

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Terdapat beberapa studi yang bersangkutan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kinerja *Marshall* Campuran Laston dengan Agregat Bulat dari Sungai Kampar sebagai Agregat Kasar

Sentosa dkk. (2010) melakukan penelitian penilaian karakteristik uji *marshall* aspal beton menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan agregat pengganti yaitu batu bulat yang memenuhi persyaratan Bina Marga dengan membandingkan kadar aspal yang digunakan pada agregat yang menggunakan batu pecah lebih rendah nilainya. Aspal beton dengan campuran batu bulat nilai stabilitasnya lebih kecil, tetapi nilai itu sudah berada diatas batas minimal yang diatur dalam Bina Marga.

Menggunakan *filler* abu batu dengan nilai sebesar 2,652 dalam uji berat jenis. Dalam pengujian *marshall*, didapat nilai stabilitas dengan penggantian laston batu bulat menjadi 71,05% dari stabilitas laston dengan agregat batu pecah nilai MQ sebesar 321,84 kg/mm, nilai tersebut masuk persyaratan bina marga, karena lebih kecil daripada persyaratan dengan nilai 405,81 kg/mm.

Perbedaan penelitian ini dengan yang dilakukan oleh peneliti adalah menggunakan agregat bulat yang didapatkan di Sungai Kampar, menggunakan *filler* atau bahan pengisi abu batu, tidak memodifikasi dengan *steel slag* dan rendaman air laut.

2. Studi Karakteristik *Marshall* pada Campuran Aspal dengan Penambahan Limbah Botol Plastik

Suhardi dkk. (2016) telah melaksanakan penelitian tentang karakteristik *marshall* pada campuran aspal dengan limbah botol plastik. Metode penelitian menggunakan pengujian laboratorium dengan alat uji *marshall*. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai variasi *Polythylene Terephthalate* (PET) pada campuran AC-BC (*Ashpalt Concrete – Binder Course*).

Menggunakan kadar aspal optimum 6,44% dengan gradasi halus, campuran laston AC-BC, penambahan kadar PET optimum pada campuran aspal adalah sebesar 3%, dalam pengujian *marshall* didapatkan nilai stabilitasnya sebesar 1738,929 kg/mm; *MQ* 412,626 Kg/mm; *VMA* 17,722%; sedang nilai *VIM* dan *VFA* tidak memenuhi standar Bina Marga tahun 2010. Semakin meningkat penambahan kadar PET menyebabkan naiknya nilai stabilitas dan *MQ*, akan tetapi nilai nilai kerapatan rongga menjadi semakin tinggi karena PET tidak dapat dijadikan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran agregat.

Perbedaan penelitian ini dengan yang penulis lakukan adalah menggunakan limbah botol plastik sebagai pengganti untuk agregatnya, tidak ada penggunaan *steel slag* dan tidak menggunakan *treatment* air laut pada pengujiannya.

3. 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 pengujian yang nantinya akan digunakan untuk perkerasan lapis tipis dan menggunakan bahan tambah berupa limbah daur ulang bubutan baja. Limbah dari bubutan baja ini memiliki tekstur permukaan yang kasar, dan juga bentuknya tidak beraturan, dan diharapkan dapat meningkatkan performa campuran perkerasan aspal. Dalam pengujian menggunakan metode *National Asphalt Pavement Association* (NAPA). Pengujian ini menggunakan 3 metode pengujian, yaitu menggunakan pengujian kuat tekan, kuat tarik tidak langsung, dan permeabilitas.

Menggunakan penambahan limbah bubutan baja 1% hingga 5% dari berat campuran lapis tipis HMA, nilai kadar limbah optimum adalah 3,79%, dan nilai kuat tarik tidak langsung adalah 670,111 Kpa, dan mengalami penurunan sebesar 25,13% dengan campuran lapis tipis HMA normal. Pada pengujian tekan bebas didapatkan kadar limbah optimum sebesar 3,17% dan hasil kuat tekan bebas sebesar 783,389 Kpa dengan peningkatan 20,25%. Pada pengujian

permeabilitas terdapat penurunan pada koefisien campuran, dengan nilai $6,040 \times 10^{-5}$ dengan peningkatan nilai kedap air sebesar 26,70%.

Terdapat perbedaan yang dilakukan dalam penelitian ini dengan yang dilakukan oleh penulis ini adalah pada metode pengujiannya yang menggunakan kuat tarik tidak langsung, kuat tekan bebas dan permeabilitas sebagai karakteristik pengujiannya. Tidak menggunakan perendaman pada pengujiannya

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

Muaya dkk. (2015) Karena jalan raya yang berada di pesisir pantai terdapat kemungkinan dapat terendam oleh air laut pasang (ROB) yang kandungan dalam airnya berbeda dengan air tawar pada umumnya. Pada campuran aspal betonnya menggunakan kadar aspal optimum dengan perhitungan kadar aspal perkiraan senilai 5,8% lalu kadar divariasikan dari nilai 3,8%, 4,8%, 5,8%, 6,8% dan 7,8%. Dan pada saat perendaman dilakukan variasi pada suhunya, yaitu 25 °C, 30 °C, 35 °C dan 40 °C. Kadar garam yang dipakai adalah 3,5% dan diberi variasi penambahan 0,5% menjadi 4,0% dan 4,5%

Hasil pada penelitian ini kadar aspal terbaik ada pada kadar 5,8% dengan hasil pengujian *marshall* pada nilai stabilitas dengan rendaman air tawar didapatkan 1302,39 kg, nilai *flow* 4,85 mm, nilai *Marshall Quotient* 268,46 kg/mm. Semakin lama perendaman pada air laut semakin merusak benda uji aspal beton. Nilai stabilitas pada durasi perendaman 24 jam sebesar 6,59% dan pada durasi 48 jam sebesar 29,90%. Semakin banyak kadar garam, semakin lama perendaman dan semakin kecil suhunya menyebabkan nilai stabilitas meningkat, dan nilai *flow* semakin menurun

Perbedaan pada penelitian ini dengan yang dilakukan oleh penulis adalah pada durasi perendaman, yaitu 24 jam dan 48 jam, menggunakan penambahan pada kadar garam, serta tidak menggunakan limbah baja pada pengujiannya.

5. Studi Pengaruh Steel Slag Sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Aspal Beton Terhadap Workabilitas dan Durabilitas

Hartati dkk. (2009) melakukan pengujian perkerasan lentur dengan metode *marshall* dengan variasi *steel slag* sebesar 0%, 25%, 50% dan 75%. Menggunakan campuran limbah baja karena pengeluaran dana saat pelaksanaan jalan tinggi, maka mencari solusi agar dapat memanfaatkan limbah sebagai agregat kasar dalam campuran aspal betonnya dengan meninjau durabilitas dan kemudahan dalam pelaksanaannya.

Hasil pengujian pada kadar limbah baja sebesar 75% dengan lama perendaman 0.5 jam didapat nilai stabilitas 1425.38 kg, nilai *flow* sebesar 3.65 mm memenuhi persyaratan Bina Marga, sedangkan nilai VFA dan nilai VIM tidak memenuhi persyaratan yang diakibatkan kadar aspal terlalu rendah dengan nilai 56,69% dan 9.51%. Pada tinjauan dalam kemudahan pengerjaan didapat nilai maksimum dengan kadar limbah baja 25% sebesar 120.313% mendapatkan nilai C, sedangkan pada durabilitas maksimum pada kadar limbah baja 25%.

Terdapat perbedaan yang penulis lakukan dengan penelitian ini adalah pada fraksi agregatnya dengan variasi yang berbeda pada penambahan limbah baja sebagai pengganti untuk agregat kasar. Tidak menggunakan perendaman air laut.

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

Setiadji dkk. (2017) meneliti air laut di sepanjang jalan Pantai Utara Pulau Jawa pada tiga titik pengambilan sampel dengan tempat yang berbeda. Dalam air pasang surut terdapat senyawa klorida dan sulfat dengan beda nilai konsentrasi pada tiap daerah dan merugikan perkerasan jalan.

Hasil pada penelitian ini adalah klorida tersebut memiliki tingkat yang tinggi efeknya pada kerusakan pada campuran perkerasan jalan. Didapat hasil air laut Tanjung Emas Semarang yaitu pH 7,24; *alkalinity* CO_3^{2-} 0 mg/l; *alkalinity* HCO_3^- 112,85 mg/l; *chloride* 18400,99 mg/l dan *Sulfate* 6697,25 mg/l pada perairan laut di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang, Jawa Tengah.

Perbedaan yang ada pada penelitian ini dengan peneliti adalah menguji kandungan dalam air laut yang digunakan sebagai acuan dalam mendapatkan data sekunder. Tidak menggunakan *steel slag* dan karakteristik serta metode pengujiannya berbeda.

7. Pengaruh Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti Sejumlah Agregat Halus Terhadap Campuran Aspal

Bahri dkk. (2010) melakukan penelitian karena di daerah Bengkulu terdapat 6 tempat bengkel bubut yang sehari memproduksi limbah sebanyak 10kg, maka mendapat ide untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah serbuk besi sebagai campuran aspal beton. Menggunakan kadar limbah serbuk besi sebanyak 0%; 5%; 10% dan 15% dari berat agregat halus. Penelitian ini menggunakan metode pengujian di laboratorium dengan pengujian *marshall*.

Nilai stabilitas pada kadar limbah 0% sebesar 1201 kg, 5% sebesar 1660 kg, 10% sebesar 1964 kg dan 15% sebesar 2093. Kestabilan yang tinggi menyebabkan lapis perkerasan menjadi getas atau kaku, dapat mudah retak. Nilai *flow* kadar 0% sebesar 3,20 mm, 5% sebesar 3,5 mm, 10% sebesar 2,9 mm pada penambahan ke persen 15 nilai *flow* kembali seperti kadar 0%, yaitu 3,2 mm.

Perbedaan yang peneliti uji terhadap pengujian ini adalah pada fungsi limbah baja yang dijadikan sebagai penambahan pada agregat halus saja, bukan pada agregat kasar yang dimodifikasi. Tidak menggunakan rendaman air laut untuk perendaman pengujian.

8. Pengaruh Lama Rendaman Air Laut Terhadap Durabilitas Campuran Aspal Beton Menggunakan Aspal Pen.60/70 yang Disubstitusi Limbah *Ethylene Vinyl Acetate*.

Fahmi dkk. (2017) penelitian mengacu pada daerah Aceh terutama bagian pesisir pantainya yang seringkali jalan tergenang oleh air laut pasang. Akibat dari genangan itu menyebabkan penurunan pada indeks durabilitas perkerasan jalan setelah perendaman dengan intensitas waktu yang lama lalu menyebabkan kerusakan pada perkerasan jalan seperti retak-retak dan ditambah dengan adanya beban lalu lintas. Lalu penulis memiliki ide untuk menggunakan limbah polimer *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) pada campuran lapis aspal beton (AC-WC). Limbah-limbah yang digunakan adalah sandal, matras dan alat apung milik pencari ikan. Kadar limbah EVA yang digunakan 0%; 1,5%; 2,5%; 3,5%; 4,5%; 5,5% dan 6,5% dari berat aspalnya. Variasi waktu perendaman selama 30 menit, 12 jam, 36 jam, 48 jam, 60 jam dan 72 jam

dengan suhu 60°C. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah *index of retained stability* (IRS) dan *stability deformation index* yaitu Indeks Durabilitas Pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Nilai absolut ekuivalen kekuatan tersisa yang biasa disebut Sa atau RMS yaitu *Retained Marshall Stability*.

Hasil dari penelitian ini didapatkan presentasi nilai limbah EVA sebesar 2,5% dengan nilai RMS sebesar 91,40% masuk spesifikasi Bina Marga tahun 2010 adalah 90% pada durasi perendaman 72 jam. Sedangkan pada durasi perendaman yang lain tidak memenuhi spesifikasi standar dari Bina Marga dengan rendaman yang sama. Nilai RMS perendaman 72 jam air tawar didapati nilai 99,27%, yang berarti kekuatan campuran dengan limbah EVA memiliki kekuatan pada perendaman 72 jam.

Penelitian ini memiliki perbedaan antara yang peneliti lakukan, yaitu campurannya menggunakan limbah EVA, lalu waktu perendamannya menggunakan air laut dan air tawar. Serta parameter yang ditentukan juga berbeda.

9. Perbandingan Kinerja Campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA) dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Aspal *Retona Blend 55* dengan Variasi Durasi Rendaman Air Laut.

Pratama dkk. (2017) karena sering rusaknya perkerasan karena adanya genangan air laut, peneliti ingin melakukan penelitian karena jalan raya yang tergenang air akan mengurangi durabilitasnya, sehingga umur rencananya semakin pendek. Pada pengujiannya menggunakan campuran HRA, lalu aspal penetrasi 60/70 dan *Retona Blend 55*. Pada pengujian *marshall* menggunakan rendaman air laut dengan waktu 0 jam, 48 jam, 96 jam dan 192 jam.

Didapat hasil pengujian *marshall* adalah nilai *flow* terendah pada kadar aspal 5,5% 1,97 mm dan 1,13 mm pada aspal Penetrasi 60/70 dan aspal *Retona* sedang nilai tertinggi didapat pada variasi kadar aspal 7,5% sebesar 3,17 dan 3,12 mm. Kekakuan aspal *retona* lebih tinggi daripada aspal penetrasi 60/70. Semakin kadar aspal meningkat pada dua jenis aspal tersebut menyebabkan nilai VIM menurun, VFA meningkat. Dan VMA menurun hingga batas optimum lalu naik. Berbeda dengan nilai densitas yang naik

hingga nilai tertentu lalu turun. Stabilitas pada aspal retona penurunan lebih kecil dibanding aspal penetrasi 60/70 pada rendaman 192 jam.

Perbedaan penelitian ini dengan yang peneliti lakukan yaitu pengujian *marshall* menggunakan variasi kadar, lalu aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70, dan variasi perendamannya juga berbeda, yaitu 0 jam, 58 jam, 96 jam dan 192 jam. Serta tidak menggunakan limbah baja untuk campuran aspal yang digunakan.

10. Durabilitas Camuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course* (HRS-WC) Akibat Rendaman Menerus dan Berkala Air Rob.

Nahyo dkk. (2015) karena adanya pasang surut air laut yang ada di Indonesia sehingga menyebabkan adanya banjir pasang air laut yaitu rob karena melimpahnya air laut yang masuk ke daratan. Sehingga jalanan yang berada di sekitar pantai terkena banjir pasang air laut tersebut. Peneliti ingin mengetahui dampak dari rendaman air laut yang menggenangi perkerasan jalan. Maka penelitian menggunakan metode perendaman menerus dengan air laut yang digunakan dan waktu perendamannya dari 6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Untuk indikator kinerjanya menggunakan *index of retained stability* (IRS), *stability deformation index* (IDK), adalah *first durability index* (IDP) dan *second durability index* (IDK)

Pada penelitian ini menghasilkan nilai efek kerusakan pada campuran aspal lebih cepat menggunakan rendaman air laut daripada rendaman air tawar. Nilai penurunan pada stabilitas dengan perendaman air pasang tiga hari adalah 14,867% dari nilai stabilitas awal yaitu 1.032,993 kg. Untuk perendaman air tawar adalah 12,98% dari nilai stabilitas awal.. Nilai IRS mencukupi persyaratan pada umur rendaman 72 jam yaitu 87,017%.

Perbedaan penelitian ini dengan pengujian dari yang dilakukan oleh peneliti adalah parameter yang digunakan, lalu variasi umur rendaman, dan pengujian ini tidak menggunakan limbah baja dalam pencampuran agregatnya.

2.2. Dasar Teori

Terdapat teori yang dapat menunjang adanya penelitian ini yang digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian.

2.2.1. Macam dan Fungsi Perkerasan Jalan

Pada dasarnya, dalam struktur perkerasan jalan itu terdapat beberapa jenis lapisan perkerasan dengan susunan lapis nya sebagai berikut :

1. Lapisan Tanah Dasar (*sub grade*)

Lapisan tanah dengan tebal 50-100 cm yang berfungsi sebagai tempat dimana lapis perkerasan diletakkan, dan untuk mendukung konstruksi dari perkerasan yang berada di atasnya. Tanah dasar didatangkan dari tempat lain yang sudah di stabilisasi, juga dapat berupa tanah asli yang dipadatkan apabila tanah aslinya baik.

Sifat-sifat tanah dasar yang umum sebagai berikut:

- a. Berubah bentuk, dari beban lalu lintas,
- b. Mengembang dan menyusut, dari kadar air yang diterima,
- c. Daya dukung tanahnya berbeda, karena sifat dari tanah di lokasi tidak selalu sama, atau bisa juga karena salahnya proses saat pemadatan.

Tanah dasar dapat dibedakan menurut urutan dari muka tanah asli yaitu:

- a. Tanah dasar, tanah galian,
- b. Tanah dasar, tanah urugan,
- c. Tanah dasar, tanah asli.

Permasalahan yang sering terjadi pada tanah dasar:

- a. Pada jenis tanah tertentu tanah dapat terjadi perubahan bentuk tetap yang diakibatkan dari beban lalu lintas. Semakin besar beban lalu lintas yang diterima oleh tanah dasar semakin besar juga perubahannya, semakin besar perubahan yang didapatkan akan menyebabkan jalan yang berada di atasnya menjadi rusak. Tanah yang memiliki gaya plastisitas yang tinggi akan mengalami hal ini. Maka diperlukannya daya dukung tanah yang besar dari nilai CBRnya.
- b. Pada daerah yang macam tanahnya berbeda akan mendapatkan nilai daya dukung tanah yang tidak merata, maka harus dilakukan pengambilan data tanah dasar di sepanjang jalan yang akan dibangun akan sangat membantu perencanaan pada tebal perkerasan dengan membuat segmen-segmen yang berbeda supaya desain yang dibuat cocok.

- c. Perbedaan penurunan (*differential settlement*) akibat adanya lapisan tanah lunak yang berada di bawah tanah dasar yang menyebabkan perubahan bentuk tetap. Dapat diatasi dengan penyelidikan tanah menggunakan alat bor yang akan memberikan data lapisan tanah di bawah tanah dasar.
- d. Tanah memiliki sifat mengembang dan menyusut dari pengaruh kadar air, dapat diatasi dengan melakukan pemadatan tanah sehingga perubahan volumenya dapat dikurangi. Serta memberikan drainase yang baik adalah cara untuk menjaga berubahnya kadar air pada tanah dasar

2. Lapisan Pondasi Bawah (*subbase course*)

Adalah lapisan yang letaknya berada di atas lapisan tanah dasar, dan di bawah lapisan pondasi atas. Lapisan ini harus kuat, dan memiliki nilai CBR 20% dan indeks palstisitas kurang dari sama dengan 10%. Material pondasi bawah cukup murah daripada lapisan yang berada di atasnya. Harus memiliki nilai stabilitas yang tinggi. Lapisan ini berfungsi sebagai :

- a. Penyebar beban roda dari lalu lintas menuju tanah dasar,
- b. Peresapan, supaya air tidak mengumpul di pondasi,
- c. Pencegah partikel halus dari tanah dasar supaya tidak naik ke lapisan pondasi atas,
- d. Pelindung tanah dasar dari beban lalu lintas,
- e. Pelindung tanah dasar karena cuaca.
- f. Efisien, mengurangi tebal lapisan yang berada di atasnya yang lebih mahal

3. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan ini terletak antara lapisan pondasi bawah dengan lapis permukaan. Bahannya pun harus kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban dari roda lalu lintas. Material yang digunakan harus kuat, nilai CBR >50% dan nilai indeks plastisnya < 4 Lapisan ini berfungsi sebagai :

- a. Menahan gaya lintang dari beban roda lalu lintas, dan mendistribusikan bebannya ke lapisan dibawahnya,
- b. Sebagai bantalan untuk lapis permukaan
- c. Lapisan resap untuk lapisan yang berada dibawahnya

4. Lapisan Permukaan (*surface course*)

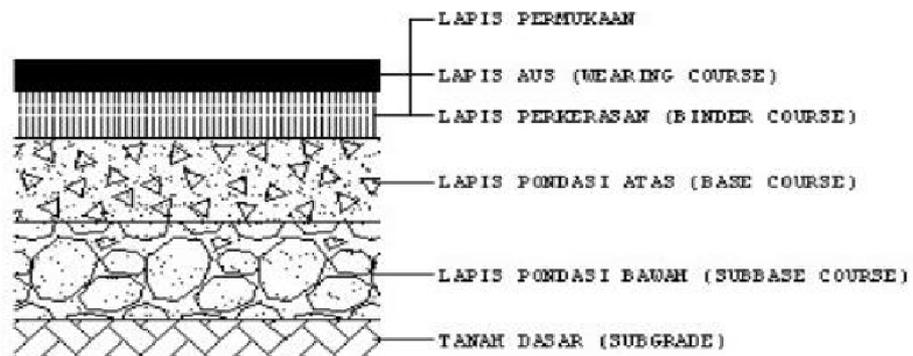
Lapisan ini adalah lapisan yang letaknya paling atas, lapisan yang langsung bersentuhan dengan beban roda kendaraan. Bila perlu diberi lapisan penutup / lapisan aus, yang biasa disebut *wearing course* di atas lapisan permukaan, untuk menambah kekesatan dan pelindung dari air hujan, tetapi tidak di fungsikan sebagai penahan beban. Untuk fungsi dari lapis permukaan atas adalah sebagai:

- a. Lapisan yang langsung menahan beban akibat beban dari roda kendaraan,
- b. Lapisan yang langsung menahan gaya gesek akibat kendaraan yang mengerem (lapisan aus),
- c. Pencegah air hujan yang mengenai supaya tidak meresap ke lapisan bawahnya,
- d. Menyebarkan beban ke lapisan bawahnya.

Dan untuk Jenis Perkerasan dalam struktur perkerasan jalan adalah sebagai berikut:

1. Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Adalah perkerasan yang menggunakan bahan pengikat berupa aspal, biasanya disebut campuran aspal panas ataupun juga *hot mix*. Tipe perkerasan lentur juga semakin banyak seiring meningkatnya pengembangan suatu daerah, sehingga mereka harus *import* dari luar negeri.



Gambar 2.1 Lapisan perkerasan lentur

Sumber : Bina Marga (2010)

Manfaat dalam menggunakan perkerasan lentur adalah sebagai berikut:

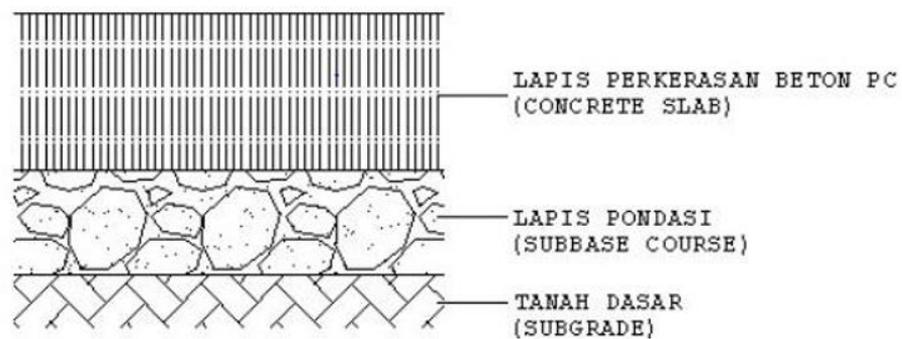
- a. Tidak susah dalam perbaikan
- b. *Overlay* atau penambahan lapisan perkerasan mudah, dan dapat dilakukan kapan saja,
- c. Memiliki ketahanan geser yang baik,
- d. Warna tidak menyilaukan pengguna jalan,
- e. Dapat dilakukan pembangunan bertahap,
- f. Mudah digunakan pada daerah yang memiliki perbedaan elevasi yang tinggi.

Kerugian dalam menggunakan perkerasan lentur adalah sebagai berikut:

- a. Pada masa pelayanan nilai kelenturan dan kohesinya berkurang,
- b. Kurang cocok apabila sering tergenang air,
- c. Lebih banyak menggunakan agregat,
- d. Struktur perkerasannya lebih tebal.

2. Perkerasan Kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan ini secara umum menggunakan beton semen, terdiri dari *slab* (pelat) beton semen yang fungsinya sebagai lapis pondasi dan pada lapisan pondasi bawah tidak diharuskan ada, terletak diatas tanah dasar. Karena masih ada lapisan aspal beton di atasnya, pelat beton biasa disebut lapis pondasi yang berfungsi untuk lapis permukaan.



Gambar 2.2 Lapisan perkerasan kaku

Sumber : Bina Marga (2010)

Perkerasan kaku biasanya menggunakan ruas jalan yang berada di dalam atau luar kota untuk membantu masyarakat dalam perjalanan. Berbeda dengan perkerasan yang menggunakan aspal, pada perkerasan kaku tentu memakan

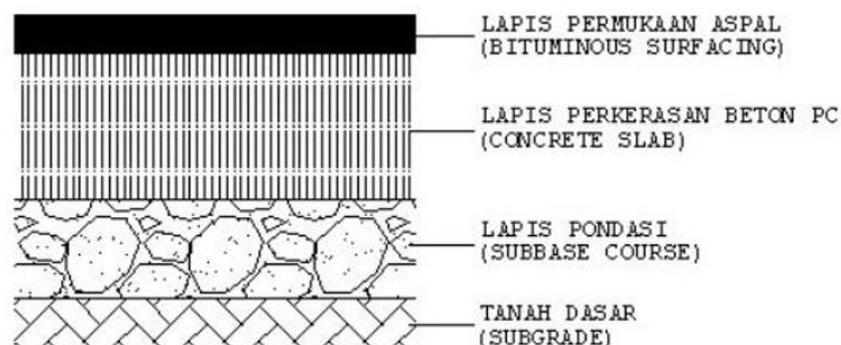
lebih banyak biaya, walaupun pemeliharaannya tidak seperti perkerasan lentur yang harus rutin, berkala, peningkatan jalan atau *overlay*.

Perkerasan kaku pada dasarnya mirip dengan pelat lantai yang menerima beban lentur, tetapi kekuatannya bergantung pada kekuatan dari beton itu sendiri. Tentunya kekuatan dari perkerasan kaku berpengaruh oleh adanya curah hujan, cuaca, kelembaban, yang dapat menyebabkan pelat beton retak. Untuk itu beton pada perkerasan kaku juga mengandalkan tulangan yang dapat mengikat beton itu sendiri.

Perkerasan kaku akan memiliki nilai modulus elastisitas tinggi, mereka akan memberikan beban ke tanah dasar dengan area yang cukup luas juga yang dikarenakan beban dari pelat beton. Tidak seperti perkerasan lentur, perkerasan kaku tidak mengandalkan kekuatan dari lapisan pondasi bawah, lapisan pondasi dan lapisan permukaannya. Kekuatannya tergantung pada kapasitas kekuatan betonnya sendiri, karena tanah dasar dan pondasi hanya berpengaruh kecil.

3. Perkerasan Komposit

Gabungan antara perkerasan lentur (*flexible pavement*) dengan perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang berada dibawahnya. Yaitu masing masing perkerasan ini bersatu untuk menahan beban lalu lintas. Maka untuk ketebalan tiap lapisan harus disyaratkan untuk mencegah adanya kerusakan dari perkerasan kaku yang berada di bawah perkerasan lentur. Perkerasan ini memiliki kenyamanan yang tinggi untuk para pengguna jalan dibandingkan perkerasan beton yang tidak memakai aspal pada bagian permukaannya. (Bina Marga 2010)



Gambar 2.3 Lapisan perkerasan komposit

Sumber : Bina Marga 2010

2.2.2. Karakteristik Campuran

Pada konstruksi perkerasan lentur atau yang biasa disebut campuran aspal adalah campuran dari agregat kasar, halus, bahan pengisi apabila diperlukan dan tentunya aspal yang menjadi bahan pengikat. Jadi kita harus memperhatikan karakteristik pada pencampurannya sebelum melakukan pelaksanaan, terdapat beberapa karakteristik yang perlu dihimbau pada pencampuran *hot mix* nya sebagai berikut:

1. Stabilitas

Suatu kemampuan pada campuran aspal agar dapat menahan deformasi yang diakibatkan oleh adanya beban. Tanpa adanya deformasi yang permanen seperti pada gelombang yang menggunakan satuan kilogram. Stabilitas didapatkan dari hasil pengujian alat uji *marshall*. Nilainya didapatkan dari hasil geser antar butirannya, *interlocking* antar partikel, daya tarik menarik yang baik. Cara mendapatkan stabilitas yang tinggi bisa dilakukan dengan cara menggunakan gradasi agregat yang rapat, permukaannya kasar dengan jumlah aspal yang cukup (Nahyo dkk., 2015; Pratama dkk., 2017).

2. Kelelahan Plastis (*flow*)

Flow didapatkan dari pengujian *marshall*, nilai deformasi vertikal dari awal pembebanan hingga sampel mencapai kestabilan maksimum sampai batas runtuh. Campuran aspal dengan *flow* yang tinggi menandakan bahwa sifatnya plastis. Dan nilai juga didapatkan dari pengujian *marshall*.

3. Densitas (*Density*)

Memberikan informasi kepadatan aspal terhadap campuran aspal. Kelenturannya dipengaruhi oleh ukuran dari agregat, kadar pada aspal yang digunakan, dan bagaimana proses pada saat pemadatan (Sentosa dkk., 2010).

4. *Marshall Quotient*

Perbandingan antara nilai pada stabilitas dengan nilai plastis. Semakin tinggi nilainya akan menyebabkan nilai campuran aspal menjadi kaku, juga mempengaruhi turunnya nilai fleksibilitasnya, begitu juga apabila nilainya turun akan menyebabkan nilai campuran menjadi lembek dan akan menyebabkan nilai fleksibilitas menjadi naik.

5. Ketahanan Geser (*skid resistance*)

Pada karakteristik ini untuk mengetahui nilai kekesatan pada permukaan campuran agar menghindari resiko tergelincirnya kendaraan pada permukaan jalan disaat kondisi terkena air. Sedangkan ketahanan gesernya bisa lebih tinggi apabila pada pemakaiannya benar. Untuk mendapatkan kekesatan yang baik harus menggunakan agregat yang memiliki daya tahan pada bagian permukaan agar tidak mudah licin yang menyebabkan selip pada roda kendaraan, sehingga permukaan diharuskan kasar.

6. Porositas (*Void In Mix / VIM*)

Berfungsi untuk mendapatkan nilai besarnya rongga dalam campuran perkerasan yang dipergunakan untuk melancarkan jalannya air yang mengendap supaya kedap air. Rongga tersebut merupakan persentase rongga dengan volume campuran yang sudah dipadatkan, menggunakan satuan persen. Apabila rongga pada campuran besar akan menyebabkan terjadinya oksidasi, dan apabila rongga pada campuran kecil dapat menyebabkan terjadinya *bleeding*. Oksidasi adalah masuknya udara ke dalam campuran dan bisa menuakan aspal.

7. Rongga dalam Agregat (*Void in Mineral Agregat/ VMA*)

Rongga antar material agregat campuran aspal yang sudah melalui proses pemadatan. VMA ini memberikan informasi persen aspal dalam satuan persen. Nilai VMA tidak termasuk volume aspal yang sudah diserap oleh agregat, tetapi rongga udara dan volume efektifnya saja yang berupa volume rongga pada material campuran aspal yang sudah melalui proses pemadatan.

8. Rongga diisi dengan Aspal (*Void Filled with Asphalt/VFA*)

Rongga udara yang apabila basah akan terisi air, disebabkan karena adanya rongga antar butiran-butiran penyusun campuran aspal. Nilai *VFA* digunakan untuk menjaga keawetan aspal. Dapat ditingkatkan nilainya dengan cara menambahkan kadar aspal atau menggunakan kadar aspal optimum.

9. Durabilitas / keawetan

Ketahanan pada campuran perkerasan dari tekanan kendaraan, hujan dan panas matahari yang dapat menyebabkan terkupasnya lapisan aspal pada

perkerasan jalan. Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi ketahanan pada campuran aspal:

- 1) Kecilnya nilai *VIM* yang menyebabkan campuran aspal tidak kedap air dan udara tak masuk ke dalamnya, hingga membuat aspal tidak kuat dan mudah rusak,
- 2) Besarnya nilai *VMA* yang menyebabkan tebalnya lapisan selimut aspal,
- 3) Tebalnya selimut aspal dapat menjadikan perkerasan menjadi lebih tahan atau *durable*.

Dengan meningkatkan kadar aspal atau menggunakan kadar aspal maksimum dapat meningkatkan durabilitas pada campuran aspal, karena campuran dengan selimut aspal yang lebih tebal dapat memperbaiki karakteristik campuran aspal.

10. *Specific Gravity* Campuran

Perhitungan persen berat pada setiap material penyusun campuran aspal untuk mengetahui berat campuran tiap fraksi. Dengan adanya perhitungan persen berat untuk tiap material ini akan sangat membantu dalam pembuatan sampel benda uji .

11. Kemampuan pelaksanaan (*Workability*)

Pada pelaksanaannya mudah atau tidak untuk dipadatkan serta penghamparannya mudah, pelaksanaan yang mudah, dan pekerjaan yang dilakukan efisien. Usahakan suhu campuran dan ukuran agregat terpenuhi dengan baik. Terdapat tiga faktor yang dapat mempengaruhi *workability* sebagai berikut :

- 1) Terlalu banyak bahan pengisi akan membuat pelaksanaan lebih susah,
- 2) Ukuran agregat dengan gradasi yang baik bisa mempermudah pelaksanaan,
- 3) Suhu pada campuran aspal mempengaruhi kekerasan pada bahan pengikat.

12. Fleksibilitas (kelenturan)

Dengan adanya tekanan roda pada lalu lintas, diharuskan campuran aspal dapat menanganinya dengan baik untuk tidak rusak. Aspal yang banyak akan menyebabkan fleksibilitas menjadi besar, sehingga nilai *VIM* dapat turun. Kemampuan campuran aspal yang diharuskan dapat menyesuaikan diri dari

retakan akibat adanya penurunan dan pergerakan tanah dasar. Untuk meningkatkan nilai fleksibilitas dapat dilakukan dengan memakai susunan agregat dengan gradasi terbuka menggunakan kadar aspal optimum.

13. Kuat Tekan

Kekuatan campuran aspal untuk menahan beban dari roda kendaraan yang mempengaruhi nilai *viskositas* pada aspal yang digunakan. Nilai kuat tekan dapat ditingkatkan dengan menggunakan agregat yang baik, sehingga nilai kuat tekan pada campuran aspal akan meningkat.

14. Kedap Air (impermeabilitas)

Pada bagian permukaan harus dapat mengalirkan air, maka dari itu harus tahan dengan rembesan air untuk mencegah lapisan dibawahnya terkena air dengan cara pada saat pemadatan campuran aspal dilakukan dengan baik sehingga rongga campuran aspal sesuai dengan syarat.

15. Ketahanan kelelahan (*fatigue resistance*)

Kemampuan campuran aspal untuk tahan menerima beban kendaraan yang berulang tetapi tetap tidak leleh dan retak. Dipengaruhi oleh :

- a. Nilai *VMA* dan kadar aspal yang tinggi dapat menyebabkan lapisan dalam perkerasan menjadi fleksibel.
- b. Nilai *VIM* dan kadar aspal yang rendah akan menyebabkan lelehnya perkerasan lebih cepat.

Tabel 2.1 Spesifikasi campuran Aspal Beton (AC)

Sifat-sifat Campuran	Spesifikasi Aspal Beton (AC-WC)
Jumlah tumbukan per bidang	75 kali
Rongga dalam Campuran (<i>VIM</i>)	3,5 – 5,5 %
Rongga dalam Agregat (<i>VMA</i>)	Min 15 %
Rongga terisi Aspal (<i>VFA</i>)	Min 65 %
Stabilitas	Min 800kg
Kelelahan (<i>Flow</i>)	Min 3 mm
<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	Min 250 kg/mm

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga (2010)

2.2.3. Campuran Aspal

Campuran berisi aspal dengan agregat yang diikat menjadi campuran yang kokoh, digunakan dalam konstruksi perkerasan lentur jalan. Campuran ini digunakan untuk mendapatkan perbandingan hasil campuran yang terjangkau untuk materialnya, dengan menjamin kekuatan campuran aspal.

Sifat mekanis dari aspal diperoleh dari friksi dan kohesi dari bahan-bahan pembentuknya, untuk friksinya dari ikatan butir agregat atau *interlocking*-nya, kekuatannya pun tergantung pada gradasi butir yang digunakan.

Terdapat beberapa campuran aspal panas yang dapat diklasifikasikan seperti berikut ini :

1. Lapis Aspal Beton (LASTON), lapisan konstruksi jalan raya yang isinya terdiri dari campuran aspal keras, agregat kasar, lalu agregat dengan gradasi menerus, dan bahan pengisi/*filler* apabila dibutuhkan. Komponen tersebut dicampur rata, dihamparkan lalu dipadatkan dengan keadaan suhu tertentu. Untuk LASTON menggunakan kadar aspal dengan rentang 4% - 7% dari berat campurannya. Memiliki karakteristik yang penting, yaitu nilai stabilitasnya, pori dalam campurannya sedikit, kadar aspal yang dicampur berkurang, sehingga selimut aspal menjadi tipis. Terdapat jenis untuk laston tergantung kebuhan dan tebalnya, Lapis Aspal Beton Pondasi Atas (LASTON ATAS), Lapis Aspal Beton Pondasi Bawah (LASTON BAWAH). (Bahri dkk., 2010)
2. Lapis Penetrasi Makadam (LAPEN), lapisan perkerasan yang isinya terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi seragam yang dilapisi oleh aspal keras dengan cara menyemprotkan aspal di atasnya lalu dipadatkan tiap lapisannya. Dan jika dipergunakan untuk lapis permukaan diberi hamparan aspal dengan batu penutup.
3. Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG), lapisan perkerasan yang terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, ASBUTON (Aspal dari bahan Buton), bahan peremaja dan bahan pengisi apabila dibutuhkan, di hamparkan dan dipadatkan dalam kondisi dingin. juga dikenal dengan ACAS (*Agregat Cold Abuton sheet*). Aspal pada asbuton dapat digunakan untuk campuran bahan perkerasan. Karena buton merupakan batu kapur yang dipakai dalam perkerasan dengan penambahan agregat kasar.

4. *Hot Rolled Asphalt (HRA)*, biasa disebut campuran aspal dengan gradasi agregatnya senjang. Lapisan penutup yang mana isinya terdiri dari campuran agregat dengan gradasi timpang, bahan pengisi dan aspal keras, lalu dipadatkan dalam kondisi suhu tertentu. Campuran aspal ini mengandalkan kemampuan agregat dalam saling mengunci (*interlocking*) kelekatan dari bahan pengikatnya, agregat halus dan bahan pengisinya. Terdapat dua tipe dalam campuran aspal HRA :
 - a. Tipe F (*fine*) yang berisi < 5% agregat halus yang tertahan saringan ukuran 2,36 mm dan yang lolos dari saringan ukuran 0.075 < 9% dari berat total agregat halus.
 - b. Tipe C (*coarse*) yang berisi < 10% agregat halus dari fraksi yang tertahan oleh saringan ukuran 2,36 mm. Dan material yang lolos pada saringan ukuran 0,075 < 19% dari berat total agregat halus.
5. Laburan Aspal (BURAS), lapisan penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditabur pasir, menggunakan agregat dengan gradasi timpang, lalu menggunakan bahan pengisi/*filler* apabila dibutuhkan dan campuran aspal keras dengan ukuran butirnya berukuran maksimum 9.6 mm atau 3/8 inch dari aspal taburan pasir.
6. Laburan Batu Satu Lapis (BURTU), lapisan penutup dengan tebal maksimumnya 20mm, lapis perkerasan ini terdiri dari lapis aspal yang ditabur dengan agregat yang bergradasi seragam, dan lapisan perkerasannya hanya dihamparkan satu kali, tidak seperti BURDA yang dilapis lagi untuk menambah ketebalan perkerasannya.
7. Laburan Batu Dua lapis (BURDA), lapisan penutup yang mana tebal maksimumnya 35mm, dengan isi perkerasannya terdiri dari lapis aspal yang ditabur agregat. Untuk pelaksanaannya dikerjakan dua kali seperti namanya dua lapis tersebut secara berurutan dalam satu waktu yang sama secara berurutan, sehingga ketebalan dari lapisan perkerasan meningkat.
8. Lapis Tipis Aspal Beton (LATASTON), lapisan penutup yang ukuran agregatnya menggunakan agregat dengan gradasi senjang, aspal keras dan bahan pengisi yang kemudian dicampur lalu dipadatkan dalam keadaan suhu

panas 80° C. Ketebalan minimumnya 25 mm dan maksimum 30 mm untuk lapis perkerasan yang digunakan. (Bahri dkk., 2010)

9. Lapis Tipis Aspal Pasir (LATASIR), juga disebut *sand sheet (SS)* memiliki 2 kelas, A dan B. Penggunaannya bergantung pada kebutuhan tebal lapisannya, lapisan yang memerlukan adanya bahan pengisi . Lapisan penutup yang isinya terdiri dari pasir dan aspal keras yang telah dicampur dalam keadaan panas tertentu, lalu bahan pengisi yang dihamparkan dan dipadatkan juga dalam kondisi suhu panas tersebut.
10. Aspal Makadam, (*macadam*), adalah lapisan perkerasan yang menggunakan aspal makadam dan isinya adalah agregat pokok, bisa juga agregat pengunci (*interlocking*) yang memiliki ukuran gradasi agregat seragam lalu dicampur dengan aspal cair lalu diperas dan dipadatkan dalam kondisi dingin, dihamparkan saat itu juga.

2.2.4. Laston beserta Bahan Penyusunnya

Laston atau Lapisan Aspal Beton, lapisan perkerasan pada jalan yang biasa digunakan dan juga berfungsi untuk menahan beban dari roda kendaraan, lalu menyebarkan beban tersebut ke lapisan yang berada dibawahnya, dan juga lapisan yang harus kedap terhadap air sebagai lapisan aus (*wearing course*) . lapisan aus ada 3 jenis campurannya, laston aus 1 pada lapisan permukaannya yang memiliki gradasi pada agregat nya 25,4 mm maksimum. Lalu laston aus 2 pada lapisan aspal beton atas dengan gradasi butir agregatnya 19 mm maksimum. Lalu yang terakhir lapisan aspal beton pondasi yang digunakan untuk bagian bawah dengan ukuran butir maksimumnya 37,5 mm. Untuk kekuatannya tergantung dari agregat dan aspal yang digunakan, bagaimana material tersebut saling mengunci satu sama lain.

Bahan Penyusunnya seperti aspal dan agregat dicampur dalam keadaan panas, lalu pada saat panas itu juga dihamparkan dan kemudian dipadatkan dalam suhu tertentu . Lapisan aspal beton ini dapat dibentuk dari berbagai macam aspal, salah satunya adalah aspal penetrasi 60/70.

Bahan-bahan penyusun perkerasan lentur antara lain adalah agregat, bahan pengisi (*filler*), dan aspal. Dari bahan tersebut sudah memiliki spesifikasi standar yang telah dipatenkan oleh pemerintah dan diatur oleh Bina Marga. Hal tersebut

diatur sebagaimana agar material dan tata cara pelaksanaannya benar dan kriteria terpenuhi. Material penyusunnya adalah sebagai berikut :

1. Agregat

Agregat yang bisa disebut batu adalah material yang keras berbentuk butiran. Yang dimaksud agregat adalah batu bulat, abu batu, batu pecah ataupun pasir. Memiliki peranan yang penting dalam perkerasan jalan, pemilihan yang tepat yang memenuhi syarat sangat menentukan kualitas dari suatu perkerasan jalan.

Agregat yang menjadi komposisi utama dalam perkerasan mengandung 90% hingga 95%, atau jika menurut beratnya dapat dipersentasekan 75% hingga 85%. Harus memiliki gradasi butiran yang baik, bersih, keras, kaku, menyerap air, daya lekat aspal yang baik, berat jenisnya, berbentuk butir, porous, dan tekstur permukaan yang baik.

Agregat sebagai bahan penyusun, dapat dibedakan urutannya menurut ukuran butirnya seperti berikut ini :

a. Agregat Kasar

Pada fraksi ini menggunakan agregat dengan ukuran butiran yang tertahan saringan nomor 8 atau 2,36 mm. Kondisi agregat harus awet, keras, bersih dan bebas dari kandungan lempung atau bahan organik yang tidak diinginkan. Agregat kasar yang pada dasarnya berupa batu pecah atau kerikil pecah lebih baik dipersiapkan terlebih dulu untuk ukurannya dan lebih baik apabila bersudut pada ujungnya.

Untuk dapat memilih agregat kasar yang baik, terdapat syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat kasar seperti berikut ini:

- 1) Butirnya keras tidak ada porinya. Karena agregat kasar yang memiliki pori dapat dimasuki air dengan mudah. Tidak hancur karena pengaruh cuaca, hujan dan panas.
- 2) Kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 1%, apabila ia harus dicuci dahulu sebelum pemakaian.
- 3) Hasil abrasi tidak boleh lebih dari 40% dengan putaran pada alat *Los Angeles* sebanyak 500 kali putaran.
- 4) Tidak terdapat zat yang dapat merusak perkerasan.

5) Ukuran butirnya beraneka ragam.

Adapun perhitungan yang menjadi acuan dasar di dalam pengujian material agregat kasar yang dilandaskan pada spesifikasi Bina Marga tahun 2010 sebagai berikut :

1) Uji Abrasi dengan alat uji (*los angeles*)

Pengujian abrasi menggunakan alat uji *los angeles* adalah pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan angka keausan yang dapat diketahui dengan perbandingan berat bahan aus dengan berat sebelum pengujian abrasi dalam satuan persen. Berikut perhitungan nilai keausan pada agregat:

$$\text{Keausan} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

A : Berat benda uji awal (gr)

B : Berat benda uji yang tertahan ukuran 1,7 mm saringan no.12 (gr)

2) Berat jenis kering

$$Sd = \frac{A}{(B-C)} \dots \dots \dots (2.2)$$

3) Berat jenis semu

$$Sa = \frac{A}{(A-C)} \dots \dots \dots (2.3)$$

4) Penyerapan air

$$Sw = \left(\frac{B-A}{A} \times 100\% \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

5) Berat jenis efektif

$$Bj \text{ Efektif} = \frac{Sa+Sd}{2} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana,

Sd : Berat Jenis dalam Keadaan Kering

Sa : Berat Jenis Semu

Sw : Penyerapan terhadap air

A : Berat benda uji dalam keadaan kering oven

B : Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan

C : Berat benda uji dalam keadaan terendam air

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alami atau batan hasil ayakan dari batu pecah yang lolos dari saringan nomor 8 dengan ukuran 2,36 mm. Sama dengan agregat kasar, kondisinya harus awet, keras, bersih bebas dari kandungan lempung dan bahan organik lainnya yang tidak dikehendaki.

Pasir alam sendiri didapatkan dari lapuknya batuan yang terkikis, didapatkan di gunung maupun sungai. Sedangkan pasir buatan dihasilkan dari hasil sisa pemecah batuan. Agregat halus berfungsi sebagai bahan pengisi untuk agregat yang lebih besar ukurannya atau agregat kasar. Maka dari itu kualitas dari agregat halus juga harus diperhatikan karena dapat mempengaruhi kualitas perkerasan yang dihasilkan, dan harus diuji sifat dan kekuatannya sebelum digunakan sebagai perkerasan.

Untuk dapat memilih agregat kasar yang baik, terdapat syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat kasar seperti berikut ini:

- 1) Keras dan tajam pada sudut butirnya. Butirannya kuat, tidak hancur karena perubahan cuaca hujan dan panas.
- 2) Kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 5% dari berat keringnya. Karena adanya lumpur dapat lolos saringan 0,063 mm. Jadi harus dicuci dahulu apabila pada agregat halus kandungan lumpurnya lebih dari 5%.
- 3) Terdiri dari butiran dengan aneka ragam ukuran.
- 4) Tidak boleh menggunakan pasir laut.
- 5) Tidak mengandung bahan organik dengan kadar yang berlebihan. Dengan pengujian menggunakan larutan NaOH yang dapat menentukan kandungan organik dari suatu agregat halus.

Untuk perhitungan agregat halus itu sendiri adalah dengan menggunakan alat *picnometer* dengan perhitungan jumlah air yang akan digunakan. Untuk mengisi *picnometernya* juga harus sesuai dengan temperaturnya terhadap volume. Adapun perhitungan yang menjadi acuan dasar di dalam pengujian material agregat halus yang dilandaskan pada spesifikasi Bina Marga (2010) sebagai berikut :

1) Berat jenis keadaan kering

$$S_d = \frac{B_k}{(B + SSD - B_t)} \dots \dots \dots (2.7)$$

2) Berat jenis semu

$$S_a = \frac{B_k}{(B + B_k - B_t)} \dots \dots \dots (2.8)$$

3) Penyerapan air

$$S_w = \left(\frac{SSD - B_k}{B_k} \times 100\% \right) \dots \dots \dots (2.9)$$

4) Berat jenis efektif

$$B_j \text{ Efektif} = \frac{S_a + S_d}{2} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana,

S_d : Berat Jenis dalam Keadaan Kering

S_a : Berat Jenis Semu

S_w : Penyerapan terhadap air

B_k : Berat benda uji dalam keadaan kering oven

B : Berat *picnometer* + air

B_t : Berat *picnometer* + pasir + air

SSD : Berat pasir dengan kondisi kering pada bagian permukaan

2. Aspal

Aspal adalah salah satu bahan konstruksi perkerasan lentur yang digunakan untuk mengikat antar partikel agregat. Merupakan material berwarna hitam kecoklatan yang sifatnya lunak dan mudah cair apabila mendapatkan pemanasan yang cukup dan sebaliknya, yang biasa disebut *viskoelastis*. Dengan sifat itulah yang membuat aspal dapat mengikat dan menyelimuti agregat selama masa proses dan pelayanan. Aspal juga biasa disebut material berbituminous karena terbentuk dari bitumen.

Aspal memiliki karakteristik berupa daya tahan, kekerasan, kepekaan terhadap temperatur, adhesi dan kohesi seperti berikut

a. Daya Tahan (*durability*)

Karakteristik yang penting, karena aspal mempertahankan sifatnya yang dipengaruhi oleh cuaca selama masa pelayanan. Sifat ini tak hanya berdasarkan cuaca saja, tetapi dipengaruhi juga oleh sifat-sifat agregat, campuran aspal, dan faktor pelaksanaannya.

b. Kekerasan Aspal

Karakteristik ini menunjukkan bagaimana kekerasan aspal tersebut. Pada proses pencampuran aspal dipanaskan, lalu dicampur agregat, sehingga aspal melapisi agregat, lalu akan terjadi proses oksidasi yang membuat aspal getas, atau kemampuan *viskositasnya* semakin tinggi. Pada masa pelayanan harus selalu dijaga.

c. Kepekaan terhadap temperatur

Karakteristik ini adalah sifat aspal yang mengeras, mengental pada suhu rendah, dan akan menjadi lunak dan mencair apabila berada pada suhu tinggi. Kepekaan aspal atau yang biasa disebut *thermoplastis* ini tidak selalu sama, tergantung dari asal dan jenis aspalnya.

d. Adhesi dan Kohesi

Kemampuan aspal dalam mengikat agregat yang dapat menghasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal itu sendiri adalah adhesi. Sedangkan kohesi sendiri adalah kemampuan aspal supaya dapat mempertahankan agregat berada diposisinya setelah terjadi proses pengikatan antara agregat dengan aspal. Karakteristik-karakteristik ini perlu diuji dan diperhatikan dengan baik untuk menjadi bahan perkerasan jalan yang baik.

Adapun perhitungan yang menjadi acuan dasar di dalam pengujian material agregat kasar yang dilandaskan pada spesifikasi Bina Marga tahun 2010 sebagai berikut :

a. Pengujian Penetrasi

Sebuah pengujian untuk mendapatkan nilai kekentalan aspal yang sangat berpengaruh dengan temperatur. Alat yang digunakan adalah *penetrometer*, untuk mendapatkan hasil keras atau lembeknya aspal yang sedang diuji. Cara kerjanya adalah dengan menusukkan jarum dengan beban tertentu ke dalam benda uji aspal di dalam suhu 25° C. Cara ini efektif untuk aspal yang memiliki nilai kekentalan atau penetrasinya dalam rentang 50 – 200.

b. Titik Lembek

Pemeriksaan yang menggunakan bola baja untuk menekan turun aspal yang berada di dalam cincin yang semula suhunya 5° C dipanaskan dalam wadah hingga menyentuh permukaan bawah wadah bagian dalam yang berjarak 25,4 mm dari cincin.

c. Berat Jenis

Perbandingan antara nilai BJ aspal terhadap BJ air. Untuk mendapatkannya menggunakan wadah bernama *picnometer* lalu digiling kecil-kecil berbentuk bulatan yang dimasukkan ke dalamnya. Untuk perhitungan BJ aspal adalah sebagai berikut :

$$\text{BJ Aspal} = \frac{C-A}{[(B-A)-(D-C)]} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

A : Massa *picnometer* + tutupnya

B : Massa *picnometer* + air + tutupnya

C : Massa *picnometer* + benda uji + tutupnya

D : Massa *picnometer* + benda uji + air + tutupnya

Untuk mendapatkan berat benda uji dapat dihitung dengan cara seperti berikut:

$$\text{Berat benda uji} = \text{BJ aspal} \times W_T$$

Dengan W_T : berat isi air pada temperatur pengujian

d. Kehilangan minyak dan berat Aspal

Kehilangan minyak dan berat pada aspal adalah perbedaan berat antara sesudah dan sebelum dilakukannya pemanasan pada suhu 163° C, untuk perhitungannya dapat dicari dengan cara seperti berikut :

$$\text{Kehilangan Berat} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan,

A : massa benda uji awal

B : massa benda uji setelah dipanaskan

e. Titik nyala

Suhu dimana saat terlihat adanya nyala dengan cepat pada titik permukaan aspal. Untuk titik bakar adalah suhu dimana terdapat nyala

dengan intensitas waktu minimum 5 detik pada titik permukaan aspal. Pemeriksaan yang diperuntukkan mengetahui titik nyala dan titik bakar, yang memiliki nilai titik nyala $>79^{\circ}\text{C}$. Pada pemeriksaan nilai ini menggunakan alat *Cleveland open cup*. Nilai yang biasa didapatkan adalah antara 79°C hingga 400°C . Untuk perhitungannya dapat menggunakan cara berikut ini :

$$\text{Titik Nyala terkoreksi} = C + 0,25 (101,3 - K) \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan,

C : titik nyala ($^{\circ}\text{C}$)

K : tekanan barometer udara (kPa)

2.2.5. Air Laut

Kumpulan air asin yang terhampar luas di atas Bumi yang menghubungkan juga memisah antar pulau antar benua. Laut adalah daerah yang memiliki persentase luas 70% di permukaan Bumi dan bersifat korositas yang tinggi. Nilai keasaman air laut sebesar 8,2 hingga 8,4 yang berisair 96,5% dan kandungan material dan ion yang berada di dalamnya sebesar 3,5%. Material-material terlarut sebanyak 89% itu terdiri dari garam klorida dan sisanya adalah unsur yang berbeda (Muaya dkk., 2015; Fahmi dkk., 2017; Setiadji dkk., 2017).

Kandungan garam dalam air laut adalah 55% klorida, 31% natrium, 8% sulfat, 4% magnesium, 1% kalsium, dan sisanya adalah biokarbonat bromide, asam borak, strontium, dan florida. Sumber garam air laut adalah dari batuan yang berada di darat, gas vulkanik dan rongga udara *hydrothermal* di laut dalam. Penyebab air laut yang memiliki sifat-sifat merusak adalah sebagai berikut :

1. Air laut adalah elektrolit dengan nilai konduktif yang besar
2. Oksigen yang terlarut besar
3. Temperatur air bagian permukaan bernilai tinggi
4. Klorida dalam air laut bersifat ion yang agresif

Tabel 2.2. *Result of Chemical Test of Water from different sources*

Parameter	Unit	Source of Water	
		Distilled water	Tidal Water at Tanjung Emas
pH	-	7,38	7,24
Alkalinity (CO)	(mg/l)	0	0
Alkalinity (HCO)	(mg/l)	137,25	112,85
Chloride (CL)	(mg/l)	14,99	18400,99
Sulfate (SO)	(mg/l)	0,17	6697,25

Sumber : Setiadji dkk. (2017) *Effect of chemical compounds in tidal water on asphalt pavement mixture*

2.2.6. Steel Slag

Steel Slag atau yang kerap disebut limbah baja adalah sebuah limbah atau bahan sisa hasil pengecoran besi yang dicairkan dengan batu gamping dan kapur. (Hartati dkk., 2009; Pramudya dkk., 2013). Awalnya menghilangkan dahulu kandungan yang menyebabkan baja tersebut kotor, yaitu alumunium, *phosphor*, dan silikon. Kalsium dalam kapur, alumunium, phosphor dan silikon dicampur hingga membentuk limbah (*slag*) baja pada suhu 1600° C hingga membentuk cairan, lalu limbah baja diletakkan pada wadah dalam kondisi cair, dalam dalam waktu kurang lebih 5 menit limbah tersebut menjadi keras. Supaya dapat terbentuk serpih, limbah tersebut diberi air. Dengan perbedaan temperatur dari limbah tersebut dengan air menyebabkan limbah pecah. Karena bentuknya yang menyerupai batu, limbah ini tidak kalah keras juga dari batuan pada umumnya.

Limbah baja ini berasal dari pembakaran dengan suhu tinggi, dihasilkan oleh industri peleburan baja. Limbah tersebut juga dapat dijadikan sebagai campuran semen, dengan cara digiling hingga halus untuk bahan pengganti semen dalam pembuatan beton.

Adapun perhitungan yang menjadi acuan dasar di dalam pengujian material limbah baja sebagai agregat kasar yang dilandaskan pada spesifikasi Bina Marga tahun 2010 sama dengan pengujian pada agregat kasar.

2.2.7. Parameter *Marshall*

pada pengujian *marshall* merupakan pengujian pada campuran aspal yang digunakan untuk perkerasan jalan, dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter dari pengujian. Adapun parameter yang wajib ada dalam campuran aspal beton panas adalah seperti berikut ini :

1. Stabilitas

Kekuatan lapisan aspal yang mendapatkan tekanan dari roda kendaraan tetapi bentuknya tidak berubah permanen layaknya gelombang, dan tidak *bleeding*. (Sukirman, 1992). Nilai stabilitas bergantung pada gesekan antar material agregat dan kohesinya. Dan gesekan antar agregat tersebut dipengaruhi oleh bentuk permukaan butirnya, teksturnya, kepadatan dari campuran aspalnya, dan ketebalan dari lapisan aspal. Nilai stabilitas dan waktu perendaman dengan air laut memiliki hubungan yang berbanding terbalik, apabila perendaman semakin lama maka nilai stabilitas akan menurun (Nahyo dkk., 2015; Pratama dkk., 2017).

2. Kelelehan (*Flow*)

Dimana campuran aspal mengalami perubahan bentuk karena adanya beban dalam satuan mili meter. Sedangkan parameter dari *flow* itu sendiri berfungsi untuk mendapatkan nilai dari perubahan bentuknya (*deform*) pada saat posisi vertikal dan diberi beban sampai nilai stabilitas maksimum atau benda uji tersebut hancur. Semakin banyak kadar aspal, semakin tinggi pula nilai kelelehannya. Semakin naik nilai deformasi menyebabkan campuran bersifat plastis, dan apabila nilai semakin tinggi menyebabkan perkerasan menjadi kaku. (Muaya dkk., 2015).

3. Kepadatan (*density*)

Merupakan tingkat rapatnya campuran aspal setelah campuran tersebut dipadatkan. Apabila tinggi nilai kepadatannya, maka nilai kerapatannya pun mengikuti. Karena nilai kepadatan dipengaruhi oleh beberapa faktor, layaknya ukuran butir dalam campuran, kualitas dan jenis dari bahan-bahan penyusunnya, serta kadar aspal yang digunakan akan mempengaruhi kepadatannya. Apabila menggunakan bahan *additive*, zat tersebut juga akan

mempengaruhi nilai dari *density* tersebut. Apabila nilai densitas tinggi akan menyebabkan nilai stabilitas juga tinggi (Sentosa dkk., 2010).

4. Rongga dalam Campuran Aspal (*Void In the Mix / VIM*)

Rongga tersebut dalam campuran aspal untuk perkerasan jalan berisi rongga udara antar material agregatnya yang telah dibungkus oleh aspal. Untuk volume dari rongga udara tersebut dapat dihitung dengan cara berikut ini :

$$VIM = 100 - \frac{100 \times \text{Berat Volume Benda Uji}}{B_j \text{ Maksimum teoritis}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Berat Jenis Maksimum Teoritis

$$B_j = \frac{100}{\frac{\% \text{Agregat}}{B_j \text{ Aspal}} + \frac{\% \text{Aspal}}{B_j \text{ Aspal}}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

VIM : rongga udara setelah campuran dipadatkan (%)

B_j Teoritis : Berat jenis campuran pada fase maksimum teoritis paska pemadatan (gr/cc)

5. Rongga antar agregat (*Void in the Mineral Agregat/ VMA*)

Adalah rongga udara antar material agregat dalam campuran aspal, dan juga rongga udara volume aspal efektif tetapi tanpa volume aspal yang sudah diserap oleh agregat. Nilainya dapat ditentukan dengan cara berikut ini :

$$VMA = \frac{(100 - \% \text{Aspal}) \times \text{Berat Volume Benda Uji}}{B_j \text{ Agregat}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada material agregat (%)

% Aspal : Kadar aspal dalam campuran (%)

B_j Agregat: Berat jenis efektif

6. Rongga yang terisi oleh aspal (*Voids Filled with Asphalt/VFA*)

%Rongga dalam material yang terisi oleh aspal, tetapi tidak termasuk aspal yang sudah diserap oleh agregat. Untuk perhitungannya seperti berikut ini :

$$VFA = 100 \times \frac{\text{Volume Aspal}}{VMA} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan :

VFA : Rongga udara yang diisi oleh aspal (%)

VMA : Rongga udara pada material agregat (%)

7. *Marshall Quotient / MQ*

Hasil bagi dari nilai stabilitas dengan *flow* yang difungsikan untuk mendapatkan pendekatan pada tingkat kekakuan / kelenturan pada campuran aspal dan ditunjukkan dalam satuan kN/mm. (Sukirman, 1992) . apabila mendapati tingginya nilai *MQ* , maka nilai kekakuan pada lapisan permukaan pun tinggi. Untuk perhitungannya dapat dijabarkan seperti berikut :

$$MQ = 100 \times \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

MQ : *Marshall quotient* (kg/mm)

Flow : kelelehan (mm)