 10 % |
| Material lolos ayakan no.200 | SNI 03-4142- 1996 | Maks. 2 % |

(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010 Revisi 3 Divisi 6)

2. Agregat Halus

Agregat halus yang lolos ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel pasir alami atau batu pecah halus dan partikel halus lainnya yang memenuhi persyaratan. Ketentuan mengenai agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4 Ketentuan Agregat Halus

| Pengujian | Standar | Nilai |
|--|--------------------|------------|
| Nilai setara pasir | SNI 03-4428-1997 | Min. 60 % |
| Angularitas dengan uji kadar rongga | SNI 03-6877-2002 | Min. 45 % |
| Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat | SNI 03-4141-1996 | Maks. 1 % |
| Agregat lolos ayakan no.200 | SNI ASTM C117:2012 | Maks. 10 % |

(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010 Revisi 3 Divisi 6)

3. Bahan pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) merupakan bahan yang 75% lolos ayakan no.200, dan dapat terdiri dari abu batu, abu batu kapur, kapur padam, semen (PC) atau bahan non plastis lainnya. Bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu.

3.4 KARAKTERISTIK CAMPURAN PERKERASAN

Karakteristik campuran perkerasan merupakan sifat-sifat khusus suatu perkerasan untuk menentukan kualitas perkerasan yang dihasilkan. Perkerasan harus memenuhi karakteristik tertentu agar menghasilkan lapis perkerasan yang aman, nyaman, dan awet. Karakteristik campuran perkerasan yang harus dimiliki oleh aspal adalah sebagai berikut.

Stabilitas (*Stability*) adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah. Hal ini menghasilkan aspal tipis dan mengakibatkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian kestabilan yang tinggi dapat diperoleh.

Keawetan (*Durability*) adalah kemampuan perkerasan jalan untuk mencegah terjadinya perubahan pada aspal, kehancuran agregat, dan mengelupasnya selaput aspal pada batuan agregat akibat cuaca, air, suhu udara dan keausan akibat gesekan dengan roda kendaraan. Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal adalah sebagai berikut.

- a. *Void in Total Mix (VITM)* kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).
- b. *Void In Mineral Aggregate (VMA)* besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika *VMA* dan *VITM* kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar.
- c. *Film* (selimut) aspal, *film* aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang durabilitasnya tinggi tetapi rentan menyebabkan *bleeding*.

Kelenturan (*Flexibility*) adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas ataupun akibat beban sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli.

Kekesatan/ tahanan geser (*Skid Resistance*) adalah ketahanan atau kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik ketika hujan atau ketika kering. Tahanan geser, terjadi jika.

- a. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*.
- b. Penggunaan agregat berbentuk kubus.
- c. Penggunaan agregat kasar yang cukup.

Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigue Resistance*) adalah ketahanan kelelahan atau ketahanan dari lapis aspal dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak.

Kedap air (*Impermeability*) adalah kemampuan perkerasan untuk tidak dapat dimasuki air dan udara. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan aspal dari permukaan agregat.

Kemudahan pelaksanaan (*Workability*) adalah mudahnya suatu campuran aspal untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.

3.5 MARSHALL TEST

Pengujian *Marshall Test* dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari suatu campuran aspal. Parameter *marshall test* adalah: stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), *VITM* (*Void in Total Mix*), *Density* dan *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*).

3.5.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan campuran beton aspal menahan beban sampai terjadi kelelahan plastis atau deformasi akibat beban kendaraan yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan yang berarti. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan, gradasi agregat, daya lekat, dan kadar aspal dalam suatu campuran.

Menurut Sukirman (1993), stabilitas yang terlalu tinggi juga kurang baik mengingat perkerasan akan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas diperoleh dengan pembacaan langsung pada alat uji dengan pembacaan jarum dial pada saat *Marshall Test*. Stabilitas menunjukkan kekuatan, ketahanan terhadap terjadinya alur (*rutting*) dan menunjukkan batas maksimum beban diterima oleh suatu campuran beraspal saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram.

Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1 berikut ini.

$$S = p \times q \quad (3.1)$$

Keterangan:

S = nilai stabilitas,

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan

q = angka koreksi benda uji.

3.5.2 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Suatu campuran yang memiliki nilai *flow* rendah dengan stabilitas yang tinggi cenderung menjadi kaku dan getas, sedangkan campuran yang memiliki nilai *flow* tinggi dan stabilitas rendah cenderung bersifat plastis dan mudah berubah bentuk saat terbebani oleh lalu lintas. Nilai *flow* didapatkan dari pembacaan arloji *flow* saat *Marshall Test* berlangsung dalam satuan mm.

3.5.3 Marshall Quotient (*MQ*)

Marshall Quotient (MQ) adalah perbandingan antara stabilitas dengan nilai *flow*. Semakin besar nilai *MQ*, maka campuran akan bersifat kaku dan sebaliknya semakin kecil nilai *MQ*, maka campuran akan bersifat lentur / plastis. Nilai *MQ* dapat diperoleh dari persamaan 3.2 berikut.

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (3.2)$$

Keterangan:

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm),

S = nilai stabilitas toleransi (kg), dan

F = nilai *flow* (mm).

3.5.4 *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan, gradasi dan kadar aspal. Nilai *VMA* berpengaruh terhadap sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran.

Perhitungan *VMA* terhadap campuran total dapat diperoleh dari persamaan 3.3 dan persamaan 3.4 berikut.

a. Terdapat berat campuran total

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (3.3)$$

Keterangan:

VMA = rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk,

G_{sb} = berat jenis bulk agregat,

G_{mb} = berat jenis bulk campuran padat, dan

P_s = kadar agregat, persen terhadap berat total campuran.

b. Terhadap berat agregat total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \times 100 \quad (3.4)$$

Keterangan:

- VMA = rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk,
 G_{sb} = berat jenis bulk agregat,
 G_{mb} = berat jenis bulk campuran padat, dan
 P_b = kadar aspal persen terhadap berat total campuran.

3.5.5 Void in Total Mix (VITM)

Rongga di dalam campuran/ *Void in Total Mix (VITM)* merupakan persentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Nilai *VITM* akan semakin kecil jika kadar aspal semakin besar. Hal ini karena rongga antar agregat akan semakin terisi aspal. *VITM* yang semakin tinggi akan mengakibatkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak. Volume rongga udara dalam persen dapat diperoleh dari persamaan 3.5 berikut.

$$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \quad (3.5)$$

Keterangan:

- V_a = rongga udara campuran, persen total campuran,
 G_{mm} = berat jenis maksimum campuran agregat rongga udara 0 (nol), dan
 G_{mb} = berat jenis *bulk* campuran padat.

3.5.6 Void Filled With Asphalt (VFWA)

Rongga terisi aspal/ *VFWA (Void Filled With Asphalt)* adalah persentase rongga terisi aspal pada suatu campuran setelah dipadatkan. Besarnya nilai *VFWA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, jumlah tumbukan dan temperatur saat pemadatan. Semakin besar nilai *VFWA* maka semakin banyak aspal yang terisi di dalam rongga, sehingga kedapatan campuran terhadap air dan udara semakin besar, namun nilai *VFWA* yang tinggi akan menyebabkan terjadinya *bleeding*. Sebaliknya semakin kecil nilai *VFWA* maka kedapatan campuran terhadap air dan udara semakin kecil, sehingga aspal mudah teroksidasi. Hal ini mengakibatkan nilai keawetan berkurang.

Besarnya nilai *VFWA* dapat dihitung menggunakan persamaan 3.6 berikut ini.

$$VFWA = \frac{100 (VMA \times V_a)}{G_{mm}} \quad (3.6)$$

Keterangan:

$VFWA$ = rongga terisi aspal, persen $VITM$,

VMA = rongga di antara mineral agregat, persen volume *bulk*, dan

V_a = rongga udara campuran, persen total campuran.

3.5.7 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan atau *density* merupakan tingkat kerapatan suatu campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan kepadatannya semakin baik. Nilai dari *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis dan kualitas bahan penyusun, gradasi campuran, jumlah pemadatan, temperatur pemadatan, kadar aspal, serta penambahan bahan *additive* dalam campuran. Suatu campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan campuran yang memiliki nilai *density* yang rendah. Nilai *density* juga mempengaruhi kekedapan campuran, semakin besar nilai *density* maka semakin rapat suatu campuran sehingga menjadi semakin kedap terhadap air dan udara.

Nilai kepadatan atau *density* dapat dihitung dengan Persamaan 3.7 dan Persamaan 3.8 berikut ini.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.7)$$

$$f = d - e \quad (3.8)$$

Keterangan:

g = nilai *density* (gr/cc),

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

d = berat benda uji dalam keadaan jenuh (gr),

e = berat dalam air (gr), dan
 f = volume benda uji (cm^3).

3.6 IMMERSION TEST

Salah satu karakteristik dari campuran beton aspal adalah durabilitas. Sifat ini berhubungan dengan ketahanan suatu campuran dari kerusakan akibat pengaruh cuaca, air, dan beban lalu lintas. *Immersion Test* atau uji perendaman *Marshall* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh cuaca, air, dan beban lalu lintas (durabilitas). Pengujian ini prinsipnya sama dengan pengujian *Marshall* standar, hanya waktu perendaman di dalam *waterbath* yang berbeda. Menurut AASHTO T.165-74 atau ASTM D.1075-54 (1969) ada dua metode uji perendaman *Marshall* (*Immersion Test*) yaitu uji perendaman selama 4 x 24 jam dengan suhu 50° C dan uji perendaman selama 1 x 24 jam dengan suhu 60° C. Pada penelitian ini dipakai metode uji perendaman (*Marshall*) 24 jam dalam suhu konstan 60°C sebelum pembebanan diberikan.

Hasil perhitungan Indeks Kekuatan Sisa *Marshall* (*Marshall Index of Retained Strength*) adalah perbandingan antara stabilitas *Marshall* benda uji setelah perendaman 24 jam (S_2) yang dibandingkan dengan stabilitas benda uji campuran standar (S_1) yang dinyatakan dalam persen. Kehilangan stabilitas yang terjadi akibat perendaman merupakan ukuran ketahanan terhadap pengaruh air. Seperti tercantum pada persamaan 3.9 di bawah ini.

$$\text{Index of Retained Strength} = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.9)$$

Keterangan:

S_1 = stabilitas standar, dan

S_2 = stabilitas setelah direndam selama 24 jam.

Apabila indeks tahanan campuran lebih atau sama dengan ($\geq 75\%$), campuran tersebut dapat dikatakan memiliki tahanan yang cukup baik dari kerusakan akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca.

3.7 *INDIRECT TENSILE STRENGTH (ITS) TEST*

Indirect Tensile Strength (ITS) Test adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal atau *asphalt concrete*. Sifat uji ini adalah kegagalan gaya tarik yang berguna untuk memperkirakan potensial retakan. Campuran lapisan perkerasan yang baik dapat menahan beban maksimum, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan.

Gaya tarik tidak langsung menggunakan benda uji yang berbentuk silindris yang mengalami pembebanan tekan dengan dua plat penekan yang menciptakan tegangan tarik yang tegak lurus sepanjang diameter benda uji sehingga menyebabkan pecahnya benda uji. Pengujian gaya tarik tidak langsung secara normal dilaksanakan menggunakan *Marshall* yang telah dimodifikasikan dengan pelat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian penekan *Marshall*. Pengukuran kekuatan tarik dihentikan apabila jarum pengukur pembebanan telah berbalik arah atau berlawanan dengan arah jarum jam.

Indirect Tensile Strength Test adalah kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban. Nilai *ITS* dapat diperoleh dari persamaan 3.10 seperti berikut.

$$ITS = \frac{2 \times P}{\pi \times d \times h} \quad (3.10)$$

Keterangan:

ITS = kuat tarik tidak langsung (N/mm^2),

P runtuh = beban puncak (N),

h = tinggi sampel (mm), dan

d = diameter benda uji (mm).