

BAB II
KERANGKA TEORITIS, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS
PENELITIAN

1.1 Kerangka Teori

Jalan

Jalan merupakan lintasan dasar dan utama dalam menggerakkan roda perekonomian Nasional dan daerah, mengingat penting dan strategisnya fungsi jalan untuk mendorong distribusi barang dan jasa sekaligus mobilitas penduduk. Ketersediaan jalan memungkinkan masyarakat mendapatkan akses kemudahan bertransportasi. Untuk itu diperlukan perencanaan struktur perkerasan yang kuat, tahan lama dan mempunyai daya tahan tinggi terhadap deformasi yang terjadi. Kerusakan jalan di Indonesia umumnya disebabkan oleh *physical damage factor* yang berlebih, banyaknya arus kendaraan yang lewat sebagai akibat pertumbuhan jalan kendaraan juga sangat berpengaruh terhadap umur layak kendaraan. Disamping itu kerusakan jalan banyak diakibatkan oleh fungsi drainase struktur jalan kurang baik, akibatnya genangan air dipermukaan jalan meningkat sehingga merusak struktur jalan (Puslitbang PU, 2011).

Konstruksi Perkerasan Jalan

Pada dasarnya konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi tiga macam (Sukirman, 1999) :

a. Konstruksi Perkerasan Kaku (*rigid pavement*)

Yaitu perkerasan yang menggunakan semen (portland cement) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu-lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton (slab beton).

b. Konstruksi Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

yaitu perkerasan yang menggunakan campuran aspal panas atau Hot Mix Asphalt (HMA) sebagai lapis permukaannya.. Umumnya terdiri dari 3 lapis atau lebih. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari konstruksi telford, macadam, penetrasi macadam, batu pecah, dan aspal beton campuran panas.

c. Konstruksi Perkerasan Komposit

Yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur sebagai lapisan yang bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu-lintas haruslah memenuhi syarat berikut :

- a. Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban ke tanah dasar.
- b. Kedap air, sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya.

c. Permukaan yang mudah mengalirkan air sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat cepat dialirkan.

d. Kekakuan untuk memikul beban tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

Perkerasan lentur terdiri dari lapisan–lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan–lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu–lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya.

Konstruksi perkerasan terdiri dari :

a. Lapisan permukaan (*surface course*)

Lapisan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapis penahan beban roda, lapisan kedap air, lapis aus (*wearing course*) dan lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah.

b. Lapisan pondasi atas (*base course*)

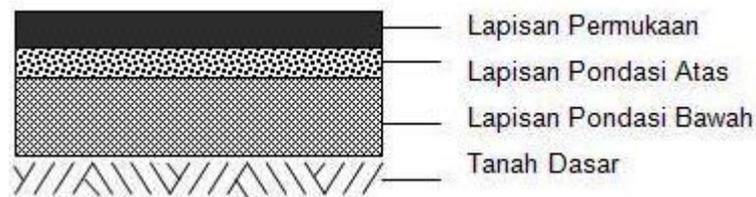
Lapisan yang terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan, berfungsi sebagai bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya, sebagai lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah, dan untuk bantalan terhadap lapis permukaan.

c. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)

Merupakan lapisan diantara lapis pondasi atas dan tanah dasar, berfungsi sebagai penyebar beban roda ke tanah dasar, untuk efisiensi penggunaan material, sebagai lapis persapan, lapisan pencegah partikel-partikel halus dari tanah dan sebagai lapisan pertama di atas tanah dasar.

d. Lapisan tanah dasar (*sub grade*)

Merupakan lapisan tanah setebal 50-100 cm dimana bagian atasnya diletakkan lapisan pondasi bawah.



Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Jalan

Perkerasan Aspal Beton

Menurut (Permen PU No.28/PRT/M/2007), jenis campuran beraspal terbagi menjadi latasir, lataston, dan laston.

a. Latasir (Lapis Tipis Aspal Pasir / *sand sheet*) kelas A dan kelas B

Latasir adalah lapis penutup permukaan jalan yang terdiri atas agregat halus atau pasir atau campuran keduanya dan aspal keras yang dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu. Pemilihan kelas A atau kelas B terutama tergantung pada gradasi pasir yang digunakan.

b. Lataston (Lapis Tipis Aspal Beton / HRS)

Lataston adalah lapis permukaan yang terdiri atas lapis aus (lataston lapis aus / *HRS-WC*) dan lapis permukaan antara (lataston lapis permukaan antara / *HRS-Binder*) yang terbuat dari agregat yang bergradasi senjang dengan dominasi pasir dan aspal keras yang dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperature tertentu.

c. Laston (Lapis aspal Beton)

Laston adalah lapis permukaan atau lapis pondasi yang terdiri atas beton lapis aus (AC-WC), laston lapis permukaan antara (AC-BC), dan laston lapis pondasi (AC-Base).

Aspal beton merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur (Sukirman, 1999). Aspal beton adalah beton dengan bahan pengikat aspal yang dicampur dalam keadaan panas. Campuran terdiri dari aspal, batuan dan filler yang setelah diaduk diangkut dengan truk ke lokasi pekerjaan, kemudian dimasukkan ke alat penghampar. Batuannya berbentuk pasir, kerikil, batu yang dibagi sebagai agregat halus (pasir) dan kasar. Filler atau mineral pengisi rongga udara pada campuran aspal semen (AC) dengan agregat, antara lain semen portland, debu batu kapur / karang yang dipecah (DPU, 1999).

Beton aspal dapat digunakan untuk lapisan aus (*wearing course*), perata (*leveling course*) dan pondasi (*base course*). Lapis aus merupakan lapis perkerasan jalan paling atas, yang menerima dampak langsung dari lalu-lintas. Lapis perata berada di bawah lapis aus, dan di bawah lapis perata merupakan lapis pondasi. Lapisan-lapisan ini harus cukup kuat, stabil dan tetap ditempat meskipun ada guncangan-guncangan dari lalu-lintas. Lapisan aus harus tahan lama dari dampak lalu-lintas maupun cuaca. Lapis permukaan harus cukup halus agar ban mobil atau kendaraan yang lewat tidak cepat rusak, tergelincir dan cukup nyaman bagi penumpangnya. Lapisan aus merupakan agregat yang lebih halus dengan kadar aspal lebih tinggi dari lapisan lainnya.

Untuk aspal beton yang baik, sangat ditentukan oleh kepadatan dari agregatnya (jumlah berat dalam volume). Kepadatan tergantung dari jenis dan

gradasi agregat, jika menggunakan batu bulat dengan ukuran yang sama akan banyak membentuk rongga-rongga kosong, jika menggunakan batu yang dipecah menjadi debu dan butir-butir batu persegi yang tidak sama bentuknya maka rongga-rongga kosong akan terisi oleh batu pecah yang lebih halus sehingga akan lebih rapat.

Kekuatan dan kepadatan agregat menentukan kestabilan perkerasan untuk menahan beban lalu-lintas, tanpa ada perubahan/pergeseran susunan permukaan lapis perkerasan. Penggunaan batu pecah akan menambah kestabilan karena pergeseran antara dua bidang batu pecah, dan juga akan memberi permukaan lebih luas untuk penyalutan aspal. Kadar aspal dalam campuran juga mempengaruhi kestabilan lapisan, karena apabila aspalnya terlalu sedikit maka ikatan agregat satu sama lain menjadi kurang kuat. Sebaliknya apabila aspalnya terlalu banyak maka ikatan butir satu sama lain akan menjadi licin, sehingga saling mendorong dan mengakibatkan lepas. Aspal cement harus mempunyai daya ikat terhadap agregat yang tahan lama untuk kestabilan perkerasan jalan. Aspal semen harus bersifat luwes (tidak mudah retak) apabila digunakan sebagai perkerasan, dibandingkan dengan agregat yang kurang dapat menyesuaikan diri terhadap dampak dari beban lalu-lintas dan cuaca.

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah (Sukirman, 1999, hal. 178-182):

1. Stabilitas

Yaitu kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu-lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*.

2. Durabilitas

Merupakan kemampuan menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan.

3. Fleksibilitas

Merupakan kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu-lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.

4. Tahanan geser (*skid resistance*)

Adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan atau basah maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan ban kendaraan.

5. Ketahanan kelelahan (*fatigue resistance*)

Merupakan ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*ruting*) dan retak.

6. Kemudahan pelaksanaan (*workability*)

Adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.

Lataston (HRS-WC) Menurut Lapisannya

HRS-WC adalah lapis permukaan yang terbuat dari agregat yang bergradasi senjang dengan dominasi pasir dan aspal keras yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu. Lapisan

aus merupakan agregat yang lebih halus dengan kadar aspal yang lebih tinggi dari lapisan lainnya.

Menurut petunjuk pelaksanaan Lataston No. 12/PT/B/1983 (Departemen Pekerjaan Umum, 1983) Lataston merupakan lapisan penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas (tebal padat 2,5 cm atau 3 cm). Karena bergradasi timpang (senjang, *gap graded*) dan mengandung sangat sedikit agregat yang berukuran kasar maka sebagai konsekuensi campuran tersebut dapat menyerap kadar aspal yang relatif tinggi dan dapat memberikan suatu permukaan yang sanggup menerima beban berat tanpa mengalami retak .

HRS-WC mempunyai fungsi sebagai lapisan penutup untuk mencegah masuknya air dari permukaan kedalam konstruksi perkerasan sehingga dapat mempertahankan kekuatan konstruksi sampai tingkat tertentu. HRS-WC mempunyai sifat kedap air, memiliki kekenyalan yang tinggi, awet, dan dianggap tidak mempunyai nilai struktural (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1983).

HRS-WC mempunyai persyaratan kekuatan yang sama dengan tipikal yang disyaratkan untuk aspal beton konvensional (*Asphalt Concrete, AC*) yang tidak bergradasi senjang. Terdapat dua jenis campuran HRS-WC yaitu untuk lapis permukaan (*HRS-wearing course*) dan HRS-WC untuk lapis pondasi (*HRS-base course*). Ukuran maksimum untuk masing-masing jenis campuran HRS-WC dan HRS-BC adalah 19 mm (3/4 inci). Perbedaan keduanya adalah gradasi HRS-WC untuk lapis permukaan lebih halus dibandingkan gradasi HRS-BC untuk lapis

pondasi. HRS-WC sebaiknya digunakan pada jalan dengan lalu-lintas ringan sampai sedang (< 1.000.000 SST) (Depkimpraswil).

Umumnya HRS-WC digunakan pada jalan yang telah beraspal dengan dua ketentuan, yaitu jalan harus stabil dan rata atau dibuat rata dan jalan mulai retak atau mengalami degradasi permukaan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1983).

Untuk mendapatkan hasil yang memuaskan, maka campuran harus dirancang sampai memenuhi semua ketentuan yang diberikan dalam Spesifikasi. Dua kunci utama adalah (Permen PU No.28/PRT/M/2007) :

1. Gradasi yang benar-benar senjang. Agar diperoleh gradasi yang benar – benar senjang, maka selalu dilakukan pencampuran pasir halus dengan agregat pecah mesin.
2. Sisa rongga udara pada kepadatan membal (*refusal density*) harus memenuhi ketentuan.

Aspal

Aspal merupakan suatu produk berbasis minyak yang merupakan turunan dari proses penyulingan minyak bumi. Pada proses destilasi fraksi ringan yang terkandung dalam minyak bumi dipisahkan dengan destilasi sederhana hingga menyisakan suatu residu yang dikenal dengan nama aspal keras. Dalam proses destilasi ini, aspal keras baru dihasilkan melalui proses destilasi hampa pada temperatur sekitar 480°C. Temperatur ini bervariasi tergantung pada sumber minyak mentah yang disuling atau tingkat aspal keras yang akan dihasilkan. Aspal keras dapat dijadikan aspal cair dengan cara dilarutkan dengan bahan pelarut berbasis minyak. Selain itu aspal keras dapat dijadikan aspal emulsi dengan cara

mengemulsikan aspal keras dengan emulsifier (emulgator). Tingkat pengontrolan yang dilakukan pada tahapan proses penyulingan akan menghasilkan aspal dengan sifat-sifat yang khusus yang cocok untuk pemakaian yang khusus pula, seperti untuk pembuatan campuran beraspal, pelindung atap dan penggunaan khusus lainnya. Selain itu, aspal juga terdapat di alam secara alamiah, aspal ini disebut aspal alam.

Aspal beton adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk aspal beton dicampur pada suhu tertentu, kemudian diaduk dengan alat mixer. Jenis aspal beton dapat dibedakan berdasarkan suhu pencampuran material pembentuk aspal beton, dan fungsi aspal beton.

Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran, aspal beton dapat dibedakan atas:

1. Aspal beton campuran panas (*hotmix*), yaitu aspal beton yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 170°C.
2. Aspal beton campuran sedang (*warm mix*), yaitu aspal beton yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 60°C.
3. Aspal beton campuran dingin (*cold mix*), yaitu aspal beton yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 25°C.

Definisi aspal menurut American Standard Testing of Material (ASTM) adalah material berwarna hitam atau coklat tua dan merupakan senyawa dari hydrocarbon dan turunannya. Aspal bersifat viskoelastis, sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk ke dalam

pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman pada perkerasan jalan. Dan jika temperatur mulai menurun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifatnya termoplastis) (Sukirman, 1999).

1.1.3.1 Jenis Aspal

Berdasarkan cara diperolehnya, aspal dapat dibedakan atas :

1. Aspal alam
 - a. Aspal gunung (*rock asphalt*) contohnya aspal yang berasal dari pulau Buton.
 - b. Aspal danau (*lake asphalt*) contohnya aspal yang berasal dari Bermudez, Trinidad.
2. Aspal buatan
 - a. Ter, merupakan hasil penyulingan batu bara. Tidak umum untuk digunakan untuk perkerasan jalan karena lebih cepat mengeras, peka terhadap perubahan temperatur dan beracun.
 - b. Aspal minyak, merupakan hasil penyulingan minyak bumi, dibedakan menjadi aspal keras/panas, aspal cair/dingin, dan aspal emulsi.

1.1.3.2 Aspal Minyak

Aspal minyak dengan bahan dasar aspal dapat dibedakan menjadi :

1. Aspal keras/panas (cement (AC)

Pada temperatur ruang (25° – 30° C) berbentuk padat. Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasin pada temperatur 25° C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya. Aspal semen dengan penetrasi rendah

digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu-lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu-lintas dengan volume rendah. Di Indonesia pada umumnya dipergunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/100.

2. Aspal cair (*cut back asphalt*)

Merupakan campuran antara aspal semen dengan bahan pencair dari hasil oenyulingan minyak bumi. Berdasarkan bahan pencair dan kemudahan penguapan bahan pelarutnya aspal cair dibedakan menjadi.

a. RC (*rapid curing cut back*)

Dilarutkan dengan bensin, paling cepat menguap dibanding yang lain.

b. MC (*medium curing cut back*)

Dilarutkan dengan bahan pencair yang lebih kental seperti minyak tanah.

c. SC (*slow curing cut back*)

Dilarutkan dengan bahan yang lebih kental seperti solar, paling lama menguap.

3. Aspal emulsi

Adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi. Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya dibedakan menjadi :

a. Kationik, disebut juga aspal emulsi asam, bermuatan arus positif.

b. Anionik, disebut juga aspal emulsi alkali, bermuatan arus negatif.

c. Nonionik, merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, tidak menghantarkan listrik.

1.1.3.3 Persyaratan Aspal Keras

Persyaratan aspal keras untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 60/70 atau 80/90 yang seragam, tidak mengandung air, bila dipanaskan sampai dengan 175°C, tidak berbuis, dan memenuhi persyaratan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Persyaratan Aspal Keras

Jenis Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan	Persyaratan				Satuan
		Pen 60		Pen 80		
		Min	Max	min	Max	
1. Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	60	79	80	99	0,1 mm
2. Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	46	54	°C
3. Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	200	-	225	-	°C
4. Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	SNI 06-2441-1991	-	0,4	-	0,6	% berat
5. Kelarutan (CCl ₄ atau CS ₂)	SNI 06-2438-1991	99	-	99	-	% berat
6. Daktilitas (25°C, 5 cm / menit)	SNI 06-2432-1991	100	-	100	-	Cm
7. Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 06-2456-1991	75	-	75	-	% awal
8. Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	1	-	gr/cc

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1983)

Agregat

Agregat adalah bahan berbutir yang mempunyai komposisi mineral seperti pasir, kerikil, batu kapur, terak (alag) atau batu pecah yang digunakan orang bersama-sama dengan suatu bahan penyemen sehingga membentuk semacam adukan atau beton, atau mungkin pula tanpa sesuatu bahan penyemen, untuk dipakai sebagai lapisan base jalan, bantalan kereta api, atau lainnya (Tanah dan Batuan, Badan Penerbit Pekerjaan Umum No. 204 Tahun 1996).

Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam perkerasan jalan, dimana agregat menempati proporsi terbesar dalam campuran, umumnya berkisar antara 90 - 95 % dari berat total campuran, atau 75 -85 % dari volume campuran (*The Asphalt Institute, 1983*). Menurut BS.594 (1992), agregat kasar mempunyai peran sebagai pengembang volume mortar, menjadikan campuran lebih ekonomis, meningkatkan ketahanan mortar terhadap kelelahan (*flow*) dan meningkatkan stabilitas.

Menurut (Permen PU No.28/PRT/M/2007) tentang Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas, agregat secara umum harus memenuhi spesifikasi sebagai berikut:

- a. Agregat yang akan digunakan dalam pekerjaan harus sedemikian rupa agar campuran beraspal yang proporsinya dibuat sesuai dengan rumus perbandingan campuran dan memenuhi semua ketentuan yang disyaratkan.
- b. Agregat tidak boleh digunakan sebelum memenuhi persyaratan, bahan agregat harus ditumpuk secara terpisah sehingga tidak saling tercampur satu dengan lainnya.
- c. Sebelum memulai pekerjaan sudah menumpuk setiap fraksi agregat pecah dan pasir untuk campuran beraspal, paling sedikit untuk kebutuhan satu bulan atau paling sedikit 40% dari total pekerjaan yang akan dikerjakan dan selanjutnya tumpukan persediaan harus dipertahankan paling sedikit untuk kebutuhan campuran aspal satu bulan berikutnya.
- d. Dalam pemilihan sumber agregat, sudah memperhitungkan penyerapan aspal oleh agregat.
- e. Penyerapan air oleh agregat maksimum 3%.

- f. Berat jenis (*bulk specific gravity*) agregat kasar dan agregat halus minimum 2,5 dan perbedaannya tidak boleh lebih dari 0,2.

Berdasarkan proses pengolahannya, agregat dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Agregat alam, yaitu agregat yang dapat dipergunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit proses pengolahan. Dua bentuk agregat alam yang sering dipergunakan adalah kerikil dan pasir.
2. Agregat buatan, yaitu agregat yang harus melalui proses pemecahan terlebih dahulu dengan mesin pecah agar partikel yang dihasilkan dapat terkontrol.

Berdasarkan besar partikel-partikel agregat, agregat dapat dibedakan menjadi :

1. Agregat kasar, adalah agregat yang tertahan saringan Nomor 4 (4,75 mm) (SNI 03-6819-2002).
2. Agregat halus, adalah agregat yang lolos saringan Nomor 4 (4,75 mm) minimum 80%. (SNI 03-6819-2002)
3. Bahan yang lolos ukuran saringan no.30 (0,59 mm) dan paling sedikit 65% lolos saringan no.200 (0.075 mm) seperti Abu batu/mineral *filler* (SNI 06-6723-2002).

2.1.4.1 Gradasi Agregat

Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam

campuran dan menentukan workabilitas (sifat mudah dikerjakan) dan stabilitas campuran. Untuk menentukan apakah gradasi agregat memenuhi spesifikasi atau tidak, diperlukan suatu pemahaman bagaimana ukuran partikel dan gradasi agregat diukur. Gradasi agregat ditentukan oleh analisa saringan, dimana contoh agregat harus melalui satu set saringan. Ukuran saringan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawatnya dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inchi persegi dari saringan tersebut.

Untuk jenis HRS-WC, semakin halus gradasi (mendekati batas atas), maka Rongga dalam mineral Agregat (VMA) akan makin besar. Pasir halus yang dikombinasi dengan batu pecah harus mempunyai bahan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan pada saringan No. 100 (600 mikron) sesedikit mungkin. Hal ini sangat penting karena bahan yang 'senjang' harus tidak lebih dari batas yang diberikan, yaitu disyaratkan agar minimum 80 % dari agregat yang lolos 2,36 mm harus lolos juga pada saringan 0,600 mm. Jika jumlah bahan tersebut lebih besar dari yang ditentukan dalam kondisi 'senjang', maka VMA akan terlalu rendah sehingga campuran sulit mencapai VMA yang diinginkan.

Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

1. Gradasi seragam (*uniform graded*) / gradasi terbuka (*open graded*)

Adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga/ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas rendah dan memiliki berat isi yang kecil.

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

Adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga sering juga disebut gradasi menerus, atau gradasi baik (*well graded*). Campuran dengan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.

3. Gradasi senjang (*gap graded*)

Adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali, oleh sebab itu gradasi ini disebut juga gradasi senjang (*gap graded*). Campuran agregat dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari kedua gradasi yang disebutkan di atas.

Klasifikasi gradasi berdasarkan ukuran butiran yaitu:

1. Gradasi Agregat Halus

Persyaratan gradasi agregat halus untuk HRS-WC adalah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1983) :

a. Gradasi seperti tertera dalam tabel dibawah ini :

Tabel 2.2 Persyaratan Gradasi Agregat Halus

Ukuran saringan (No. (mm))	Persen Lolos (%)
4 (4,76)	100
8 (2,38)	95-100
30 (0,59)	75-100
80 (0,177)	13-50
200 (0,074)	0-5

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1983)

b. *Sand equivalent* minimum 50% ((ASTHO T 176-08, 2013)).

c. Non plastis.

2. Gradasi Agregat Kasar

Berikut adalah persyaratan agregat kasar menurut Bina Marga :

- a. Gradasi seperti tertera dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2.3 Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Sarigan (inch (mm))	Persen Lolos (%)
3/4" (19,10)	100
1/2" (12,70)	85-100
3/8" (9,52)	0-95
No.3 (6,35)	0-60

(Direktorat Jenderal Bina Marga, 1983)

- b. Keausan agregat maksimum 40% bila diperiksa dengan mesin Los Angeles pada putaran 500.
- c. Kelekatan terhadap aspal lebih besar dari 95%.

3. Gradasi Filler

Filler, merupakan bahan yang lolos ukuran saringan 0,59 mm dan paling sedikit 65% lolos saringan 0,075 mm (SNI 06-6723-2002)

Tabel 2.4 Gradasi Bahan Pengisi (*filler*)

Ukuran Saringan	Persen Lolos
No. 30	100
No. 50	95-100
No. 200	70-100

Sumber: SNI 06-6723-2002

4. Gradasi Campuran

Pemeriksaan gradasi dilakukan dengan pekerjaan pengayakan terhadap bahan agregat pembentuk HRS-WC. Ayakan (saringan) yang digunakan dalam

penelitian ini adalah ASTM standart. Persyaratan gradasi campuran dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.5 Gradasi Campuran

Ukuran Ayakan		% Berat Lolos	
		HRS-WC (HRS)	
ASTM	(mm)	WC	Base
¾ “	19	100	100
½ “	12,5	90-100	90-100
⅜ “	9,5	77-85	65-100
No.8	2,36	50-72	35-55
No.16	1,18	-	-
No.30	0,600	35-60	15-35
No.200	0,075	6-12	2-9

Sumber : (DPU, 2010)

Tabel 2.6 Batas-batas Bahan Bergradasi Senjang

Ukuran Ayakan	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
% lolos No.8	40	50	60	70
% lolos No.30	Min. 32	Min. 40	Min. 48	Min. 56
% kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

Sumber : (DPU, 2010)

Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) adalah bahan berbutir halus yang lolos saringan No. 30 (0,59 mm) dimana prosentase berat butir yang lolos saringan No. 200 minimum 65% (SNI 03-6723-2002). Bahan pengisi dapat berupa abu batu, slag, kapur (*limestone dust, calcium carbonate*), abu terbang semen, semen, kapur hidrolik yang sesuai dengan SNI 03-6723-2002 atau AASHTO M303-89 (2006). Semen atau mineral yang berasal dari asbuton yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan dapat digunakan (DPU, 2010). Bahan pengisi harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-

4142-1996 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 tidak kurang dari 65% terhadap beratnya (SNI 03-4142-1996).

Filler Memilliki fungsi dalam campuran sebagai berikut:

- a. Untuk memodifikasi agregat halus sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
- b. Filler dan aspal secara bersamaan akan membentuk suatu pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar.
- c. Mengisi ruang antar agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan.

2.1.6 Pasir Pantai Carita

Pasir pantai adalah pasir yang selalu berhubungan dengan air laut, hal ini tentunya akan mengandung zat yang terdapat pada air laut. Air laut biasanya mengandung unsur garam-garaman, sehingga pasir pantai atau pasir yang dikeruk dari laut pasti mengandung garam. Walaupun kadar garam untuk setiap daerah pantai atau laut tidak sama. Namun dikarenakan pasir Pantai Carita ini tidak mengandung garam, maka pasir ini dapat dijadikan sebagai campuran agregat halus pada Lataston (Didik Dwi Hantoro, 1992).

Teluk Banten yang terletak diujung barat Pulau Jawa merupakan lingkungan perairan semi tertutup yang menghadap ke laut jawa. Letak perairan ini secara tektonik adalah di lempeng mikro sunda yang berupa suatu paparan. Litologi daratan yang mengelilingi teluk tersebut sebagian besar tersusun atas batuan vulkanik dan magnetik, serta endapan alluvial (Yunia Witasari, 2002).

Pengamatan megaskopis terhadap contoh-contoh sedimen di tepi perairan teluk banten menunjukkan adanya lumpur yang bertekstur lembut, berwarna coklat dan abu-abu kehijauan yang mengandung pecahan batuan dan mineral. Hasil analisis ukuran butir sedimen menunjukkan bahwa sedimen tepi teluk banten itu terdiri dari fraksi gravel(>2mm), pasir (2-0,063 mm), lanau (0,063-0,004mm), dan lempung (<0,004mm). Pembagian fraksi ini dibagi menjadi 58% lempung, 33% pasir, 5% gravel, dan 4% lanau (Yunia Witasari, 2002).

Komponen detrital penyusun sedimen Teluk Banten terdiri dari berbagai mineral, batuan, dan material organik. Komponen detrital ini dikelompokkan menjadi 6 kelompok utama, yaitu mineral logam, karbonat, silica, pecahan batuan, material karbonat, dan karbon. Mineral silica (SiO₂) terdiri dari kuarsa, feldspar, mika, opal, dan glaukonit.

Jika dilihat dari hasil uji pendahuluan gradasi Pasir Pantai Carita maka terbukti bahwa semakin jauh pasir dari air laut maka semakin halus butiran pasirnya. Pasir pantai mempunyai butiran mulai dari 1,3mm sampai 0,075 mm (Sulaiman, 2008).

Dikarenakan pasir Pantai Carita terdapat pecahan karang yang terbawa oleh ombak, maka pasir disaring dengan saringan No.8 (2,38mm) sebelum digunakan untuk campuran perkerasan jalan jenis Lataston.

British Code CP 110:1972 memberikan batasan maksimum kandungan garam CaCl (*Calcium Chloride*) dari agregat laut sebesar 1% dari berat pasir yang digunakan. Jumlah yang lebih besar dari garam ini, seperti CaCl₂ dapat menyerang kandungan jalan. Untuk mencegah buatlah perkerasan yang padat sedemikian hingga tidak mudah dimasuki oleh air dan zat asam. Hal ini

disebabkan kandungan garam yang ada bila berhubungan dengan udara akan menimbulkan *efflorescence*, yaitu pengotoran berupa bintik-bintik (deposit-deposit) putih pada permukaan lapis aspal beton.

2.1.7 Sifat Fisik Aspal dan Agregat

Aspal sebagai bahan pengikat harus memenuhi syarat sifat fisik aspal. Sedangkan agregat memberikan kontribusi yang cukup besar sampai 90-95 % terhadap berat campuran, sehingga sifat-sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu dari kinerja campuran tersebut. Untuk tujuan ini, sifat agregat yang harus diperiksa yaitu ukuran butir, sifat fisik aspal, sifat fisik agregat kasar (batu split), sifat fisik agregat halus pasir gunung dan pasir pantai, sifat fisik bahan pengisi, dan gradasi agregat.

2.1.7.1 Sifat Fisik Aspal

Sifat fisik aspal keras mencakup berat jenis, daktilitas, titik lembek, penetrasi, dan titik nyala.

a. Berat Jenis

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui dan menentukan berat jenis bitumen atau aspal. Hasil dari pengujian ini didapat dari perbandingan berat antara bitumen dengan air suling pada volume yang sama pada suhu tertentu, seperti pada persamaan 2.1 berikut :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{(C-A)}{(B-A) - (D-C)} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

Keterangan:

A = Berat picnometer dengan tutupnya (gr)

B = Berat picnometer berisi air suling (gr)

C = Berat picnometer berisi aspal (gr)

D = Berat picnometer berisi aspal dan air (gr)



Gambar 2.2 Berat Jenis Aspal

b. Daktilitas

Daktilitas ditunjukkan oleh panjangnya benang aspal yang ditarik hingga putus.

Pengujian dilakukan berdasarkan SNI 06-2432-1991, dengan alat yang terdiri atas cetakan, bak air dan alat penarik contoh. Alat pengujian ditunjukkan pada gambar

2.3 berikut :



Gambar 2.3 Pengujian Daktilitas

c. Titik Lembek

Prosedur pengujian berdasarkan SNI 06-2434-1991. Konsistensi bitumen ditunjukkan oleh temperatur dimana aspal berubah bentuk karena perubahan tegangan. Hasilnya digunakan untuk menentukan temperatur kelelehan dari aspal. Alat pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pengujian Titik Lembek

d. Penetrasi Bahan Bitumen

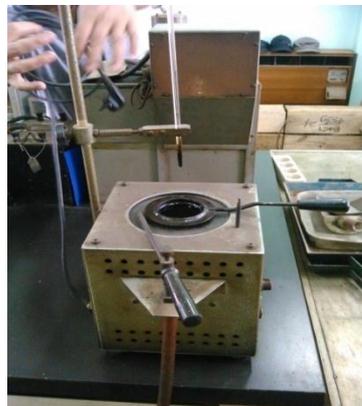
Pengujian ini dilakukan berdasarkan AASHTO T 48 atau SNI 06-2456-1991 yang dimaksudkan untuk menetapkan nilai kekerasan aspal. Berdasarkan pengujian ini aspal keras dikategorikan dalam beberapa tingkat kekerasan. Pengujian ini merupakan pengukuran secara empiris terhadap konsistensi aspal. Kekerasan aspal diukur dengan jarum penetrasi standar yang masuk ke dalam permukaan bitumen pada temperatur 25°C, beban 100 gr dan waktu 5 detik. Alat pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Pengujian Penetrasi

e. Titik Nyala dengan *Cleveland Open Cup*

Penentuan titik nyala dilakukan berdasarkan SNI 06-2433-1991, bertujuan untuk memastikan bahwa aspal cukup aman untuk pelaksanaan. Titik nyala yang rendah menunjukkan indikasi adanya minyak ringan dalam aspal.



Gambar 2.6 Pengujian Titik Nyala dengan Cleveland Open Cup

2.1.7.2 Ukuran, Bentuk, dan Tekstur Butir Agregat

Ukuran agregat dalam suatu campuran beraspal terdistribusi dari yang berukuran besar sampai ke yang kecil. Semakin besar ukuran maksimum agregat yang dipakai semakin banyak variasi ukurannya dalam campuran tersebut. Ada

dua istilah yang biasanya digunakan berkenaan dengan ukuran butir agregat, yaitu :

- a. Ukuran maksimum, yang didefinisikan sebagai ukuran saringan terkecil yang meloloskan 100 % agregat,
- b. Ukuran nominal maksimum, yang didefinisikan sebagai ukuran saringan terbesar yang masih menahan maksimum dari 10 % agregat.

Istilah-istilah lainnya yang biasa digunakan sehubungan dengan ukuran agregat, yaitu:

- a. Agregat kasar : Agregat yang tertahan saringan No. 8 (2,36)
- b. Agregat halus : Agregat yang lolos saringan No. 8 (2,36)
- c. Mineral pengisi : Fraksi dari agregat halus yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) minimum 75 % terhadap berat total agregat
- d. Mineral abu : Fraksi dari agregat halus yang 100 % lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

Agregat memiliki bentuk butir dari bulat (*rounded*) sampai bersudut (*angular*), bentuk partikel agregat yang bersudut memberikan ikatan antara agregat (*aggregate interlocking*) yang baik yang dapat menahan perpindahan (*displacement*) agregat yang mungkin terjadi. Agregat yang bersudut tajam, berbentuk kubikal dan agregat yang memiliki lebih dari satu bidang pecah akan menghasilkan ikatan antar agregat yang paling baik. Dalam campuran beraspal, penggunaan agregat yang bersudut saja atau bulat saja tidak akan menghasilkan campuran beraspal yang baik. Kombinasi penggunaan kedua partikel agregat ini sangatlah dibutuhkan untuk menjamin kekuatan pada struktur perkerasanyang baik dari campuran tersebut.

2.1.7.3 Berat Jenis (*Specivic Gravity*) dan Penyerapan Agregat (*Absorpsi*)

Berat jenis suatu agregat (*Specivic Gravity*) adalah perbandingan berat dari suatu satuan volume bahan terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur 20° – 25° C (68° – 77° F).



(a)



(b)

Gambar 2.7 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar dan Agregat Halus Pasir Pantai

Bila digunakan berbagai kombinasi agregat maka perlu mengadakan penyesuaian mengenai berat jenis, karena Berat Jenis masing-masing bahan berbeda. Dikenal ada beberapa macam berat jenis agregat, yaitu :

a. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Berat Jenis dan Penyerapan agregat kasar dapat dihitung dengan persamaan 2.2, 2.3, 2.4, dan 2.5 berikut:

1. Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*) = $\frac{Bk-Bj}{Ba}$ (Persamaan 2.2)
2. Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*Saturated Surface dry*) = $\frac{Bj}{Bj-Ba}$ (Persamaan 2.3)
3. Berat Jenis Semu (*apparent Specific Gravity*) = $\frac{Bk}{Bj-Ba}$ (Persamaan 2.4)
4. Penyerapan (*Absorpsi*) = $\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100 \%$ (Persamaan 2.5)

Dengan pengertian :

Bk = berat benda uji kering oven (gr).

Bj = berat benda uji kering permukaan jenuh (gr).

Ba = berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gr).

b. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus Pasir Bangka Belitung

Berat Jenis dan Penyerapan agregat halus dapat dihitung dengan persamaan 2.6,

2.7, 2.8, dan 2.9 berikut :

1. Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*) = $\frac{Bk}{B + A - Bt}$
(Persamaan 2. 6)

2. Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*Saturated Surface dry*) = $\frac{A}{B+A-Bt}$
(Persamaan 2. 7)

3. Berat Jenis Semu (*apparent Specific Gravity*) = $\frac{Bk}{B+Bk-Bt}$
(Persamaan 2. 8)

4. Penyerapan (*Absorpsi*) = $\frac{A-Bk}{Bk} \times 100 \%$ (Persamaan 2. 9)

c. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus Pasir Pantai

BJ pasir pantai menggunakan rumus yang sama dengan pasir Bangka Belitung (konvensional).

d. Berat Jenis Filler

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (*clinker*) semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2004). Semen portland yang digunakan untuk konstruksi sipil harus memenuhi syarat mutu yang telah

ditetapkan. Di Indonesia, syarat mutu yang dipergunakan untuk *ordinary portland cement* (OPC) adalah SNI 15-2049-2004.

Tabel 2.7 Jenis-jenis Semen Portland

Jenis	Keterangan
Jenis I	Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti disyaratkan pada jenis-jenis lain.
Jenis II	Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
Jenis III	Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
Jenis IV	Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
Jenis V	Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Sumber : SNI 15-2049-2004

2.1.7.4 Kadar Lumpur Agregat

Sebagai bahan jalan, butiran agregat yang lemah tidak dikehendaki. Butiran-butiran yang menjadi lemah jika terkena air lebih tidak diinginkan karena perkerasan jalan akan terkena tingkat kebasahan yang tinggi, selain hal tersebut jika sampai pecah biasanya menunjukkan suatu kecenderungan bahwa butiran lemah ini mengandung lempung.

Alat dan prosedur pengujian diuraikan secara garis besar adalah sebagai berikut (SNI 03-4141-1996):

Agregat yang berukuran tertahan saringan 1,18 mm dipisahkan menjadi beberapa fraksi dan direndam sekitar 24 jam. Butiran-butiran tersebut diremas dengan jari guna melihat apakah agregat tersebut mudah pecah atau tidak. Butiran halus yang terjadi disaring dan ditimbang.

Persentase dari setiap fraksi ukuran agregat yang mudah pecah kemudian ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.10 berikut:

$$P = \frac{W-R}{W} \times 100\% \quad (\text{Persamaan 2. 10})$$

Dengan pengertian :

P = gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat (%).

W = berat benda uji (gram).

R = berat benda uji kering oven yang tertahan pada masing-masing ukuran saringan setelah dilakukan penyaringan basah (gram).

2.1.7.5 Kadar Unsur Agregat

British Code CP 110;1972 memberikan batasan maksimum kandungan garam CaCl (*Calcium Chloride*) dari agregat laut sebesar 1% dari berat pasir keseluruhan. Dalam perkerasan lapis aspal beton, diperlukan unsure yang saling mengikat agregat yaitu silika.

2.1.7.6 Keausan Agregat

Semakin kecil persen pengausan atau makin kecil hasil percobaan abrasi *los angeles*, maka makin panjanglah umur pelayanan dari agregat (DPU, 1996). Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, pengausan yang ditunjukkan percobaan abrasi *los angeles* untuk agregat tidak boleh lebih besar dari 40%.

2.1.8 Perendaman Lama Pada Sampel

Sebelum pengujian *Marshall*, sampel yang sudah jadi yaitu sebanyak 27 buah akan melalui proses perendaman selama 1 hari, 2 hari, dan 3 hari. Menurut

(CRAUS, J. et al, 1981) Potensi keawetan dari campuran aspal dapat didefinisikan sebagai ketahanan campuran terhadap kelanjutan dan pengaruh kerusakan kombinasi akibat air dan suhu. Rendahnya keawetan lapisan permukaan dan lapisan aspal adalah merupakan salah satu penyebab utama rusak dan gagalnya pelayanan jalan perkerasan fleksibel. Tingginya keawetan biasanya memenuhi sifat – sifat mekanik dari campuran dan akan memberikan umur pelayanan yang lebih lama.

Ada beberapa metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran aspal, seperti dijelaskan dibawah ini:

a. Metode Pengujian Perendaman Standar

Salah satu metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal adalah pengujian perendaman *Marshall* yang mana stabilitas dari benda uji ditentukan setelah satu hari perendaman di dalam air pada suhu 60°C .

AASHTO (1993) menggambarkan sebuah prosedur yang berdasarkan kepada pengukuran kehilangan dari hasil sebuah kekuatan tekan dari aksi air pada pemadatan campuran aspal. Suatu indeks numerik dari berkurangnya kekuatan tekan diperoleh dengan membandingkan kekuatan tekan benda uji yang telah direndam di dalam air selama 24 jam pada suhu $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ dan 30 menit di dalam air pada suhu $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ di bawah kondisi yang ditentukan.

b. Metode Pengujian Perendaman Modifikasi.

Kriteria Perendaman 24 jam tidak selalu menggambarkan sifat keawetan campuran setelah masa perendaman yang lebih lama (CRAUS, J. et al, 1981). Peneliti – peneliti ini memeriksa keawetan benda uji dari material aspal yang

direndam di dalam air untuk waktu yang lebih lama dan dicari suatu parameter kuantitatif tunggal yang akan memberikan ciri kepada seluruh kurva keawetan.

2.1.9 Parameter Pengujian *Marshall*

Parameter marshall adalah nilai-nilai yang menjadi persyaratan standar pengujian lapisan perkerasan meliputi stabilitas, *flow*, densitas, VMA, VFB, VIM, dan MQ.

2.1.9.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam kilogram. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan jumlah lalu-lintas dan beban kendaraan yang akan lewat. Akan tetapi stabilitas yang terlalu tinggi mengakibatkan lapisan menjadi kaku dan cepat mengalami retak, selain itu karena volume rongga antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah sehingga ikatan aspal dengan agregat mudah lepas dan durabilitasnya rendah. Nilai stabilitas benda uji didapat dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian *Marshall*.

2.1.9.2 Kelelehan

Kelelehan adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan mulai menurun. Nilai *flow* menunjukkan deformasi benda uji akibat pembebanan dan besarnya dapat langsung dibaca pada arloji *flow* saat pengujian *Marshall* dengan satuan mm.

2.1.9.3 Densitas

Densitas atau kepadatan adalah berat campuran yang diukur tiap satuan volume, nilai densitas dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kadar aspal dan kekentalan aspal campuran dengan densitas yang tinggi mempunyai kemampuan menahan beban lalu-lintas yang lebih baik, serta memiliki kedapapan yang tinggi terhadap air dan udara. Nilai densitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.11 dibawah ini :

$$\text{Densitas} = \frac{\text{Berat benda uji}}{\text{Volume benda uji}} \quad (\text{Persamaan 2. 11})$$

2.1.9.4 Marshall Quotient

Marshall quotient merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan dan dipakai sebagai pendekatan tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Nilai MQ besar menunjukkan kekakuan lapis perkerasan tinggi dan berakibat mudah retak-retak, sebaliknya nilai MQ kecil menunjukkan terlalu plastis yang berakibat perkerasan mengalami deformasi yang besar bila menerima beban lalu-lintas. MQ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.12 berikut:

$$MQ = \frac{o}{p} \quad (\text{Persamaan 2. 12})$$

Keterangan :

MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

o = Nilai Stabilitas (kg)

p = Nilai kelelahan plastis / flow (mm)

2.1.9.5 Rongga Terisi Aspal (VFB)

VFB adalah persen ruang diantara partikel agregat (VMA) yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat, dinyatakan dalam persen terhadap VMA. VFB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.13 sebagai berikut (RSNI M-06-2004):

$$VFB = 100 x \frac{VMA - VIM}{VMA} \quad (\text{Persamaan 2. 13})$$

Keterangan :

VFB = Rongga terisi aspal, persen terhadap VMA.

VMA = Rongga diantara mineral agregat.

VIM = Rongga dalam campuran.

2.1.9.6 Rongga Dalam Campuran (*Void in The Mix*)

VIM merupakan ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran. VIM dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.14 seperti di bawah ini (RSNI M-06-2004).

$$VIM = 100 x \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (\text{Persamaan 2. 14})$$

Keterangan :

VIM = Kadar rongga dalam campuran. (%)

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat.

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran.

2.1.9.7 Rongga Antara Mineral Agregat (VMA)

VMA adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran. VMA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 seperti di bawah ini (RSNI M-06-2004).

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (\text{Persamaan 2. 15})$$

Keterangan :

VMA = Kadar rongga antara mineral agregat. (%)

G_{mb} = Berat Jenis curah campuran padat.

G_{sb} = Berat jenis curah agregat.

P_s = Persen agregat terhadap berat total campuran. (%)

Suatu campuran beton aspal harus memenuhi ketentuan sifat – sifat HRS-WC seperti dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.8 Persyaratan Campuran

Sifat-sifat campuran		Lataston	
		WC	BC
Jumlah tumbukan per bidang		75	
Penyerapan aspal, %	mak.	1,7	
Rongga dalam campuran (VIM), %	min.	3,0	
	mak.	6,0	
Rongga antara agregat (VMA), %	min.	18	17
Rongga terisi aspal (VFB), %	min.	68	
Stabilitas marshall, kg	min.	800	
Kelelehan, mm	min.	3	

Marshall quotient, kg/mm	min.	250
--------------------------	------	-----

sumber : (Permen PU No.28/PRT/M/2007)

2.2 Penelitian Relevan

Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dapat dijadikan acuan atau literatur untuk penyusunan skripsi / penelitian ini, diantaranya adalah :

- 1) Penelitian yang dilakukan oleh Ayu Nastiti pada tahun 2015 dengan judul “Kajian Laboratorium Parameter Marshall dengan Menggunakan Pasir Pantai Carita Sebagai Agregat Halus Dalam Campuran HRS-WC”. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan menggantikan agregat halus dengan pasir Pantai Carita dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 2%; 3%; 4%; 5%; dan 6% dengan sampel uji masing-masing kadar sebanyak 6 (enam) buah. Uji Marshall dilakukan untuk menentukan parameter Marshall seperti VIM, VMA, VFA, Stabilitas, *Flow*, dan *Marshall Quosient*. Dengan perlakuan yang sama menghasilkan, kadar aspal optimum sebesar 3 % dengan nilai stabilitas 110,39 kg, nilai kelelehan 2,9 mm, nilai VMA 15,53 %, nilai VFB 53,12 %, nilai VIM 7,28 %, nilai MQ 383,06 kg/mm, dan kepadatan 2,95 gr/cc. Parameter marshall yang didapatkan dengan menggunakan pasir pantai memenuhi Spesifikasi Umum 2011-DPU kecuali nilai VMA. Nilai VMA akan memenuhi persyaratan jika dipakai kadar aspal 8% (hasil perpanjang persamaan hubungan kadar aspal dan VMA untuk $VMA > 18\%$ dicapai dengan Kadar Aspal 8%). Hubungan antara kadar aspal dengan *Flow*, VMA, VFB, dan kepadatan membentuk kecenderungan positif secara linier atau dengan kenaikan kadar aspal akan meningkatkan nilai *Flow*, VMA, VFB, dan kepadatan serta sebaliknya, akan menurunkan nilai VIM secara linier dan MQ

secara polinomial. Meningkatnya kepadatan secara linier akan meningkatkan VMA dan VFB serta menurunkan VIM. Berdasarkan hasil ini dapat dinyatakan pasir Pantai Carita tidak dapat dimanfaatkan sebagai agregat halus pada HRS-WC pada lalu-lintas sedang karena nilai VMA tidak memenuhi persyaratan. Pasir Pantai Carita kemungkinan dapat digunakan untuk lalu-lintas sedang pada campuran HRS-WC dengan kadar sekitar 8% namun pasir Pantai Carita sebaiknya digunakan pada HRS-WC dengan lalu-lintas ringan.

- 2) Penelitian yang dilakukan oleh Andi Syaiful Amal pada tahun 2009 yang berjudul “Variasi Perendaman Pada Campuran Beton Aspal Terhadap Nilai Stabilitas Marshall”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perendaman dalam campuran beton dengan nilai stabilitas Marshall. Variasi waktu perendaman yang digunakan dalam penelitian ini 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48 dan 72 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada pengaruh yang sangat kuat pada mencelupkan terhadap Marshall nilai stabilitas seperti yang ditunjukkan oleh persamaan $Y = - 10,67 x + 228,85$ dan akan meningkat pada waktu 24 dan 72 jam perendaman, sedangkan untuk nilai rongga udara akan mencapai di bawah persyaratan setelah usia 20 jam perendaman.
- 3) Penelitian yang dilakukan oleh Agung Hari Prabowo ini berjudul “Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang (ROB) Terhadap Kinerja Lataston (HRS-WC) Berdasarkan Uji Marshall dan Uji Durabilitas Modifikasi”. Pada penelitian ini metode *Marshall* diaplikasikan pada langkah pertama untuk menemukan Konten Optimum Aspal (OAC). Langkah kedua ini bertujuan untuk mencari

nilai *Marshall* pada kondisi standar (2 x 75 pukulan), dan nilai densitas penolakan (2 x 400 pukulan) yang bertujuan untuk menemukan VIM, VMA, VFA, kepadatan, stabilitas, flow, MQ, dan IRS perendaman standar. Modifikasi perendaman diaplikasikan untuk menemukan nilai pertama dari indeks daya tahan (r, R) dan nilai indeks daya tahan kedua (Sa, SA). Empat sampel air, mereka yang air yang diambil dari laboratorium, air 'merampok' dari LIK Semarang, dari Ronggowarsito jalan, dan dari Mpu Tantular jalan, yang digunakan dalam perendaman. Sampel air diperiksa warna, bau, pH, tingkat klorida, tingkat sulfat, nilai total alkalinitas dan nilai total keasaman. Langkah pertama menemukan bahwa nilai OAC bervariasi dari 7% menjadi 7,5% dan 7,25% OAC terpilih sebagai bahan sampel. Penelitian jangka kedua menunjukkan bahwa ada korelasi antara nilai Marshall dan waktu perendaman, hasil analisis batal bertemu persyaratan di tingkat kepadatan standar (2x75 pukulan). Pada tingkat kepadatan penolakan (2x400 pukulan), nilai-nilai VIM dari empat sampel air rob tidak memenuhi persyaratan di 24 jam perendaman. Nilai uji stabilitas, flow dan MQ, pada kondisi standar dan pada kondisi penolakan untuk semua waktu perendaman dan total asam memenuhi standar yang diperlukan.

Nilai IRS pada kondisi standar dan penolakan untuk waktu perendaman dan total nilai asam memenuhi standar yang dibutuhkan pada 72 jam perendaman. Sementara itu, pada saat perendaman 120 jam dan 168 jam, nilai IRS tidak memenuhi nilai yang diperlukan, seperti kemampuan aspal untuk mempertahankan kohesi dan adhesi antara agregat melemah. Berdasarkan uji Marshall, Kadar Aspal Optimum (KAO) berada pada rentang

7 %- 7,5 %. Pada penelitian ini dipakai KAO 7,25 %, hasilnya VIM terlalu kecil dan VFA terlalu besar. Ini menunjukkan KAO berada pada rentang 7 % - 7,25%. Semakin tinggi tingkat keasaman air yang merendam, semakin merusak HRS-WC. Semakin lama terendam HRS-WC semakin cepat rusak. Nilai pH mendekati netral (pH=7), kinerja HRS-WC semakin baik. Kadar chlorida optimum yang tertinggi adalah 36,31 mg/lit (Total Keasaman paling rendah = 7,46 mg.lit). Kadar sulfat optimum yang menghasilkan kinerja HRS-WC tertinggi adalah 53 mg/lit (Total Keasaman paling rendah = 7,46 mg.lit).

Tabel 2.9 Penelitian Relevan

No.	Peneliti	Deskripsi Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Ayu Nastiti (2015) "Kajian Laboratorium Parameter Marshall dengan Menggunakan Pasir Pantai Carita Sebagai Agregat Halus Dalam Campuran HRS-WC" FT Universitas Negeri Jakarta, Jakarta	-Jenis perkerasan HRS-WC. -Menggunakan agregat halus pasir hitam Pantai Carita. -Variasi kadar aspal yaitu 2%; 3%; 4%; 5%; dan 6%. -Agregat halus 100% pasir Pantai Carita	-kadar aspal optimum sebesar 3 % dengan nilai stabilitas 110,39 kg, nilai kelelahan 2,9 mm, nilai VMA 15,53 %, nilai VFB 53,12 %, nilai VIM 7,28 %, nilai MQ 383,06 kg/mm, dan kepadatan 2,95 gr/cc -Nilai VMA tidak memenuhi persyaratan parameter marshall untuk lalu-lintas berat (Hasil perpanjang persamaan hubungan kadar aspal dan VMA untuk VMA >18% dicapai dengan Kadar Aspal 8%), tetapi memenuhi persyaratan parameter marshall untuk lalu-lintas ringan.

2.	Andi Syaiful Amal (2009) "Variasi Perendaman Pada Campuran Beton Aspal Terhadap Nilai Stabilitas Marshall" Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang	<ul style="list-style-type: none"> -Jenis Aspal pen 60/70 -Jenis perkerasan Laston -Variasi waktu perendaman yang digunakan dalam penelitian ini 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48 dan 72 jam. 	<ul style="list-style-type: none"> -Variasi perendaman sangat berpengaruh terhadap sifat campuran beton aspal terhadap nilai stabilitas Marshall. -Nilai kelelahan plastis dari uji statistic didapat ada sedikit pengaruh akibat dari variasi perendaman dari waktu 2 jam sampai dengan 72 jam, hal ini ditunjukkan dengan F hitung <F table pada taraf probabilitas 0,05.
3.	Agung Hari Prabowo (2003) "Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang (ROB) Terhadap Kinerja Lataston (HRS-WC) Berdasarkan Uji Marshall dan Uji Durabilitas Modifikasi"	<ul style="list-style-type: none"> -Jenis perkerasan HRS-WC. -Variasi kadar aspal rencana yaitu (6; 6,5; 7; 7,5; 8) -Masa perendaman 24, 72, 120, 168 jam (Masing-masing 4 benda uji) -Sampel air diambil di 4 lokasi : air standar (lab), air rob dari LIK, air rob dari jl.Ronggowarsito, air rob dari jl. Mpu Tantular/Pelabuhan 	<ul style="list-style-type: none"> -Berdasarkan uji Marshall, Kadar Aspal Optimum (KAO) berada pada rentang 7 %- 7,5 %. -Pada penelitian ini dipakai KAO 7,25 %, hasilnya VIM terlalu kecil dan VFA terlalu besar. Ini menunjukkan KAO berada pada rentang 7 % - 7,25%. -Semakin tinggi tingkat keasaman air yang merendam, semakin merusak HRS-WC. -Semakin lama terendam HRS-WC semakin cepat rusak. -Nilai pH mendekati netral (pH=7), kinerja HRS-WC semakin baik. -Kadar chlorida optimum yang tertinggi adalah 36,31 mg/lt (Total Keasaman paling rendah = 7,46 mg.lt). -Kadar sulfat optimum yang menghasilkan kinerja HRS-WC tertinggi adalah 53 mg/lt (Total Keasaman paling rendah = 7,46 mg.lt).

2.3 Kerangka Berpikir

Bahan penyusun Lataston terdiri dari aspal keras, agregat kasar, agregat halus, *filler* (semen portland). Agregat halus biasanya menggunakan pasir alam. Pasir pantai yang banyak terdapat di Indonesia merupakan bahan alternatif yang tepat sebagai pengganti agregat halus pada Lataston jika diberi perlakuan yang tepat. Perkerasan jalan yang dibuat menggunakan campuran pasir pantai harus memenuhi standar sifat fisik agregat halus terlebih dahulu seperti berat jenis, penyerapan, nilai setara pasir, kadar lumpur, kadar unsur, dan analisa saringan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Ayu Nastiti, 2015), yang menggunakan agregat halus 100% pasir Pantai Carita dalam campuran HRS-WC dengan nilai berat jenis mencapai angka 4,0727 dan penyerapannya 0,3437%, menyatakan bahwa pasir pantai Carita memenuhi persyaratan pada Lataston (HRS-WC) dan dapat digunakan sebagai substitusi agregat halus pada Lataston (HRS-WC). Penelitian ini tidak mengkaji pengaruh perendaman pada campuran aspal. Penelitian yang terkait dengan perendaman (Amal,A.S., 2009), untuk campuran beton aspal terhadap nilai stabilitas *Marshall* menggunakan jenis aspal pen 60/70 dengan perkerasan laston serta variasi waktu perendaman 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48 dan 72 jam dan (Prabowo,A., 2003) menggunakan jenis perkerasan HRS-WC dengan variasi kadar aspal rencana yaitu 6% ; 6,5% ; 7% ; 7,5% ; 8% dan masa perendaman 24, 72, 120, 168 jam, sampel air diambil di empat lokasi yaitu air standar (lab), air rob dari LIK, air rob dari jl.Ronggowarsito, air rob dari jl. Mpu Tantular/Pelabuhan.

Berdasarkan uraian di atas, dilakukan uji pendahuluan, yang hasilnya didapatkan berat jenis agregat halus pasir Pantai Carita sebesar 3,0574 memenuhi

syarat berat jenis minimal 2,5 dan penyerapannya 0,9387%, kadar garam sebesar 0% dan gradasi agregat halus memenuhi spesifikasi pengujian analisa saringan agregat halus (SNI - 03 - 1968 - 1990), artinya bahwa agregat dapat digunakan sebagai campuran Lataston (HRS-WC) dan penelitian dapat dilanjutkan.

Hasil penelitian sebelumnya terkait dengan proporsi maka dalam penelitian ini akan mengkaji pengaruh penggunaan 0% ; 50% ; 100% pasir Pantai Carita sebagai campuran agregat halus pada campuran Lataston. Sesuai dengan penelitian sebelumnya (Prabowo,A., 2003) bahwa nilai pH mendekati netral (pH=7), kinerja HRS-WC semakin baik dan semakin lama terendam HRS-WC semakin cepat rusak sesuai dengan penelitian yang menggunakan perendaman dari Variasi 2 – 72 Jam sangat berpengaruh terhadap sifat campuran beton aspal terhadap nilai stabilitas Marshall (Amal,A.S., 2009) oleh karena itu maka dalam penelitian ini lama perendaman benda uji yaitu 1 hari (24 Jam), 2 hari (48 Jam), 3 hari (72 Jam) dengan mengkaji parameter *Marshall* berupa stabilitas, kelelahan, MQ, VMA, VFB, dan VIM yang didapat dari pengujian *Marshall*.

2.4 Hipotesis

Berdasarkan kerangka berpikir tersebut diduga bahwa perendaman lataston 1 hari, 2 hari dan 3 hari dengan campuran variasi 0 % ; 50% ; 100% pasir pantai akan memberikan pengaruh terhadap nilai stabilitas, kelelahan, MQ, VMA, VFB, dan VIM pada parameter *Marshall*. Dalam penelitian ini tidak ada hipotesis statistik, hasilnya berupa deskripsi dari data dan grafik.

