

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Jalan merupakan salah satu fasilitas yang sangat penting bagi manusia untuk menunjang kehidupan sehari-hari. Lapis perkerasan kontruksi pada perkerasan lentur mempunyai bermacam macam jenis, salah satunya adalah beton aspal. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Kontruksi perkerasan lentur diletakkan tepat di atas tanah yang sudah dipadatkan (Tahir, 2009). Kondisi perkerasan jalan akan selalu mengalami penurunan dari waktu ke waktu yang diakibatkan dari beban lalu lintas dan beberapa faktor seperti faktor lingkungan yang mengharuskan adanya pemeliharaan secara berkala (Setyawan, 2013). Atau bisa juga dengan menggunakan agregat yang bagus dan kuat untuk menampung beban lalu lintas yang berat.

Pada dasarnya, bahan-bahan yang digunakan pada campuran beton aspal adalah aspal, agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Namun, pada penelitian ini penulis menggunakan campuran *steel slag* atau limbah baja sebagai agregat kasar dengan mengganti 100% saringan no. 1/2 dan agregat halus dengan mengganti 50% saringan no. 30.

*Steel slag* merupakan sebuah produk yang berasal dari industri baja dan sangat berpotensi untuk dapat menggantikan agregat narural di kontruksi jalan (Hainin, 2012). *Steel slag* terbentuk dari mineral-mineral yang digunakan sebagai pemurnian baja dari dapur bersuhu sangat tinggi (Rahmawati, 2017). Batuan *steel slag* ini mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi dan juga mempunyai permukaan yang kasar sehingga batuan ini sangat menguntungkan untuk digunakan sebagai campuran pada perkerasan jalan (Hartati, 2009). Agregat *steel slag* yang jika digabungkan dengan agregat biasa akan dapat dimanfaatkan pada konstruksi perkerasan jalan dan dapat membuat perkerasan menjadi sangat kuat (Hainin dkk., 2013) Pemanfaatan *steel slag* juga dapat mengurangi limbah dan juga dapat mengurangi jumlah agregat konvensional pada kontruksi jalan raya sehingga dapat digunakan berkelanjutan dalam pembangunan jalan raya (Hainin dkk., 2012).

### 2.1.1 Penelitian Sebelumnya

Terdapat penelitian terdahulu yang bersangkutan dengan penelitian yang penulis lakukan, antara lain:

1. Analisis Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Dengan Menggunakan Plastik Bekas Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat

Gunadi dkk. (2013) melakukan penelitian dengan mengganti sebagian agregat dengan plastik dengan variasi 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% terhadap total berat agregat. Metode yang digunakan yaitu konstruksi perkerasan lentur yang menggunakan lapisan aspal beton atau laston. Dari penelitian ini didapatkan bahwa nilai stabilitas tertinggi terjadi pada penggunaan kadar plastik 50% sebesar 875,1 kg dan terendah pada kadar plastik 10% sebesar 527,0 kg. Nilai *Flow* tertinggi pada penggunaan kadar plastik 50% sebesar 7,11 mm dan terendah pada kadar 0% sebesar 3,43 mm. Sedangkan nilai *MQ* tertinggi pada penggunaan kadar plastik 0% dan terendah pada kadar plastik 10% masing-masing sebesar 251,7 kg/m dan 109,3 kg/m. Untuk nilai *VMA* tertinggi terjadi pada penggunaan kadar plastik 10% sebesar 20,3% dan terendah pada kadar plastik 0% sebesar 15,2%. Nilai *VIM* tertinggi pada penggunaan kadar plastik 50% dan terendah pada kadar plastik 0% masing-masing sebesar 12,6% dan 4,9%. Sedangkan nilai *VFB* tertinggi pada penggunaan kadar plastik 0% sebesar 67,9% dan terendah pada kadar 50% sebesar 37,3%.

Perbedaan antara penelitian di atas dengan penelitian yang penulis lakukan adalah pergantian agregat yang menggunakan limbah baja atau *steel slag* dan kadar pergantian agregat yaitu 100% agregat kasar pada saringan no. 1/2 dan 50% agregat halus pada saringan no. 30.

2. *Steel Slag an Aggregate Replacement In Malaysian Hot Mix Asphalt*

Hainin dkk. (2012) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menentukan kelayakan dalam penggunaan agregat *steel slag* dalam campuran *asphalt concrete binder 14 (ACW14)* dan *asphaltic concrete binder 28 (ACB28)*. Penelitian ini membandingkan hasil dari penggunaan agregat limbah baja dan agregat konvensional. Dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa pada campuran *steel slag* memiliki nilai kandungan aspal optimum yang lebih

tinggi dibandingkan dengan campuran aspal menggunakan agregat konvensional. Hal ini disebabkan oleh tingkat porositas agregat *steel slag* lebih tinggi. Hasil dari modulus resilien juga menunjukkan bahwa campuran *steel slag* memiliki nilai yang lebih tinggi daripada campuran agregat konvensional. Selain itu, pemakaian *steel slag* pada campuran aspal beton juga berpengaruh pada tingkat ketahanan beban yang memiliki nilai lebih tinggi dibanding campuran biasa. Namun, *steel slag* memiliki nilai deformasi dan regangan permanen yang lebih rendah daripada agregat konvensional yang disebabkan oleh sifat saling terikat *steel slag* yang memiliki sifat adesi yang lebih besar terhadap campuran.

Perbedaan antara penelitian di atas dengan penelitian yang penulis lakukan adalah peneliti tidak membandingkan penggunaan agregat *steel slag* dengan agregat konvensional dan juga peneliti tidak menggunakan pengujian modulus resilien, *rutting*, dan *creep test*. Penulis juga hanya menggunakan campuran AC-WC.

### 3. Studi Pengaruh *Steel Slag* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Beton Terhadap Workabilitas dan Durabilitas

Hartati (2009) melakukan penelitian menggunakan campuran AC-WC dan membandingkan pengaruh yang didapatkan dari penggunaan *steel slag* terhadap kinerja workabilitas dan durabilitas. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin tinggi kandungan *steel slag* sebagai agregat kasar dalam suatu campuran, maka akan semakin rendah nilai workabilitasnya. Sedangkan nilai durabilitas akan naik jika adanya penambahan kadar *slag*. Nilai workabilitas yang baik yang didapat dipenelitian ini adalah pada saat kadar *slag* sebesar 25, sedangkan nilai durabilitas pada kadar *slag* 25% dengan kadar aspal optimum 5,575%.

Perbedaan antara penelitian di atas dengan penelitian yang dilakukan penulis adalah peneliti tidak membandingkan penggunaan *steel slag* sebagai campuran aspal beton terhadap workabilitas dan durabilitas.

4. Pengaruh Penggunaan Limbah *Steel Slag* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Ukuran ½” dan 3/8” Pada Campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS WC)*

Rahmawati (2017) melakukan penelitian menggunakan *steel slag* sebagai pengganti agregat kasar no. ½” dan 3/8” pada campuran *HRS*. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari penambahan *steel slag* dalam campuran *HRS* terhadap karakteristik *Marshall*. Dari penelitian ini diketahui bahwa penambahan kadar *steel slag* dengan persentase sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari total berat agregat No. 3/8” memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan penambahan kadar *steel slag* dengan ukuran ½” ditinjau dari karakteristik *Marshall* yang meliputi nilai stabilitas, *flow*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, dan *MQ*.

Perbedaan mendasar antara peneliti di atas dengan penelitian yang dilakukan penulis adalah peneliti di atas menggunakan variasi penambahan kadar *steel slag* dari berat agregat no. 3/8” dan juga menggunakan campuran *HRS*, sedangkan penulis menggunakan kadar *steel slag* dengan variasi penggantian 100% agregat kasar pada saringan no. ½” dan 50% agregat halus pada saringan no. 30 dengan memakai campuran *AC-WC* dan direndam menggunakan air laut.

5. *Laboratory Evaluation on Steel Slag as Aggregate Replecement in Stone Mastic Asphalt Mixture*

Hainin dkk. (2014) melakukan penelitian bertujuan untuk mengetahui penggunaan *slag* baja sebagai pengganti agregat pada campuran *mastic* aspal (*SMA*). Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan 50 pemadatan yang akan digunakan pada dua campuran, yaitu *SMA14* dan *SMA20* dimana dilakukan dengan standar spesifikasi *PWD (JKR/SPJ/2008-S4)*. Dari penelitian ini didapatkan bahwa agregat *steel slag* memenuhi semua persyaratan agregat yang akan digunakan dalam pembangunan jalan. Namun, nilai penyerapan air pada agregat *steel slag* pada campuran *SMA14* dan *SMA20* melebihi nilai yang ditetapkan pada *JKR/SPJ/2008-S4*, yang harusnya memiliki nilai yang lebih rendah dari 2,0%. Ini terjadi dikarenakan limbah baja memiliki lebih banyak pori yang menyebabkan meningkatnya kecenderungan

menyerap air. Kandungan pengikat aspal optimum untuk campuran baja slag SMA lebih tinggi dibandingkan dengan sampel kontrol. Pada uji modulus resilien menunjukkan bahwa campuran SMA yang mengandung agregat *steel slag* memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang mengandung agregat biasa.

Perbedaan dari penelitian di atas dengan penelitian yang penulis lakukan adalah penulis menggunakan satu jenis campuran yaitu AC-WC dan tidak membandingkan antara campuran satu dengan campuran lainnya. Penelitian diatas juga menguji modulus resilien, sedangkan penulis tidak melakukannya.

6. Pengaruh Penambahan Limbah Bubutan Baja pada Lapis Tipis Campuran Aspal Panas Terhadap Karakteristik *Marshall*

Tora dkk. (2010) melakukan penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja dari lapis tipis dengan menambahkan bahan tambah limbah bubutan baja. Variasi kadar aspal yang akan digunakan berkisar antara 4,5%-6,5%, penggunaan bahan tambah ini juga bervariasi antara 1-5% dari total campuran benda uji. Benda uji yang dibuat akan diuji menggunakan alat uji *Marshall*. Setelah dilakukan pengujian terhadap seluruh benda uji, didapatkan kadar penambahan limbah bubutan baja optimum sebesar 2,54% pada kadar aspal 5,25%. Dan dibandingkan dengan benda uji normal (tanpa penambahan limbah bubutan baja), benda uji tersebut mengalami peningkatan pada nilai stabilitas, pori dan *Marshall Quotient*, namun mengalami penurunan pada nilai *flow* dan *bulk density*.

Perbedaan mendasar yang dilakukan penulis dengan peneliti di atas adalah penulis tidak menggunakan limbah bubutan baja, penulis menggunakan limbah baja atau *steel slag*. Dan sudah menetapkan penambahan *steel slag* sebanyak 100% agregat kasar pada saringan no. 1/2" dan 50% agregat halus pada saringan no. 30.

7. Pengaruh Terendamnya Perkerasan Aspal oleh Air Laut yang Ditinjau Terhadap Karakteristik *Marshall*

Muaya dkk. (2015) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh air laut terhadap konstruksi jalan aspal beton AC-WC yang dapat dilihat dari nilai stabilitas, *flow* dan *Marshall Quotient*. Peneliti

menyatakan bahwa dari pengujian *Marshall* dapat disimpulkan bahwa air laut lebih merusak dibandingkan air tawar dengan perbandingan nilai stabilitas yang mencapai 6,59% untuk durasi 24 jam dan 29,90% untuk durasi 48 jam. Pada nilai kelelahan plastisnya terjadi peningkatan dari 6,16 mm pada perendaman air tawar menjadi 7,24 mm pada perendaman air laut. Nilai *Marshall Quotient*nya mengalami penurunan 8,88% - 20,06% untuk durasi 24 jam dan 14,10% - 41,39% untuk durasi 48 jam.

Perbedaan antara penelitian di atas dengan penelitian yang penulis lakukan adalah peneliti tidak menggunakan *filler* abu batu. Penulis mengganti 100% agregat kasar pada saringan no. 1/2" dan 50% agregat halus pada saringan no. 30 dengan *steel slag*. Penulis juga tidak membandingkan rendaman air laut dengan air garam dapur.

8. *Effect of chemical compounds in tidal water on asphalt pavement mixture*

Setiadji dkk. (2017) melakukan penelitian dengan beberapa faktor yang menyebabkan penurunan kinerja akibat rusaknya fasilitas drainase pada perkerasan jalan di sekitar pelabuhan Tanjung Mas, Semarang. Kerusakan campuran dapat disebabkan karena kehilangan campuran yang diakibatkan oleh kandungan senyawa kimia pada air pasang tersebut. Peneliti menyatakan bahwa air pasang surut yang berbeda menyebabkan dampak yang berbeda pula pada campuran bergantung pada senyawa kimia yang terkandung dalam pasang surut air. Kandungan senyawa pada air yang berbeda disebabkan dari limbah yang tercampur dengan air tersebut. Selain itu kerusakan campuran juga disebabkan oleh kandungan senyawa kimia tunggal yang tinggi (dalam kasus ini klorida), bagaimanapun kombinasi senyawa kimia dan pasang surut air laut memiliki kontribusi yang signifikan dalam menyebabkan kerusakan.

Penelitian di atas memiliki perbedaan yang dilakukan oleh penulis. Penulis melakukan penelitian dengan mengganti 100% agregat kasar pada saringan no. 1/2" dan 50% agregat halus pada saringan no. 30 dengan *steel slag*. Peneliti di atas juga membandingkan dengan 3 jenis air laut yang diambil ditempat yang berbeda beda di Kota Semarang sedangkan penulis hanya mengambil dari satu tempat yaitu di Pelabuhan Tanjung Mas, Semarang.

9. Pengaruh Penambahan Limbah Bubutan Baja pada Lapis Tipis Campuran Aspal Panas Terhadap Karakteristik Kuat Tarik Tidak langsung, Kuat Tekan Bebas dan Permeabilitas

Pramudya dkk. (2013) melakukan penelitian yang bersifat eksperimental yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan metode yang mengacu pada *National Asphalt Pavement Associationi (NAPA)* dan pembuatan campuran menggunakan gradasi *North Carolina*. Pengujian ini meliputi pengujian kuat tarik tidak langsung, kuat tekan bebas dan permeabilitas pada kondisi kadar aspal optimum (KAO). Penelitian ini menambahkan limbah bubutan baja antara 1% sampai dengan 5% dari total berat campuran. Setelah dilakukan analisis dengan menggunakan metode analisis regresi didapatkan pengaruh penambahan limbah bubutan baja optimum pada pengujian kuat tarik tidak langsung sebesar 3,79%, menghasilkan nilai ITS 670,111 KPa atau mengalami penurunan sebesar 25,13% dari benda uji normal dengan nilai  $R^2 = 0,728$ . Pada pengujian kuat tekan bebas didapatkan penambahan limbah bubutan baja optimum sebesar 3,17%, menghasilkan nilai UCS sebesar 783,389 KPa atau mengalami peningkatan sebesar 20,25% dari benda uji normal dengan nilai  $R^2 = 0,620$ . Pengujian permeabilitas penambahan limbah bubutan baja sebesar 5% menghasilkan koefisien permeabilitas sebesar  $6,040 \times 10^{-5}$  cm/detik atau mengalami peningkatan kedekatan sebesar 26,70% dari benda uji normal dengan nilai  $R^2 = 0,892$ .

Penelitian di atas mempunyai beberapa perbedaan dari penelitian yang penulis lakukan, yaitu penelitian di atas menggunakan metode *NAPA* dengan gradasi *North California*, sedangkan penulis tidak. Penelitian di atas juga menggunakan limbah bubutan baja, sedangkan penulis menggunakan *steel slag*. Penulis juga tidak menguji karakteristik kuat tarik tidak langsung, kuat tekan bebas dan permeabilitas.

10. Studi Durabilitas Aspal Beton Terhadap Infiltrasi Air Laut

Syaifuddin (2010) melakukan penelitian berupa perendaman benda uji didalam air laut yang diambil di laut Ujong Blang, Lhokseumawe. Penelitian ini juga menggunakan agregat batu pecah dan *filler* abu batu dari *stone crusher* PT. Abad Jaya dan juga aspal penetrasi 60/70. Perendaman dilakukan selama

1 hari, 3 hari, 5 hari dan 7 hari. Nilai durabilitas benda uji yang direndam dalam air laut akan dibandingkan dengan nilai *marshall* standar dengan rendaman 1x24 jam. Dari pengujian *marshall* yang menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan variasi kadar aspal 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dan 7% diperoleh kadar aspal optimum 5,2%. Selanjutnya nilai durabilitas dengan rendaman standar 1x24 jam sebesar 1369,69 kg, sedangkan pada variasi perendaman air laut untuk 1 hari sebesar 1217,69 kg; 3 hari sebesar 1211,11 kg; 5 hari sebesar 990,17 kg dan 7 hari sebesar 929,46 kg. Lebih lanjut disimpulkan bahwa campuran aspal beton yang direndam dengan air laut semakin rendah nilai durabilitasnya dibandingkan dengan campuran aspal beton dengan rendaman standar 1x24 jam.

Perbedaan mendasar penelitian di atas dengan penelitian penulis adalah terdapat pada bahan uji yaitu air laut. Air laut yang digunakan penelitian di atas diambil di laut Ujong Blang, Lhokseumawe. Sedangkan penulis mengambil air laut di pelabuhan Tanjung Mas, Semarang. Penulis juga tidak menguji durabilitas.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Definisi Jalan**

Jalan adalah prasarana transportasi yang meliputi semua bagian jalan yaitu bangunan pelengkap dan kelengkapannya yang digunakan untuk lalu lintas umum, yang terletak di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah, juga di atas permukaan air kecuali jalan kereta, jalan kabel, dan jalan lori (UU No. 22 Tahun 2009).

### **2.2.2 Jenis dan Fungsi Lapisan Perkerasan Jalan**

Didalam tanah, terdapat berbagai lapisan yang tidak cukup mampu untuk menahan beban berulang roda kendaraan jika tanpa adanya deformasi. Tanah memerlukan lapis tambahan yang terletak dilapisan paling atas dari struktur jalan, atau yang terletak antara roda dan tanah. Lapis tambahan tersebut dibuat dengan bahan-bahan yang khusus dan berkualitas yang disebut juga dengan lapis



permukaan (*pavement*). Menurut Sukirman (1995), jenis dari konstruksi perkerasan jalan dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. Perkerasan lentur

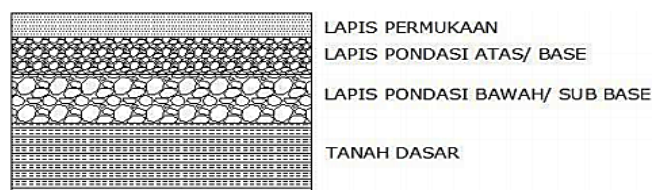
*Flexible Pavement* atau yang lebih dikenal perkerasan lentur, merupakan perkerasan yang bahan pengikatnya menggunakan aspal. Salah satu jenis perkerasan yang sangat umum digunakan di Indonesia adalah perkerasan lentur (Sarwono dkk, 2013). Perkerasan ini terdiri dari lapisan-lapisan yang terletak diatas tanah dasar yang sudah dipadatkan yang mempunyai fungsi untuk menerima beban lalu lintas lalu menyebarkan ke lapisan yang berada di bawahnya. Karakteristik dari perkerasan lentur sendiri adalah sebagai berikut.

- a. Berpengaruh terhadap penurunan tanah dasar, yaitu jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar).
- b. Memikul beban lalu lintas dan menyebarkan ke tanah dasar.
- c. Menggunakan aspal sebagai pemakai bahan pengikatnya.
- d. Timbul *rutting* atau lendutan pada jalur roda.

Beban-beban lalu lintas yang bekerja diatas konstruksi perkerasan adalah gaya vertikal yang berasal dari muatan kendaraan, gaya horizontal yang berasal dari gaya rem dan getaran-getaran yang berasal dari pukulan roda kendaraan.

Lapisan perkerasan lentur memiliki susunan lapisan yang mana semakin ke bawah memiliki daya dukung tanah yang jelek, yaitu *subgrade* atau lapisan tanah dasar, *subbase course* atau lapisan pondasi bawah, *base course* atau lapisan pondasi atas dan *surface course* atau lapisan permukaan.

Pada umumnya, susunan perkerasan jalan yang disusun diatas tanah dasar atau *subgrade* terdiri dari 3 lapisan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Susunan Perkerasan Lentur (Bina Marga, 1983)

a. Lapis Permukaan

Lapis permukaan merupakan lapisan yang terletak paling atas dari struktur perkerasan jalan, yang mempunyai fungsi utama adalah:

- 1) Lapisan yang harus memiliki stabilitas tinggi selama pelayanan yang berguna sebagai lapis penahan beban vertikal dari kendaraan.
- 2) Lapisan yang dapat menerima gesekan dan getaran roda dari kendaraan yang mengerem yang sering juga disebut lapis aus (*wearing course*).
- 3) Lapisan yang kedap air, yang dapat mengakibatkan air hujan yang jatuh di lapisan permukaan tidak meresap ke lapis di bawahnya yang dapat berakibat rusaknya struktur perkerasan jalan.
- 4) Sebagai penyebar beban ke lapis pondasi.

Lapis permukaan perkerasan lentur dapat menghasilkan lapis yang kedap air, memiliki daya tahan selama masa pelayanan serta berstabilitas tinggi dikarenakan menggunakan bahan pengikat aspal. Namun, tidak dipungkiri lapisan permukaan cepat menjadi aus dan rusak yang diakibatkan dari terkena kontak langsung dengan roda kendaraan, air, serta cuaca yang panas dan dingin.

b. Lapis pondasi atas (*base course*)

Lapis perkerasan ini terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Lapisan ini menerima pembebanan yang berat akibat muatan akibat terletak tepat dibawah lapis permukaan perkerasan. Maka dari itu, material yang digunakan harus yang berkualitas sangat bagus dan pengerjaannya harus dilakukan dengan cermat dan hati-hati. Fungsi dari *base course* adalah:

- 1) Perletakan lapis permukaan atau bantalan.
- 2) Menahan gaya vertikal dari beban kendaraan dan dilanjutkan atau disebarkan ke lapisan yang ada di bawah.
- 3) Lapis peresap untuk lapis pondasi di bawah.

Material yang cukup kuat dan awet adalah material yang sering digunakan untuk lapis pondasi atas sesuai syarat teknik dalam spesifikasi

pekerjaan. Untuk bahan pengikatnya, lapis pondasi atas dapat dipilih lapis berbutir tanpa pengikat.

c. Lapis pondasi bawah (*Subbase Course*)

Lapis pondasi bawah adalah lapis perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi atas dan tanah dasar.

Lapis pondasi bawah mempunyai fungsi sebagai berikut.

- 1) Penggunaan material yang murah agar tebal pada lapis pondasi atas dapat dikurangi.
- 2) Lapis peresap yang berguna agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
- 3) Kondisi lapangan memaksa harus menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca atau lemahnya daya dukung tanah dasar menahan roda alat berat menjadikan lapis pondasi bawah menjadi lapis pertama agar pelaksanaan pekerjaan dapat berjalan lancar.
- 4) Lapis ini harus stabil dan mempunyai nilai CBR sama atau lebih besar dari 20% dan juga Indeks Plastis sama atau lebih kecil dari 10% agar dapat mendukung dan menyebarkan beban kendaraan ke lapis tanah dasar.
- 5) Untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan pondasi atas.

d. Lapis tanah dasar (*Subgrade*)

Lapis tanah dasar terletak di bawah lapis pondasi bawah yang mempunyai tebal 50-100 cm yang berupa tanah asli yang dipadatkan atau tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Agar kadar air optimum dan konstan selama umur rencana, pemadatan dilakukan dengan baik dan teliti. Jika ditinjau dari muka tanah asli, lapisan tanah dasar dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

- 1) Tanah galian
- 2) Tanah timbunan
- 3) Tanah asli

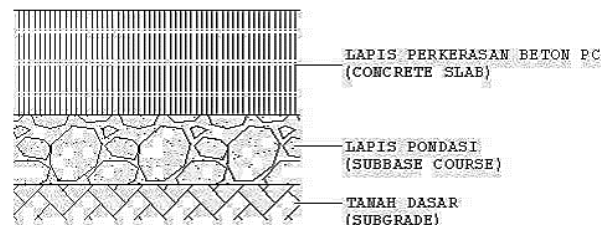
Untuk mencapai kestabilan yang tinggi terhadap volume, tanah dasar di padatkan terlebih dahulu sebelum lapisan-lapisan lainnya diletakkan. Sehingga kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat ditentukan oleh sifat-sifat daya dukung tanah dasar.

## 2. Perkerasan Kaku

*Rigid Pavement* atau perkerasan kaku, merupakan perkerasan yang bahan pengikatnya menggunakan semen (*portland cement*), tanah liat dengan batuan. Lapisan perkerasan ini menggunakan plat beton atau tanpa tulangan yang diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa fondasi bawah.

Perkerasan jalan beton semen atau secara umum disebut perkerasan kaku, 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 sebagai lapis pondasi karena dimungkinkan masih adanya lapisan aspal beton di atasnya yang berfungsi sebagai lapis permukaan.

Perkerasan kaku atau yang biasa disebut perkerasan jalan beton, terdiri dari lapis pondasi yaitu plat (*slab*) beton semen dan lapis pondasi bawah di atas tanah dasar.



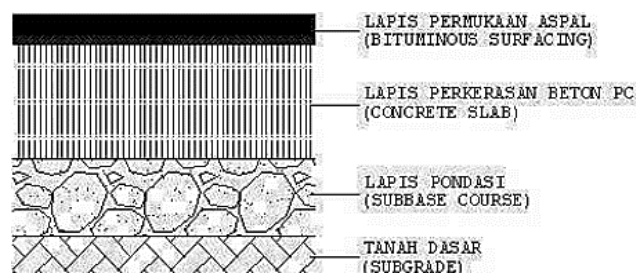
Gambar 2.2 Susunan Perkerasan Kaku (Bina Marga, 1983)

Perbedaan sifat dari perkerasan kaku dan perkerasan lentur adalah perkerasan kaku mempunyai daya dukung perkerasan yang diperoleh dari pelat beton. Karena sifat pelat beton yang cukup kaku, pelat beton dapat menghasilkan tegangan yang rendah dan dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas pada lapisan-lapisan di bawahnya.

### 3. Perkerasan Komposit

*Composite Pavement* atau perkerasan komposit merupakan perkerasan yang menggabungkan perkerasan kaku dengan perkerasan lentur untuk bersama-sama dalam hal memikul beban lalu lintas.

Dalam hal ini, perkerasan kaku terletak dibawah perkerasan lentur. Agar perkerasan aspal dapat mempunyai kekakuan yang dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton dibawahnya, maka perlu adanya persyaratan ketebalan perkerasan aspal tersebut.



Gambar 2.3 Susunan Perkerasan Komposit (Bina Marga, 1983)

#### 2.2.3 Karakteristik Campuran

Salah satu faktor yang digunakan untuk mengetahui kinerja suatu lapis perkerasan yaitu dengan mengetahui karakteristik campuran lapisan perkerasan. Karakteristik campuran beton aspal sangat dipengaruhi dari komposisi bahan yang akan digunakan yaitu dari segi kualitas maupun spesifikasi yang terpenuhi dan juga proses selama pelaksanaan campuran itu dilakukan. Menurut Sukirman (2013), beton aspal adalah suatu jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran aspal, agregat, dengan atau tidak menggunakan bahan tambah lainnya.

Beton aspal yang menggunakan campuran panas (*Hot Mix*) harus memiliki karakteristik campuran sebagai berikut.

##### 1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan saat menerima beban dari kendaraan tanpa terjadinya perubahan bentuk permanen, yaitu gelombang, alur, maupun *bleeding* (Sukirman, 1999 dalam Hayati, 2017). Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai dari stabilitas beton aspal adalah:

- a. Gradasi agregat kepadatan campuran dan tebal film aspal, gesekan internal yang berasal dari butir agregat di permukaan perkerasan, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir.
- b. Kohesi adalah gaya ikat aspal dari gaya lekatnya, hingga dapat memelihara tekanan kontak antar butir agregat.

Stabilitas yang diperlukan oleh perkerasan jalan akan semakin tinggi jika volume lalu lintas dan berat kendaraan yang dilalui semakin tinggi. Sedangkan nilai stabilitas perkerasan jalan tidak perlu tinggi jika beban lalu lintasnya ringan.

## 2. *Voids in The Mix (VITM)* / Rongga Udara dalam Campuran

*VITM* adalah presentase volume rongga terhadap volume total campuran setelah dipadatkan yang dinyatakan dalam persen (%). Digunakan untuk mengetahui seberapa besar rongga yang terdapat pada campuran, sehingga rongga tidak terlalu kecil yang dapat menimbulkan *bleeding* atau terlalu besar sehingga menimbulkan oksidasi / masuknya udara yang dapat menyebabkan penuaan pada aspal. Nilai *VITM* dapat mengalami penurunan dengan penambahan kadar aspal sampai rongga udara dalam campuran minimum. *VIM* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$VITM = \left[ 100 - \frac{(100 \times \text{berat volume benda uji})}{\text{berat jenis maks. teoritis}} \right] \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk menghitung berat jenis maksimum teoritis dapat menggunakan rumus dibawah

$$BJ = \left[ \frac{100}{\frac{\% \text{ agr}}{Bj. Agr} + \frac{\% \text{ aspal}}{Bj. Aspal}} \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan,

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

BJ Teoritis: Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

## 3. *Void in the Mineral Agregat (VMA)* / Rongga di antara Mineral Agregat

*VMA* adalah ruang atau rongga yang terletak di antara agregat suatu perkerasan aspal, termasuk juga rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Volume kadar aspal efektif dan rongga udara adalah volume rongga yang terdapat di antara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persentase

terhadap volume total benda uji. VMA dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$VMA = \left[ 100 - \frac{(100 - \% \text{ aspal}) \times \text{berat volume benda uji}}{\text{berat jenis agregat}} \right] \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan,

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

% Aspal : Kadar aspal terhadap campuran (%)

4. *Voids Filled with Asphalt (VFWA) / Rongga Terisi Aspal*

VFWA adalah persentase dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang terserap oleh agregat. VFWA ditentukan dari jumlah VMA dan rongga udara yang terletak didalam campuran aspal. Nilai dari VFWA dapat semakin meningkat dengan adanya penambahan adar aspal (Sukirman, 1999 dari Hayati, 2017). Untuk mendapatkan nilai VFWA dapat menggunakan rumus berikut.

$$VFWA = \left[ 100 \times \frac{\text{Volume aspal}}{VMA} \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana,

VFWA : Rongga udara terisi aspal (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

5. *Marshall Quotient (MQ)*

*Marshall Quotient (MQ)* yaitu hasil bagi stabilitas dengan kelelahan yang digunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau tingkat kelenturan campuran, yang dapat dinyatakan dalam kN/mm (Sukirman, 1992 dalam Setyawan, 2017). Nilai MQ yang tinggi dapat menunjukkan bahwa nilai kekakuan lapis perkerasan yang tinggi. Berikut ini adalah persamaan untuk mengetahui nilai MQ:

$$MQ = \left[ \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan,

MQ : *Marshall Quotient* (kg/mm)

Flow : Kelelahan (mm)

6. *Durability / Durabilitas*

Durabilitas atau keawetan adalah kemampuan dari beton aspal menerima beban lalu lintas yang berulang ulang seperti berat kendaraan, gesekan antara

roda kendaraan dan permukaan aspal, serta menahan keausan yang diakibatkan dari pengaruh cuaca dan iklim, seperti air, udara maupun perubahan temperatur. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi durabilitas dari lapisan perkerasan aspal, antara lain:

- a. Selimut aspal yang tebal dapat membungkus agregat secara baik, lapisan perkerasannya akan lebih kedap air, sehingga kemampuan menahan keausan semakin baik. Tetapi jika selimut aspal semakin tebal maka lapisan perkerasan jalan akan mengalami *bleeding* dan menyebabkan jalan semakin licin.
- b. *Voids in The Mix (VITM)* kecil menyebabkan lapis kedap air dan udara tidak dapat masuk ke dalam campuran yang berakibat terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh atau getas.
- c. Selimut aspal dapat dibuat tebal jika *Void in the Mineral Agregat (VMA)* besar.

#### 7. Fleksibilitas / *Flexibility*

Fleksibilitas atau kelenturan adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat pergerakan dan penurunan dari tanah dasar tanpa adanya retakan. Penurunan dapat terjadi akibat beban lalu lintas yang terus menerus melewati lapisan perkerasan ataupun penurunan akibat berat tanah timbunan itu sendiri yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan cara menggunakan agregat yang bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

#### 8. *Fatigue Resistance* / Ketahanan Terhadap Kelelahan

Ketahanan terhadap kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban yang berulang tanpa terjadinya kelelahan berupa alur (*ruting*) dan retak (Sukirman, 1999 dalam Hayati, 2017). Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan yaitu:

- a. Kadar aspal yang rendah dan *VITM* tinggi dapat mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
- b. Kadar aspal tinggi dan *VMA* tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.



9. *Skid Resistance* / Kekesatan atau Ketahanan Terhadap Geser

Kekesatan atau ketahanan terhadap geser adalah kemampuan pada permukaan beton aspal pada saat kering atau basah, dapat memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak mengalami selip atau tergelincir. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekesatan jalan dan stabilitas yang tinggi, yaitu gradasi agregat, tebal film aspal, kekasaran permukaan butir-butir agregat, kepadatan campuran, dan luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir.

Kekesatan permukaan juga dapat ditentukan pada ukuran maksimum butir agregat. Agregat yang digunakan harus mempunyai daya tahan untuk permukaan agar tidak mudah licin akibat repetisi kendaraan dan juga harus mempunyai permukaan yang kasar.

10. *Impermeability* / Kedap Air

Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki oleh air dan ataupun udara ke dalam lapisan perkerasan beraspal. Proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat dapat dipercepat oleh air dan udara. Indikator kekedapan air campuran dapat berasal dari jumlah pori yang tersisa setelah lapisan perkerasan beraspal dipadatkan. Tingkat durabilitas berbanding terbalik dengan tingkat impermeabilitas lapisan perkerasan beraspal.

11. *Workability* / Kemampuan Pelaksanaan

Kemudahan pelaksanaan adalah kemampuan beton aspal untuk mudah dipadatkan dan dihamparkan, tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, serta tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah kondisi agregat, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur dan gradasi, dan viskositas aspal. Jika ditemukan kesukaran dalam pelaksanaan, dapat dilakukan revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran.

Menurut Sukirman (1999), faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan yaitu:

- a. Temperatur campuran dapat mempengaruhi kekerasan pada bahan pengikat yang bersifat termoplastis.

- b. Gradasi agregat, jika gradasi agregat baik maka pekerjaan akan lebih mudah dilaksanakan daripada agregat bergradasi lain.
- c. Kandungan bahan pengisi (*filler*) tinggi dapat menyebabkan pelaksanaan lebih sukar dilakukan.

#### 2.2.4 Jenis Campuran Aspal

Bedasarkan Spesifikasi Bina Marga Divisi 6 Tahun 2010, jenis-jenis campuran dan ketebalan lapisannya terdiri dari 3 jenis, yaitu:

1. Lapis Tipis Aspal Pasir (*Sand Sheet, SS*) Kelas A dan Kelas B

Lapis ini sering juga disebut dengan Latasir mempunyai dua jenis campuran yaitu *SS-A* dan *SS-B*. Dalam pemilihannya, *SS-A* dan *SS-B* bergantung pada tebal minimum nominalnya. Biasanya, lapisan ini memerlukan tambahan *filler* yang berguna untuk memenuhi kebutuhan sifat-sifat yang telah disyaratkan.

2. Lapis Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet, HRS*)

Lataston memiliki 2 campuran yang berbeda, yaitu *HRS Pondasi (HRS-Base)* dan *HRS Lapis Aus (HRS Wearing Course, HRS-WC)* dengan ukuran maksimum agregatnya adalah 19 mm. Yang membedakan antara kedua jenis campuran ini terletak pada proporsi fraksi agregat kasar. *HRS-Base* memiliki proporsi agregat kasar yang lebih besar dibandingkan dengan *HRS-WC*.

3. Lapis Aspal Beton (*Asphalt Concrete, AC*)

Lapisan yang lebih dikenal dengan Laston ini memiliki tiga jenis campuran, yaitu *AC Lapis Aus (AC-WC)* yang memiliki ukuran maksimum agregat 19 mm, *AC Lapis Antara (AC-Binder Course, AC-BC)* yang memiliki ukuran maksimum agregat 25,4 mm, dan *AC Lapis Pondasi (AC-Base)* yang memiliki ukuran maksimum agregat 37,5 mm. Dalam setiap campuran *AC* yang menggunakan bahan dari Aspal Polimer ataupun Aspal yang dimodifikasi menggunakan aspal alam atau aspal *multigrade* yang disebut sebagai *AC-WC Modified*, *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*.

### 2.2.5 Lapis Aspal Beton (Laston) dan Bahan Penyusunnya

Lapisan Beton Aspal (Laston) adalah beton aspal bergradasi menerus yang secara umum digunakan pada jalan yang mempunyai beban lalu lintas berat (Gunadi, 2013).

Beton aspal lebih peka terhadap variasi gradasi agregat dan kadar aspal. Lapisan ini juga terbuat dari campuran yang menggunakan gradasi menerus (*well graded*). Jenis-jenis agregat yang digunakan dalam pembuatan lapisan ini adalah agregat kasar, agregat halus serta agregat pengisi (*filler*). Biasanya, aspal yang digunakan adalah aspal jenis 60/70 dan aspal jenis 80/100. Kelebihan dari campuran menerus ini adalah tingginya kekuatan mengikat antar agregat yang membuat semakin tingginya nilai stabilitasnya.

Untuk mendapatkan campuran Laston ini dapat dilakukan dengan cara mencampurkan berbagai gradasi agregat menggunakan aspal yang akan dicampur dalam keadaan panas (*Hot Mix*). Pekerjaan pencampuran ini dilakukan di pabrik pencampur atau yang disebut *Asphalt Mixing Plan*. Selanjutnya dibawa ke lokasi kerja dan dihamparkan menggunakan alat penghampar hingga diperoleh lapisan lepas yang seragam dan merata. Lalu dipadatkan menggunakan mesin pemadat yang pada akhirnya diperoleh lapisan padat Aspal Beton (Sukirman, 2006 dalam Hayati, 2017).

Pembuatan Laston bertujuan untuk mendapatkan suatu lapis permukaan atau lapis antara (*binder*) di perkerasan jalan yang dapat memberikan tambahan daya dukung yang terukur dan juga berfungsi sebagai lapisan kedap air yang berguna untuk melindungi lapisan konstruksi dibawahnya (Bina Marga, 2010). Sifat-sifat campuran laston adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 Sifat-sifat campuran laston

Sifat-sifat campuran	Laston		
	WC	BC	Base
Jumlah tumbukan per bidang		75	112
Penyerapan aspal, %	Maks		1,2
	Min		3
Rongga dalam campuran (VIM), %	Maks		5
	Min	15	14
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min	65	63
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min	65	60

Tabel 2.1 Lanjutan

Sifat-sifat campuran	Laston		
	WC	BC	Base
Stabilitas <i>marshall</i> , kg	Min	800	1500
	Maks	-	
Pelelehan, mm	Min	2	4
<i>Marshall quotient</i> , kg/mm	Min	-	300
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah prendaman selama 24 jam, 60°C pada VIM $\pm 7\%$	Min	80	
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal ( <i>refusal</i> ), %	Min	2,5	

Sumber: Bina Marga (2010)

Bahan dasar penyusun suatu perkerasan lentur terdiri atas agregat, *filler*, dan juga aspal. Bahan-bahan tersebut harus memenuhi kriteria standar yang sudah ditetapkan oleh pemerintah yang ditulis didalam peraturan Bina Marga. Hal ini dikarenakan agar dapat menghindari kegagalan konstruksi yang disebabkan oleh bahan-bahan penyusun yang tidak bagus atau tidak memenuhi kriteria. Bahan-bahan penyusun laston yaitu:

#### 1. Agregat

Batuan atau agregat adalah komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yang mengandung persentase berat sebesar 90% - 95% dan atau persentase volume sebesar 75% - 85%. Dengan begitu, kualitas dari perkerasan jalan juga dapat ditentukan dari sifat agregat serta hasil campuran agregat dengan material yang lain (Sukirman 2013 dalam Hayati, 2017).

Pemilihan agregat harus dilakukan dengan tepat agar mendapatkan campuran yang baik. Dengan begitu, akan didapatkan agregat yang tidak seragam dan akan menjadikan perkerasan menjadi padat. Agregat yang tidak seragam dapat saling mengisi antar butiran yang membuat rongga-rongga mengecil sehingga menjadi kedap air. Agregat yang digunakan dalam campuran beton antara lain:

##### a. Agregat Kasar

Untuk rancangan campuran, fraksi agregat kasar yang digunakan adalah agregat yang tertahan ayakan no. 4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah, bersih, keras, awet dan bebas dari bahan yang tidak

diperbolehkan lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam 2.2 (Bina Marga, 2010 dalam Hayati, 2017).

Tabel 2.2 Spesifikasi Agregat Kasar

Pengujian		Standar	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	100 putaran	Maks. 6%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	500 putaran	Maks 30%
		100 putaran	Maks 8%
	500 putaran	SNI 2417:2008	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: Bina Marga (2010)

Pengujian material agregat kasar memiliki beberapa rumus untuk mendapatkan nilai dari hasil pengujian ini, yaitu:

1) Berat Jenis Curah Kering (*Bulk Specific Gravity*)

Perbandingan antara berat jenis kering agregat dan volume agregat kasar dengan temperatur tertentu. Perhitungan berat jenis curah kering ( $S_d$ ) dilakukan saat air dan agregat mencapai temperatur 23°C dengan rumus:

$$\text{Berat Jenis Curah Kering} = \frac{A}{(B-C)} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan,

A : Berat benda uji kering oven (gram)

B : Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram)

C : Berat benda uji dalam air (gram)

Hasil dari berat jenis (*specific gravity*) agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2.

2) Berat Jenis Kering Permukaan (*Saturated Surface Dry / SDD*)

Perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dengan air suling yang beratnya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh. Perhitungan berat jenis curah kering ( $S_d$ ) dilakukan saat air dan agregat mencapai temperatur 23°C dengan rumus:

$$\text{Berat Jenis Curah Kering Permukaan} = \frac{B}{(B-C)} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan,

B : Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram)

C : Berat benda uji dalam air (gram)

3) Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

Perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air tetapi yang diperhitungkan adalah volume partikel dan bagian yang diresapi air pada suhu tertentu. Perhitungan berat jenis semu ( $S_a$ ) dilakukan saat air dan agregat mencapai temperatur 23°C dengan rumus:

$$\text{Berat Jenis Curah Kering} = \frac{A}{(A-C)} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan,

A : Berat benda uji kering oven (gram)

C : Berat benda uji dalam air (gram)

4) Berat Jenis Efektif

$$\text{Berat Jenis Efektif} = \left[ \frac{S_a + S_d}{2} \right] \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana,

$S_a$  : Berat Jenis Semu

$S_d$  : Berat Jenis Kering

5) Penyerapan Air (*Absorption*)

Persentase antara berat air yang diserap pori-pori terhadap berat agregat kering. Perhitungan persentase penyerapan air ( $S_w$ ) menggunakan rumus:

$$\text{Penyerapan Air} = \left[ \frac{(B-A)}{A} \times 100\% \right] \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan,

A : Berat benda uji kering oven (gram)

B : Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram)

Hasil dari perhitungan dari penyerapan air oleh agregat yang diperbolehkan yaitu maksimum 3%.

6) Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles*

Keausan Agregat dengan mesin Los Angeles merupakan pengujian untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen. Untuk menghitung keausan agregat maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Keausan} = \left[ \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \right] \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana,

A : berat benda uji semula (gram)

B : berat benda uji tertahan saringan No. 12 (1,70mm) (gram)

b. Agregat Halus

Agregat halus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah yang terdiri dari bahan-bahan yang lolos ayakan atau saringan no. 4 (4,75 mm) sesuai dengan spesifikasi umum yang ada di peraturan Bina Marga tahun 2010 revisi 3.

Pada campuran Laston (AC), pasir dapat digunakan dengan presetase yang tidak melebihi 15% dari berat total campurannya. Spesifikasi agregat halus harus memenuhi ketentuan yang ada di Tabel 2.3 dan juga spesifikasi kuantitatif pada Tabel 2.4.

Tabel 2.3 Spesifikasi 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%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%
Kadar Lempung	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%

Sumber: Bina Marga (2010)

Tabel 2.4 Spesifikasi Kuantitatif Agregat Halus

Ukuran Saringan		% Berat Agregat Halus yang Lewat Saringan		
Mm	No.	Gradasi 1	Gradasi 2	Gradasi 3
9,5 mm	3/8"	100		100
4,75 mm	No. 4	95 – 100	100	80 – 100
2,36 mm	No. 8	70 – 100	95 – 100	65 – 100
1,18 mm	No. 16	40 – 80	85 – 100	40 – 80
0,600 mm	No. 30	20 – 65	65 – 90	20 – 65
0,300 mm	No. 50	7 – 40	30 – 60	7 – 40
0,150 mm	No. 100	2 – 20	5 – 25	2 -20
0,075 mm	No. 200	0 – 10	0 – 5	1 – 10

Sumber: BSN (2002b)

Sesuai dengan SNI 03-6819-2002, berikut merupakan beberapa persamaan yang digunakan untuk menentukan angka dari pengujian agregat halus :

1) Berat Jenis Kering

$$S_d = \left[ \frac{B_k}{(B + SSD - B_t)} \right] \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana,

B<sub>k</sub> : Berat pasir kering

B : Berat piknometer + air

SSD : Berat pasir kering permukaan

B<sub>t</sub> : Berat piknometer + pasir +air

2) Berat Jenis Semu

$$S_a = \left[ \frac{B_k}{(B + B_k - B_t)} \right] \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana,

B<sub>k</sub> : Berat pasir kering

B : Berat piknometer + air

B<sub>t</sub> : Berat piknometer + pasir +air

3) Penyerapan Air

$$S_w = \left[ \frac{(SD - B_k)}{B_k} \times 100\% \right] \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana,

B<sub>k</sub> : Berat pasir kering

SSD : Berat pasir kering permukaan



## 4) Berat Jenis Efektif

$$\text{Berat Jenis Efektif} = \left[ \frac{(S_a + s_d)}{2} \right] \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana,

S<sub>a</sub> : Berat Jenis Semu

S<sub>d</sub> : Berat Jenis Kering

c. Bahan Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi atau *filler* adalah suatu kumpulan mineral agregat yang pada umumnya lolos saringan atau ayakan no. 200 (0,0075 mm) yang berupa debu batu kapur, debu *dolomite*, semen *portland* dan juga tidak kurang dari 75% dari total berat lolos saringan no. 30 (0,600 mm). *Filler* yang akan digunakan harus lebih besar dari 1% dari total berat agregat. Dikarenakan sifat *filler* sebagai pengisi yang dapat menutup rongga-rongga antar partikel, maka *filler* dalam campuran lapis keras akan sangat berpengaruh terhadap pori pada lapisan tersebut. Yang dapat mengakibatkan menambahnya nilai stabilitas dan kerapatan pada campuran. Gradasi bahan pengisi dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5 Gradasi Bahan Pengisi

Ukuran Saringan	Pesen Lolos
No. 30	100
No. 50	95 – 100
No. 200	70 – 100

Sumber: BSN (2002a)

## d. Gradasi Agregat Gabungan

Dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3), campuran aspal untuk gradasi agregat gabungan ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan pengisi harus memenuhi batas-batas. Pada Tabel 2.6 dapat dilihat gradasi agregat gabungan untuk campuran Laston (AC-WC).

Tabel 2.6 Gradasi Agregat Gabungan Campuran Laston (AC-WC)

Ukuran Saringan		% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran			% Tertahan
Inch	Mm	Batas Atas	Batas Tengah	Batas Bawah	
1"	25	-	-	-	-

Tabel 2.6 Lanjutan

Ukuran Saringan		% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran			% Tertahan
Inch	Mm	Batas Atas	Batas Tengah	Batas Bawah	
¾"	19	100	100	100	0
½"	12,5	100	95	90	5
3/8"	9,5	90	83,5	77	16,5
#4	4,75	69	61	53	39
#8	2,36	53	43	33	57
#16	1,18	40	30,5	21	69,5
#30	0,600	30	22	14	78
#50	0,300	22	15,5	9	84,5
#100	0,150	15	10,5	6	89,5
#200	0,075	9	6,5	4	93,5
Pan					

Sumber: Bina Marga (2010)

## 2. Aspal

Aspal adalah material yang berwarna hitam atau coklat tua yang berbentuk padat sampai agak padat saat temperaturnya mencapai suhu ruang (Sukirman, 1999). Aspal yang dicairkan pada suhu tertentu dapat digunakan sebagai pengikat antar agregat dan juga dapat mengisi pori-pori pada lapisan. Aspal semen memiliki sifat yaitu dapat mengikat agregat pada campuran aspal beton, dapat memberikan lapisan yang kedap air, dan juga dapat tahan terhadap pengaruh asam, basa serta garam.

Jenis aspal keras dapat ditandai dengan nilai penetrasi aspal. Semakin tinggi angka penetrasi aspal maka akan semakin tinggi juga tingkat kekerasan aspal tersebut (AASHTO, 1982 dalam Hayati 2017). Untuk aspal penetrasi 40 atau penetrasi 60 dapat digunakan pada daerah yang memiliki suhu tahunan rata-rata lebih dari 24°C. Sedangkan untuk aspal penetrasi 80 dapat digunakan pada daerah yang memiliki suhu tahunan rata-rata kurang dari 24°C. Spesifikasi aspal keras penetrasi 60/70 dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Spesifikasi Aspal Keras 60/70

No.	Jenis Pemeriksaan	Metode Pemeriksaan	Aspal Pen. 60/70
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70
2.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160-240

Tabel 2.7 Lanjutan

No.	Jenis Pemeriksaan	Metode Pemeriksaan	Aspal Pen. 60/70
3.	Viskositas Kinematis (cSt)	SNI 06-6441-2000	$\geq 300$
4.	Titik Lembek ( $^{\circ}\text{C}$ )	SNI 2434:2011	$\geq 48$
5.	Daktilitas pada $25^{\circ}\text{C}$ (cm)	SNI 2434:2011	$\geq 100$
6.	Titik Nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	SNI 2433:2011	$\geq 232$
7.	Kelarutan dalam <i>Trichlorethylene</i> (%)	AASHTO T44-03	$\geq 99$
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$
9.	Stabilitas Penyimpanan Perbedaan Titik Lembek ( $^{\circ}\text{C}$ )	ASTM D 5976 part 6.1	-
10.	Partikel yang lebih halus dari 150 micron ( $\mu\text{m}$ ) (%)		
<b>Pengujian Residu hasil TFOT (SNI 06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002) :</b>			
11.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$
12.	Viskositas Dinamis $60^{\circ}\text{C}$ (Pa.s)	SNI 03-6441-2000	$\leq 800$
13.	Penetrasi pada $25^{\circ}\text{C}$ (%)	SNI 06-2456-1991	$\geq 54$
14.	Daktilitas pada $25^{\circ}\text{C}$ (cm)	SNI 2432 : 2011	$\geq 100$
15.	Keelastisan setelah pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-

Sumber: Bina Marga (2010)

Berikut adalah pengujian aspal yang dilakukan sesuai dengan Bina Marga 2010 (revisi 3):

a. Pemeriksaan Penetrasi

Penetrasi adalah sebuah pengujian yang berfungsi untuk mengetahui konsistensi aspal. Konsistensi aspal adalah derajat kekentalan aspal yang sangat banyak dipengaruhi oleh suhu. Jika aspal keras atau lembek penentuan konsistensi dilakukan dengan menggunakan alat penetrometer. Konsistensi tersebut dapat dinyatakan dengan angka penetrasi, yaitu masuknya jarum penetrasi dengan beban tertentu ke dalam benda uji aspal pada saat suhu  $25^{\circ}\text{C}$  selama kurang lebih 5 detik. Hasil dari pengujian penetrasi dinyatakan dengan angka dalam persatuan milimeter. Penentuan konsistensi dengan cara ini lebih efektif terhadap aspal dengan angka penetrasi berkisar sebesar 50 – 200.

b. Titik Lembek

Pengujian titik lembek merupakan temperatur saat bola baja yang memiliki berat tertentu, mendesak hingga turun lapisan aspal yang tertahan dalam cincin

berukuran tertentu, hingga aspal menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada jarak sekitar 25,4 mm akibat dari pemanasan. Titik lembek memiliki nilai yang bervariasi, yaitu antara 30°C sampai 157°C.

c. Berat Jenis

Pengujian berat jenis aspal adalah perbandingan berat jenis aspal terhadap berat jenis air. Pengujian ini dapat dilakukan dengan cara menggunakan alat piknometer. Perhitungan berat jenis aspal menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Berat Jenis} = \left[ \frac{(C-A)}{[(B-A)-(D-C)]} \right] \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana,

A : Massa piknometer dan penutup

B : Massa piknometer dan penutup berisi air

C : Massa piknometer, penutup dan benda uji

D : Massa piknometer, penutup, benda uji, dan air

Untuk mencari berat isi benda uji dari pengujian berat jenis aspal menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Berat isi} = \text{Berat Jenis} \times Wt \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana,

WT : Berat isi air pada temperatur pengujian

d. Daktilitas

Daktilitas merupakan nilai keelastisan aspal yang dapat diukur dari jarak terpanjang pemuluran aspal didalam cetakan pada saat putus setelah ditarik dengan kecepatan 50 mm permenit  $\pm 2,5$  mm.

e. Kehilangan Berat Minyak dan Aspal

Kehilangan berat minyak dan aspal merupakan pengurangan berat sebelum dan sesudah pemanasan pada tebal tertentu dan juga pada suhu tertentu. Untuk mencari nilai kehilangan berat minyak dan aspal dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Kehilangan Berat} = \left[ \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \right] \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana,

A : Berat benda uji semula (gram)

B : Berat benda uji setelah pemanasan (gram)

### 2.2.6 Air Laut di Pelabuhan Tanjung Mas, Semarang

Pada umumnya kondisi perkerasan jalan semakin mengalami penurunan kinerja akibat beban lalu lintas dan kelembaban. Air dan udara dapat mempercepat proses umur rencana dari aspal, disamping itu juga air dapat menimbulkan efek pengelupasan (*stripping*) film aspal dari suatu permukaan agregat (Syarifuddin, 2010). Banyak penelitian menyebutkan bahwa kelembaban merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan kerusakan fungsional. Kerusakan akibat kelembaban pada umumnya disebabkan oleh fasilitas drainase pada perkerasan jalan, termasuk ketidaktepatan desain superelevasi jalan raya.

Di Indonesia, beberapa ruas jalan yang terletak didaerah yang berhubungan dengan pantai sering mengalami permasalahan dengan genangan air laut yang kebanyakan disebabkan oleh cuaca yang ekstrem, sehingga selalu mengakibatkan terjadinya banjir pasang-surut atau dengan istilah air rob, yaitu naiknya permukaan air laut yang menggenangi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal (Muaya dkk, 2015).

Pada daerah pesisir ada ancaman lain yang menyebabkan kerusakan perkerasan jalan yaitu akibat pasang surut air karena adanya kandungan Klorida, Natrium, dan kadar sulfat yang tinggi (Setiadji dkk., 2017).

Berikut adalah tabel hasil pengujian yang dilakukan oleh Setiadji dkk pada penelitian yang berjudul *Effect of Chemical Compounds in Tidal Water on Asphalt Mixture Pavement* pada tahun 2017.

Tabel 2.8 Hasil Pengujian Kimia Air

No.	Parameter	Unit	Source Of Water	
			Distilled Water	Tidal Water at Tanjung Emas Area
1.	pH	-	7,38	7,24
2.	Alkalinity $CO_3^{2-}$	[mg/l]	0,00	0,00
3.	Alkalinity $HCO_3^-$	[mg/l]	137,25	112,85
4.	Cloride ( $Cl^-$ )	[mg/l]	14,99	18.400,99
5.	Sulfate $SO_4^-$	[mg/l]	0,17	6697,25

Sumber: Setiadji dkk. (2017)

### 2.2.7 *Steel Slag*

*Steel slag* merupakan limbah sisa pemurnian baja dari dapur tinggi yang berbentuk seperti kubikal atau bongkahan tidak teratur. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 101/2014, Kementerian Lingkungan Hidup menyatakan dengan tegas bahwa limbah slag baja termasuk dalam limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).

Berdasarkan PP No. 101 Tahun 2014, beberapa limbah B3 yang dihasilkan dari industri besi baja tergolong dalam limbah khusus. Dimana limbah tersebut dituntut untuk dimanfaatkan menjadi limbah yang dapat bermanfaat. Tetapi harus tetap memperhatikan pencemaran terhadap lingkungan dan kesehatan keselamatan manusia dan makhluk hidup lain.

*Steel slag* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PT. Krakatau Steel (Persero). PT. Krakatau Steel (Persero) telah melakukan uji *TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) Steel Slag*. Pengujian *TCLP Steel Slag* dapat dilihat pada Tabel 2.9

Tabel 2.9 Hasil Pengujian *TCLP Steel Slag*

Parameter	Metode	TCLP (mg/L)		
		Sample	PP18/99 PP85/99	USEPA
Arsen (As)	AAS/Hydride	0,013	5	5
Barium (Ba)	AAS	1,001	100	100
Boron (B)	AAS	0,144	500	-
Cadmium (Cd)	AAS	0,022	1	1
Chromium (Cr)	AAS	0,031	5	5
Copper (Cu)	AAS	0,011	10	-
Lead (Pb)	AAS	0,599	5	5
Mercury (Hg)	ASS/Hg Analyzer	0,00012	0,2	0,2
Selenium (Se)	AAS	0,008	1	1
Silver (Ag)	AAS	<0,001	5	5
Zinc	AAS	0,923	50	-

Sumber: Gunawan dkk. (2011) dalam Kurniawan (2016)

Berdasarkan hasil dari uji *TCLP Steel Slag* untuk semua kandungan logam berat masih di bawah baku mutu standar Lingkungan Hidup Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999. Uji *TCLP* ini juga memberikan gambaran kemungkinan terburuk, yaitu terjadinya pencemaran limbah jika dibuang dilahan terbuka.

Menurut hasil uji lingkungan yang dicatat di Peraturan Lingkungan No. 101 tahun 2014, *slag* masih dikategorikan tidak berbahaya.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Litbang Pekerjaan Umum, agregat *steel slag* dapat memenuhi persyaratan agregat standar dimana berat jenis *slag* lebih tinggi dari pada agregat standar, sehingga menyebabkan volume pekerjaan lebih kecil dari pada standar, untuk itu perlu dilakukan upaya pencampuran sebagian agregat slag dengan bahan lainnya. Pencampuran ini akan dapat menurunkan berat jenis campuran, sehingga volume pekerjaan akan tercapai, serta kekuatan campuran perkerasan lebih baik. Pengujian yang dilakukan untuk memeriksa spesifikasi *steel slag* sama dengan pengujian yang dilakukan untuk menguji agregat kasar dan agregat halus.