

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang mempunyai lautan yang cukup luas. Luas laut Indonesia yang mencapai 5,8 juta km<sup>2</sup>, terdiri dari 0,3 juta km<sup>2</sup> perairan teritorial, 2,8 juta km<sup>2</sup> perairan pedalaman dan kepulauan, 2,7 juta km<sup>2</sup> Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE), serta terdiri lebih dari 17.480 pulau (Cahaya, 2012). Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki garis pantai terpanjang keempat di dunia dengan panjang mencapai lebih dari 95.181 kilometer setelah Amerika Serikat, Kanada, dan Rusia (Mukhtar, 2009). Berdasarkan kenyataan tersebut, fenomena-fenomena alam seperti pasang surut, angin, gelombang, dan arus laut berpengaruh cukup besar di sebagian besar wilayah Indonesia, terutama di daerah pesisir pantai.

Fenomena pasang surut air laut yang sering terjadi di daerah pesisir pantai Indonesia mengakibatkan banjir, yang disebut dengan banjir rob. Menurut Rahayu (2008), banjir rob merupakan fenomena meluapnya air laut ke daratan. Fenomena banjir rob dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Pasang surut sendiri dipengaruhi gravitasi bulan dan matahari, serta dipengaruhi pula posisi bulan dan matahari terhadap bumi. Banjir ini biasa terjadi pada saat pasang air laut yaitu bertepatan dengan kejadian bulan baru dan bulan purnama.

Kota Semarang adalah salah satu kota di Indonesia yang berada di daerah pesisir pantai. Letak dan kondisi geografis, Kota Semarang memiliki posisi astronomi di antara garis 6°50' – 7°10' Lintang Selatan dan garis 109°35' – 110°50' Bujur Timur (BPS Kota Semarang, 2010). Sebagai kota yang berada di daerah pesisir pantai, permasalahan banjir rob sering sekali melanda kota Semarang. Dampak yang ditimbulkan oleh fenomena alam tersebut membawa konsekuensi bagi Pemerintah Kota Semarang maupun kelompok masyarakat yang terkena dampak secara langsung untuk menanggung kerugian. Kerugian tersebut antara lain kerusakan infrastruktur jalan. Menurut Bakti (2010), banjir pasang surut atau rob merupakan fenomena yang selalu terjadi di Kota Semarang Lama bagian Utara. Dari tahun ke tahun, frekuensi kejadian rob semakin meningkat dan cenderung semakin meluas. Hal ini diduga

dikontribusi oleh adanya penurunan muka tanah yang mencapai 3 sampai 15 cm per tahun, dan perilaku oseanografi dan klimatologi di Semarang dan sekitarnya.

Djalante (2011) menyatakan bahwa sebab-sebab kerusakan jalan yaitu beban lalu lintas yang berlebihan, kondisi tanah dasar yang tidak stabil, sebagai akibat dari sistem pelaksanaan yang kurang baik, kondisi tanah pondasi yang kurang baik atau mudah mampat, material dari struktur perkerasan dan pengolahan yang kurang baik, penurunan akibat pembangunan utilitas dibawah lapisan perkerasan, drainase yang buruk sehingga berakibat naiknya air ke lapisan perkerasan akibat isapan atau kapilaritas, dan kadar aspal dalam campuran terlalu banyak. Hal tersebut senada dengan pernyataan Nofri (2010), penyebab kerusakan jalan raya adalah repetisi atau pengulangan beban pada konstruksi jalan, kesalahan teknik pengerjaan, material yang digunakan tidak memenuhi standar spesifikasi, dan fenomena alam atau bencana alam. Tetapi dari itu semua musuh utama dari perkerasan aspal adalah air, karena air bisa melonggarkan ikatan antara agregat dengan aspal, dan kendaraan yang lewat akan memberi beban yang akan semakin merusak ikatan tersebut. Tipikal kerusakan karena pengaruh air adalah lubang. Karena pengaruh air, ikatan antara agregat dan aspal melemah dan terjadi pelepasan butir yang menimbulkan lubang pada permukaan jalan. Sekali lubang terbentuk maka air akan tertampung di dalamnya sehingga dalam hitungan minggu lubang yang semua kecil dapat membesar dengan cepat. Itulah sebabnya kerusakan jalan sering dikatakan bersifat eksponensial.

Salah satu aspek terpenting dalam perencanaan jalan raya adalah upaya melindungi jalan dari air (Suripin, 2004). Nurhuduyah *et al.* (2009) menyatakan bahwa jenis kerusakan jalan aspal yang diakibatkan genangan air yaitu antara lain berlubang, retak-retak, terlepasnya lapis permukaan (*scaling*), pelepasan butir (*raveling*), serta kerusakan tepi perkerasan jalan. Genangan air yang terjadi diakibatkan oleh hujan lokal dan banjir kiriman, pendangkalan saluran samping, dimensi saluran dan fungsi saluran yang tidak berjalan dengan baik, pipa gorong-gorong pecah dan aliran air tersumbat, luapan air sungai, topografi dan kontur jalan, letak dan tingkat kemiringan sungai, dan luapan air laut atau banjir rob.

Banjir rob yang terjadi di Kota Semarang menyebabkan genangan air di jalan raya, jalan-jalan utama di Kota Semarang yang berada di Jalur Pantura sebagian besar berada di daerah tepian pantai sehingga di saat banjir Rob melanda, genangan air di jalan raya pun tak terelakkan lagi. Kondisi jalan perkerasan lentur di daerah genangan rob banyak mengalami kerusakan, baik tergolong dalam rusak ringan maupun rusak berat. Hal ini tersebut disebabkan karena air rob menjadikan daya lekat aspal terhadap agregat menjadi lemah sehingga menyebabkan terjadinya perubahan bentuk atau deformasi pada perkerasan jalan tersebut. Dengan berkurangnya daya dukung lapisan perkerasan akibat melemahnya ikatan aspal dan agregat karena air rob, maka pada saat dilewati beban lalu lintas di atas permukaan jalan tersebut deformasi yang terjadi akan semakin parah. Di samping itu air rob berasal dari laut yang memiliki kandungan tingkat keasaman, kadar sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), dan tingkat *alkalinity* yang tinggi dapat melemahkan kemampuan lekatan aspal dalam mempertahankan ikatan antar agregat baik kohesi maupun adhesi nya (Prabowo, 2003).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Riyadi (2011), diketahui bahwa jalan aspal dapat mengalami kerusakan akibat rendaman banjir rob. Hal ini dibuktikan dengan penurunan nilai stabilitas dan *Marshall Quotient* (MQ) pada campuran aspal yang telah direndam dengan air yang diambil dari banjir rob. Hasil lain yang didapatkan adalah naiknya nilai *void in mix* (VIM), *void in mineral aggregate* (VMA) dan naiknya nilai kelelehan, hal ini membuktikan bahwa campuran aspal mengalami penurunan durabilitas atau keawetan.

Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Prabowo (2003), menyebutkan bahwa semakin lama waktu perendaman campuran aspal khususnya *Hot Rolled Sheet* (HRS-WC) maka tingkat keawetan dari campuran aspal tersebut juga menurun. Disebutkan pula oleh Prabowo bahwa tingkat keasaman air sebagai media perendaman juga mempengaruhi keawetan suatu campuran aspal, semakin tinggi tingkat keasaman air semakin mengurangi keawetan campuran aspal.

Adapun berdasarkan penelitian yang dilakukan Perdana (2013), bahwa kandungan kimia dalam air rob berpengaruh merusak dan mengurangi kekuatan atau daya tahan campuran perkerasan, terutama kandungan  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ . Salah satu saran

yang dikemukakan dalam penelitiannya yaitu diharapkan dilakukan penelitian sejenis yaitu dengan merendam campuran perkerasan dengan kandungan unsur-unsur kimia (pH, alkalinitas  $\text{HCO}_3^-$ , klorida ( $\text{Cl}^-$ ), sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )) yang sudah diatur/ ditentukan secara parsial dengan beberapa variasi kadar campuran. Sehingga pengaruh unsur-unsur kimia (pH, alkalinitas  $\text{HCO}_3^-$ , klorida ( $\text{Cl}^-$ ), sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )) tersebut terhadap kinerja campuran perkerasan dapat diketahui lebih pasti pada masing-masing unsur kimia tersebut. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Surya, unsur kimia yang paling banyak terkandung dalam air rob adalah klorida ( $\text{Cl}^-$ ). Dari tiga tempat pengambilan sampel air rob, didapatkan hasil 16.738,39 mg/L (air rob PRPP), air rob dari wilayah Tanjung Mas ( $\text{Cl}^- = 5.165,68 \text{ mg/L}$ ) dan wilayah Terboyo ( $\text{Cl}^- = 7.718,48 \text{ mg/L}$ ). Dalam penelitian Perdana (2013) juga disebutkan saran untuk penelitian selanjutnya agar dilakukan simulasi perendaman campuran aspal dengan kandungan klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang berbeda agar dapat diketahui secara lebih jelas seberapa besar pengaruh klorida ( $\text{Cl}^-$ ) terhadap campuran aspal.

Berangkat dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya serta permasalahan kerusakan jalan aspal akibat rendaman banjir Rob di Kota Semarang, maka perlu dilakukan penelitian dengan uji laboratorium tentang pengaruh genangan (rendaman) air banjir rob terhadap karakteristik campuran beraspal. Desain campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain untuk jenis campuran Lataston Lapis Aus atau dikenal dengan istilah *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC). Selain itu pula dengan kandungan klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang besar pada air rob, maka perlu juga dilakukan pengujian terhadap campuran yang terendam oleh air dengan kadar klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang berbeda-beda. Hal tersebut dilakukan untuk menyimulasikan kandungan klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang terkandung dalam air rob. Dengan simulasi tersebut diharapkan dapat diketahui pengaruh klorida ( $\text{Cl}^-$ ) terhadap campuran aspal dan kandungan klorida ( $\text{Cl}^-$ ) pada air rob yang masih dapat ditolerir. Perendaman campuran aspal dilakukan dengan dua metode perendaman, yaitu dengan pola perendaman menerus (*continuous*) dan berkala atau terputus-putus (*intermittent*). Perendaman menerus dilakukan selama 6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam dan 72 jam dimana masing-masing variasi waktu perendaman membutuhkan 3 sampel benda uji. Sedangkan untuk perendaman berkala, dilakukan perendaman

dengan waktu 12 jam, kemudian didiamkan selama waktu yang tersisa (waktu pemulihan yaitu dengan membiarkan sampel di suhu ruang tanpa terendam) selama siklus 24 jam terus menerus selama 3 hari. Penentuan metode dan waktu perendaman ini didasarkan pada pengalaman di lapangan atau lokasi banjir rob dimana banjir rob dapat menggenangi suatu kawasan secara menerus selama sehari-hari karena cuaca buruk atau kondisi lain, dan ada juga yang hanya tergenang pada saat-saat tertentu atau terputus-putus (berkala), misalnya pada tengah malam hingga pagi hari tergenang banjir rob, kemudian pada siang hari telah surut, namun pada malam harinya kembali tergenang air rob. Untuk mendapatkan karakteristik campuran aspal dan pengaruhnya terhadap rendaman air rob, dilakukan pengujian dengan menggunakan alat *Marshall*. Pada akhirnya didapatkan seberapa besar pengaruh air rob terhadap karakteristik campuran beraspal setelah direndam dalam air rob dengan variasi waktu perendaman.

## 1.2. Permasalahan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas, maka masalah-masalah yang timbul adalah sebagai berikut:

- a) Bagaimanakah perubahan karakteristik campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* yang terendam dalam air yang berasal dari air banjir rob dan membandingkannya dengan yang terendam dalam air standar laboratorium?
- b) Sejauh mana pengaruh lama perendaman dengan air yang berasal dari air banjir rob dan membandingkannya dengan yang terendam dalam air standar laboratorium terhadap keawetan (durabilitas) campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*?
- c) Sejauh mana pengaruh kandungan unsur kimia klorida (Cl<sup>-</sup>) dalam air yang digunakan untuk merendam terhadap keawetan (durabilitas) campuran beraspal panas beraspal *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*?
- d) Sejauh mana pengaruh pola perendaman menerus (*continuous*) dan berkala atau terputus-putus (*intermittent*) terhadap keawetan (durabilitas) campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Beranjak dari permasalahan yang telah dikemukakan, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

- a) Mengkaji perubahan karakteristik campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) yang terendam dalam air yang berasal dari air banjir rob dan membandingkannya dengan yang terendam dalam air standar laboratorium.
- b) Mengkaji sejauh mana pengaruh lama perendaman dengan air yang berasal dari air banjir rob dan membandingkannya dengan yang terendam dalam air standar laboratorium terhadap keawetan (durabilitas) campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC).
- c) Mengkaji sejauh mana pengaruh kandungan unsur kimia klorida ( $Cl^-$ ) dalam air yang digunakan untuk merendam terhadap keawetan (durabilitas) campuran beraspal panas beraspal *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC).
- d) Mengkaji sejauh mana pengaruh pola perendaman menerus (*continuous*) dan berkala atau terputus-putus (*intermittent*) terhadap keawetan (durabilitas) campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC)?

### 1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi dan memberikan informasi dalam pengembangan teknologi perkerasan jalan raya yang dapat menjadi masukan kepada para pihak penyelenggara jalan, baik pemilik jalan maupun perencana, pengawas, dan pelaksana jalan tentang pengaruh air rob. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam melakukan perancangan campuran aspal yang cocok untuk perkerasan jalan lentur yang mana jalan tersebut berhubungan langsung dengan daerah pantai (perairan) yang sering tergenang oleh banjir rob akibat naiknya muka air laut ke daratan, baik untuk pembuatan jalan baru maupun untuk perbaikan.

### 1.5. Pembatasan Masalah

Penelitian ini perlu dibatasi agar tidak menyimpang dari tujuannya. Adapun lingkup penelitian ini terbatas pada ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

- a) Fraksi agregat kasar dan halus berasal dari batu *ex*-Kalikuto diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP (*Asphalt Mixing Plant*) PT. Adhi Karya Divisi Konstruksi Wilayah III Semarang (Mangkang).
- b) Bahan aspal menggunakan aspal Pertamina Penetrasi 60/70.
- c) Pencampuran menggunakan pedoman Spesifikasi Umum Campuran Aspal Standar Departemen Pekerjaan Umum (2010) dan campuran aspal yang dibuat adalah *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC).
- d) Untuk mencari campuran aspal ideal digunakan variasi kadar aspal Pb - 1%, Pb - 0,5%, Pb%, Pb + 0,5%, dan Pb + 1%.
- e) Uji *Marshall* dan Uji Durabilitas Modifikasi dengan durasi perendaman 6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam, dan 72 jam. Metode perendaman terdiri dari perendaman dengan pola menerus (*continuous*) dan perendaman dengan pola berkala/ siklik (*intermittent*).
- f) Sampel air untuk merendam benda uji diambil dari air laboratorium untuk standar (sebagai pembanding), sedangkan air rob untuk pengujian perendaman diambil dari 3 (tiga) titik pengambilan yang kerap tergenang oleh banjir rob, yaitu di lokasi Jalan Ronggowarsito dan sekitarnya, Kawasan Tanjung Emas dan sekitarnya, serta Kawasan Terboyo dan sekitarnya. Selain itu digunakan pula air dengan konsentrasi klorida ( $\text{Cl}^-$ ) 5.000 mg/l, 15.000 mg/l, dan 25.000 mg/l.
- g) Uji kualitas air rob, sebagai bahan perendaman campuran perkerasan lapis permukaan HRS-WC, yang diuji hanya unsur kimia yang diindikasikan dapat merusak campuran perkerasan tersebut, seperti pH, kadar klorida ( $\text{Cl}^-$ ), kadar sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), serta kadar alkalinitas terdiri dari anion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) dan hidroksida ( $\text{OH}^-$ ).
- h) Penelitian yang dilakukan terbatas pada pengujian laboratorium dan tidak melakukan pengujian lapangan.
- i) Analisis kimia aspal yang digunakan tidak diteliti.

j) Analisis biaya tidak diteliti.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Adapun rencana sistematika penulisan tesis ini disusun sebagai berikut:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bagian ini berisi uraian tentang hal-hal yang berhubungan dengan latar belakang penelitian, maksud dan tujuan penelitian, serta pembatasan masalah penelitian.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bagian ini berisi dasar teori mengenai struktur jalan khususnya pada campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* dan bahan pembentuknya, karakteristik air rob dan gambaran umum mengenai pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dengan studi literatur dari internet, jurnal penelitian, skripsi, tesis, dan pedoman/ standar.

### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bagian ini berisi langkah-langkah sistematis yang dilakukan selama penelitian, mulai dari persiapan bahan dan alat yang digunakan, prosedur penelitian, tahap pengujian hingga tahap analisis yang dilakukan.

### **BAB IV : HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN**

Bagian ini berisi tentang hasil analisis yang disertai dengan pembahasan yang berkaitan dengan hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian.

### **BAB V : PENUTUP**

Bagian ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang dilakukan serta saran-saran yang dapat digunakan sebagai masukan penelitian yang akan datang.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Banjir Rob dan Penyebabnya**

Menurut Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional (2008), rob didefinisikan sebagai pasang besar (tentang air laut atau sungai) yang menyebabkan luapan air laut. Fenomena banjir rob dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Pasang surut sendiri dipengaruhi gravitasi bulan dan matahari, serta dipengaruhi pula posisi bulan dan matahari terhadap bumi. Banjir ini biasa terjadi pada saat pasang air laut yaitu bertepatan dengan kejadian bulan baru dan bulan purnama.

Banjir yang diakibatkan oleh fenomena pasang air laut yang sering terjadi di daerah pesisir pantai dikenal dengan istilah banjir rob, istilah ini pertama kali berkembang di daerah Semarang yang merupakan daerah langganan banjir rob. Banjir rob atau pasang merupakan fenomena meluapnya air laut ke daratan. Banjir rob disebabkan oleh pasang air laut. Banjir seperti ini kerap melanda daerah hilir atau muara sungai di daerah pesisir pantai. Air laut yang pasang ini umumnya akan menahan air sungai yang sudah menumpuk, akhirnya air yang tertahan bercampur dengan luapan air laut melimpah dan menggenangi daratan (Rahayu, 2009).

Banjir pasang air laut (rob) adalah suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil. Kenaikan muka air laut akibat pasang merupakan fenomena alam biasa dan bisa diprediksi (Sunarto, 2003).

#### **2.2. Dampak yang Ditimbulkan oleh Banjir Rob**

Di masa mendatang, dampak banjir rob ini diprediksi semakin besar dengan adanya skenario kenaikan muka air laut sebagai efek pemanasan global. Terjadinya banjir rob menimbulkan pengaruh yang besar terhadap masyarakat, terutama yang bertempat tinggal di kawan pesisir. Banjir rob di kawasan pesisir akan semakin parah dengan adanya genangan air hujan atau banjir kiriman, dan banjir lokal akibat

saluran drainase yang kurang terawat. Dampak banjir rob adalah terganggunya aktivitas keseharian termasuk kegiatan rumah tangga, terganggunya aksesibilitas jalan dan keterbatasan penggunaan sarana dan prasarana. Dampak banjir rob menjadikan infrastruktur pantai rusak karena terkena abrasi pantai. Akibat selanjutnya penduduk pantai akan kehilangan tempat tinggal dan mata pencaharian. Salah satu dampak dan pengaruh dari banjir rob adalah terhadap penggunaan lahan, sebagai lahan produktif. Dampak banjir akibat pasang air laut (rob) telah merubah fisik lingkungan dan memberikan tekanan terhadap masyarakat, bangunan, dan infrastruktur permukiman yang ada di wilayah tersebut (Putra dan Marfai, 2012).

Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Desmawan dan Sukamdi (2012), dampak yang ditimbulkan oleh banjir rob antara lain:

- a) Kerusakan bangunan tempat tinggal karena selain menggenangi permukaan lantai dan halaman, banjir rob bersifat korosi dan merusak pada bangunan.
- b) Salinitas (keasinan) air yang disebabkan semakin luas dan lama genangan banjir rob, sehingga mempengaruhi kualitas air tanah dan air permukaan.
- c) Kehilangan lahan disebabkan banjir rob yang semakin tinggi sehingga banyak lahan di pesisir pantai tenggelam dan tidak dapat lagi dimanfaatkan.
- d) Kerusakan kendaraan dan peralatan kerja disebabkan karena banjir rob bersifat korosi.

Dampak fisik maupun non fisik yang ditimbulkan oleh banjir rob menurut Wuryanti (2002), meliputi beberapa hal:

- a) Kehilangan jiwa dan properti.
- b) Kerusakan pada rumah dan properti seperti perabot rumah dan barang elektronik.
- c) Terganggunya mata pencaharian akibat rusaknya pertanian, peternakan, dan pertambakan.
- d) Terhambat bahkan terhentinya pertumbuhan tanaman.
- e) Erosi tanah, menyebabkan lahan tertutup sampah, pasir, batu sehingga mengurangi produktivitas pertanian karena berkurangnya tingkat kesuburan tanah.

- f) Kerusakan infrastruktur dan fasilitas penting lainnya seperti klinik, sekolah, jalan, telepon dan sumber listrik.
- g) Terganggunya suplai air bersih dan terkontaminasinya sumber air bersih yang selanjutnya dapat menyebabkan penyakit.
- h) Memicu terjadinya penyakit menular, seperti diare, malaria, dan demam berdarah.

### 2.3. Pengaruh Air Rob pada Campuran Aspal

Kandungan air rob tentunya akan berbeda dengan air laut. Hal ini disebabkan karena air rob telah masuk ke daratan sehingga telah bercampur dengan zat-zat atau material lain yang berada di daratan yang dilewatinya. Air laut sendiri memiliki kadar garam rata-rata 3,5%. Artinya dalam 1 liter (1000 mL) air laut terdapat 35 gram garam (namun tidak seluruhnya garam dapur/ NaCl). Keberadaan garam-garaman mempengaruhi sifat fisis air laut (seperti: densitas, kompresibilitas, titik beku, dan temperatur dimana densitas menjadi maksimum) beberapa tingkat, tetapi tidak menentukannya. Beberapa sifat (*viskositas*, daya serap cahaya) tidak terpengaruh secara signifikan oleh salinitas. Dua sifat yang sangat ditentukan oleh jumlah garam di laut (salinitas) adalah daya hantar listrik (konduktivitas) dan tekanan osmosis (Riyadi, 2011).

Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%) dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida. Tiga sumber utama garam-garaman di laut adalah pelapukan batuan di darat, gas-gas vulkanik dan sirkulasi lubang-lubang hidro termal (*hydrothermal vents*) di laut dalam (Suardi, 2009).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Riyadi (2011), menyebutkan bahwa semakin lama campuran aspal polimer maupun non polimer terendam dalam air rob, dapat mempengaruhi kinerja berupa penurunan durabilitas atau keawetan campuran, ditandai dengan meningkatnya *void in mix* (VIM), *void in mineral aggregate* (VMA) dan kelelahan, dan menurunnya nilai stabilitas dan *Marshall quotient* (MQ).

Sementara Prabowo (2003), dalam penelitiannya membuktikan bahwa nilai keasaman suatu air yang digunakan untuk merendam campuran aspal akan mempengaruhi nilai stabilitas dan keawetan campuran. Semakin asam air yang digunakan maka semakin rendah nilai stabilitas dan keawetan yang dihasilkan. Prabowo juga mengatakan bahwa waktu perendaman juga mempengaruhi nilai stabilitas dan keawetan campuran aspal. Semakin lama campuran aspal direndam maka akan diikuti dengan penurunan nilai stabilitas dan keawetan campuran aspal.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu, terbukti bahwa air laut atau rob yang terinfiltrasi ke dalam struktur perkerasan menyebabkan campuran aspal mudah teroksidasi sehingga aspal menjadi rapuh (getas). Untuk mencegah agar air laut tidak mudah terinfiltrasi dengan mudah ke dalam struktur perkerasan, maka harus mempertimbangkan gradasi campuran, *void in mix* (VIM), *void in mineral aggregate* (VMA) dan VFA (*Void Filled with Asphalt*). Penggunaan gradasi yang rapat (menerus) menyebabkan rongga dalam campuran (VIM) memiliki nilai yang kecil. Apabila nilai *void in mix* (VIM) ini terlalu besar, hal ini menyebabkan campuran aspal bersifat *porous* sehingga air dan udara dapat dengan mudah masuk dan beroksidasi dengan campuran. Sedangkan nilai VFA (*Void Filled with Asphalt*) juga berpengaruh terhadap sifat kedapatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastik campuran, sehingga akan menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. VFA (*Void Filled with Asphalt*) merupakan persentase rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami pemadatan. Nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan bleeding dan bila terlalu rendah akan menimbulkan campuran menjadi porous (tidak kedap air dan udara) karena lapisan film aspal tipis sehingga mudah retak jika ada pembebanan berat.

#### **2.4. Pemeriksaan Kandungan Air Rob**

Uji kualitas air rob, sebagai bahan perendaman campuran lapis permukaan *HRS-WC* adalah diuji tingkat total keasaman beserta unsur-unsurnya yang diindikasikan merusak campuran tersebut, seperti:

a. Metode Pengujian pH

Metode yang digunakan sesuai dengan SNI 06-6989.11-2004 tentang Air dan Air Limbah Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman/ pH. Alat pH meter yang digunakan dalam pengujian ini adalah *HF Scientific Digital Turbidity Meter Micro TPW*.

Derajat keasaman atau pH menunjukkan kadar asam atau basa dalam suatu larutan, melalui konsentrasi ion hidrogen  $H^+$ . Ion hidrogen merupakan faktor utama untuk reaksi kimiawi dalam ilmu teknik penyehatan karena  $H^+$  selalu ada dalam keseimbangan dinamis dengan air ( $H_2O$ ) yang membentuk suasana untuk semua reaksi kimiawi yang berkaitan dengan masalah pencemaran air, dimana sumber ion hidrogen tidak pernah habis.  $H^+$  tidak hanya merupakan unsur molekul  $H_2O$  saja, tetapi juga merupakan unsur banyak senyawa lain, sehingga jumlah reaksi tanpa  $H^+$  dapat dikatakan hanya sedikit saja (Greenberg *et al.*, 1992).

b. Metode Pengujian Kadar Klorida ( $Cl^-$ )

Metode yang digunakan sesuai dengan SNI 06-6989.19-2004 tentang Air dan Air Limbah Bagian 19: Cara Uji Klorida ( $Cl^-$ ) dengan metode Argentometri (*mohr*).

Greenberg *et al.* (1992) menyatakan bahwa senyawa klorida yang terlarut dalam air tidak beraksi sendiri, melainkan merupakan suatu senyawa garam seperti ( $NaCl$ ,  $CaCl_2$ ,  $BaCl_2$ ,  $MgCl_2$ ) dan sifat garam ini mudah sekali mengalami ionisasi dalam air, yang dapat menyebabkan kerusakan pada konstruksi jalan yang menggunakan bahan agregat dan aspal panas, karena merusak sifat kohesi bahan aspal. Penentuan/pengukuran kadar klorida ( $Cl^-$ ) menggunakan Persamaan 2.1:

$$\text{Kadar Klorida } (Cl^-) = \frac{1000}{a} \times b \times N_{AgNO_3} \times 35,5 \frac{mg}{lt} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

$b$  = Volume kadar Klorida (ml)  $\rightarrow$  diperoleh dari hasil Titrasi  
 $a$  = contoh sampel (ml)  
 $N_{AgNO_3}$  = 0,0141 N

c. Metode Pengujian Kadar Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Metode yang digunakan sesuai dengan SNI 06-6989.20-2004 tentang Air dan Air Limbah Bagian 20: Cara Uji Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) secara Turbidimetri.

Greenberg *et al.* (1992) menyatakan bahwa senyawa sulfat yang terlarut dalam air tidak beraksi sendiri melainkan merupakan suatu senyawa garam seperti ( $\text{NaSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ) dan sifat garam ini mudah sekali mengalami ionisasi dalam air, yang dapat menyebabkan kerusakan pada konstruksi jalan yang menggunakan bahan agregat dan aspal panas, karena merusak sifat adhesi antara agregat dan aspal. Penentuan/ pengukuran kadar Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) menggunakan Persamaan 2.2:

$$\text{Kadar Sulfat } (\text{SO}_4^{2-}) = \frac{1000}{a} \times d \times 0,4115 \text{ mg/lt} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

$d$  = Volume kadar Sulfat (gr)  $\rightarrow$  diperoleh dari berat zat yang terbakar di dalam *crush porceline*

$a$  = Sampel air (ml)

d. Metode Pengujian Alkalinitas

Pengujian alkalinitas berdasarkan SNI 06-2422-1991 tentang Metode Pengujian Keasaman dalam Air dengan Titrimetri. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengetahui kadar alkalinitas pada suatu sampel air. Limbong (2008), menyatakan bahwa Alkalinitas adalah kapasitas air untuk menetralkan tambahan asam tanpa penurunan nilai pH larutan, juga merupakan hasil reaksi terpisah dalam larutan hingga merupakan sebuah Annalisa makro yang menggabungkan beberapa reaksi. Penentuan kadar Alkalinitas menggunakan Persamaan 2.3 sampai dengan Persamaan 2.5:

- *Alkalinitas Hidroksida* ( $\text{CaCO}_3$ ) =  $A \times N \times 50.000/ \text{ml}$  contoh .....(2.3)

- *Alkalinitas Karbonat* ( $\text{CaCO}_3$ ) =  $B \times N \times 50.000/ \text{ml}$  contoh .....(2.4)

- *Alkalinitas Bikarbonat* ( $\text{HCO}_3$ ) =  $C \times N \times 50.000/ \text{ml}$  contoh .....(2.5)

Keterangan:

A = *Alkalinitas Hidroksida* (ml)

B = *Alkalinitas Karbonat* (ml)

C = *Alkalinitas Bikarbonat* (ml)

N = 0,1 N (Larutan HCl)

ml contoh = volume sampel (ml)

## 2.5. Pembuatan Larutan Klorida (Cl<sup>-</sup>)

Larutan baku klorida (Cl<sup>-</sup>) yang dibuat adalah larutan yang mempunyai kadar klorida (Cl<sup>-</sup>) sesuai dengan yang diencerkan dengan air suling sampai kadar tertentu (SNI 06-6989.19-2004).

Berikut adalah contoh pembuatan larutan klorida (Cl<sup>-</sup>) berdasarkan (SNI 06-6989.19-2004):

- a) Serbuk NaCl dikeringkan dalam oven pada suhu 140°C selama 2 jam, kemudian dinginkan dalam desikator.
- b) NaCl kering ditimbang sebanyak 824 mg, kemudian dilarutkan dengan air suling bebas klorida di dalam labu ukur 1000 mL. Setelah itu ditempatkan sampai tanda tera dengan air suling bebas klorida. Larutan ini mempunyai kadar klorida 500 µg Cl/mL.

## 2.6. Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)

*Hot Rolled Sheet* (HRS) merupakan lapisan permukaan jalan sebagai salah satu jenis *Hot Rolled Asphalt* (HRA) yang berasal dari Inggris dan banyak dipakai di Indonesia yang dikenal dengan nama Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston). Berdasarkan ketentuan yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum (2010) tentang Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak, menyatakan bahwa Lataston terdiri atas dua jenis yaitu Lataston Pondasi (untuk lapis perata) dan Lataston Aus (untuk lapis permukaan) yang masing-masing mempunyai ukuran butir agregat maksimum yang sama yaitu 19 mm. Lataston Pondasi mengandung lebih banyak agregat kasar. Lapis Tipis Beton Aspal (Lataston) dapat diperhitungkan mempunyai nilai struktural bila kadar agregat kasar lebih dari 30% dan mempunyai tebal nominal minimum 30 mm. Campuran ini terdiri atas agregat bergradasi senjang dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

*Hot Rolled Sheet* (HRS) merupakan jenis perkerasan konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. *Hot Rolled Sheet* (HRS) adalah salah satu campuran aspal dengan agregat

seperti halnya campuran aspal beton pada umumnya, namun mempunyai kelebihan khusus yaitu sifat elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal lainnya. Dalam campuran aspal beton (AC), kekuatan atau stabilitasnya tergantung pada saling kunci antara susunan agregat (*interlocking*), namun pada campuran HRS, stabilitasnya tergantung pada kekuatan campuran mortar yang ada, yaitu merupakan campuran antara agregat sedang/ halus, *filler* dan aspal. HRS merupakan suatu campuran yang lebih banyak mengandung material halus, dimana akan diperlukan suatu kadar aspal yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal lain (Huriyanto, 2008).

Untuk mendapatkan hasil yang memuaskan, Departemen Pekerjaan Umum (2010) memberikan Spesifikasi Campuran Beraspal Panas, bahwa campuran harus dirancang sampai memenuhi semua ketentuan yang diberikan dalam spesifikasi. Dua kunci utama adalah:

Gradasi yang benar-benar senjang.

- a) Agar diperoleh gradasi yang benar-benar senjang, maka selalu dilakukan pencampuran pasir halus dengan agregat pecah mesin.
- b) Sisa rongga udara pada kepadatan membal (*refusal density*) harus memenuhi ketentuan yang ditunjukkan dalam spesifikasi.

Adapun Departemen Pekerjaan Umum (2010), memberikan spesifikasi sifat-sifat campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS) dapat dilihat pada **Tabel 2.1** sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Sifat-sifat Campuran Lataston/ *Hot Rolled Sheet*(HRS)

Sifat-sifat Campuran		HRS	
		WC	BC
Penyerapan aspal (%)	Maks.		1,7
Jumlah tumbukan per bidang			75
Rongga dalam campuran (%)	Min.		3,0
	Maks.		6,0
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	18	17
Rongga terisi aspal (%)	Min.		68
Stabilitas (kg)	Min.		800
	Maks.		-
Pelelehan/ <i>Flow</i> (mm)	Min.		3
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min.		250
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah Perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min.		75

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2010)

### 2.6.1 Bahan Campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC)

Campuran beraspal terdiri atas mineral agregat dan aspal. Dalam beberapa hal diperlukan bahan pengisi tambahan (*added filler*) untuk menjamin tercapainya sifat-sifat campuran sebagaimana tercantum, tetapi pada umumnya penggunaan mineral bahan pengisi dibatasi. Penggunaan bahan pengisi yang berlebihan dapat memperkaku aspal sehingga campuran menjadi kurang lentur dan mudah retak (Departemen Pekerjaan Umum, 1999).

Kemampuan perkerasan fleksibel, dalam hal ini perkerasan *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) untuk menahan kerusakan yang terjadi adalah sangat tergantung pada kekuatan campuran mortar yang ada, merupakan campuran antara agregat sedang/ halus, *filler* dan aspal. Oleh karena itu diperlukan komponen penyusunnya yang telah teruji untuk mendapatkan perkerasan fleksibel yang bisa memberikan performance dan kekuatan serta durabilitas yang tinggi. Sehingga berbagai kerusakan yang mungkin timbul seperti yang diuraikan pada latar belakang bisa diminimalisir atau bahkan bisa dihindari. Sehingga akan didapatkan suatu perkerasan yang benar-benar *durable* untuk jangka waktu umur rencana (Ur) suatu perkerasan jalan.

#### 2.6.1.1. Agregat

Agregat/batuan didefinisikan sebagai formasi kulit bumi yang mengeras. Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90 – 95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75 – 85% agregat berdasarkan persentase volume (Sukirman, 1999).

Ditinjau dari ukuran butirnya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*).

Menurut *American Society for Testing and Material* (ASTM, 2013):

- a) Agregat kasar, mempunyai ukuran  $> 4,75$  mm (saringan No.4).
- b) Agregat halus, mempunyai ukuran  $< 4,75$  mm(saringan No.4).
- c) Abu batu/mineral *filler* merupakan agregat halus yang lolos saringan No.200.

Menurut *American Association of State Highway Transportation Officials* (AASHTO, 2007):

- a) Agregat kasar, mempunyai ukuran  $> 2$  mm.
- b) Agregat halus, mempunyai ukuran  $< 2$  mm dan  $> 0,075$ .
- c) Abu batu/mineral *filler* merupakan agregat halus yang lolos saringan No. 200. Agregat juga diklasifikasikan menurut Depkimpraswil (2004) sebagai berikut:
  - a) Agregat kasar, agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No.8 (2,36 mm).
  - b) Agregat halus, agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No.8 (2,36 mm).
  - c) Bahan pengisi (*filler*), bagian dari agregat halus yang minimum 85% lolos saringan No.200 (0,075 mm), non plastis, tidak mengandung bahan organik, tidak menggumpal, kadar air maksimum 1%.

Agregat yang akan digunakan dalam pekerjaan harus sedemikian rupa agar campuran beraspal, yang proporsinya dibuat sesuai dengan rumusan campuran kerja, memenuhi semua ketentuan yang disyaratkan. Nilai penyerapan air oleh agregat maksimum 3%, nilai berat jenis agregat kasar, halus, dan *filler*  $\geq 2,5$  gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis (*specific gravity*) agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2 gr/cm<sup>3</sup>. Bahan pengisi yang ditambahkan terdiri atas debu batu kapur (*limestone dust*), kapur padam (*hydrated lime*), semen atau abu terbang yang sesuai persyaratan. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan tidak kurang dari 1% dan maksimum 2% dari berat total agregat (Departemen Pekerjaan Umum, 2010). Adapun untuk persyaratan agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 2.2** dan **Tabel 2.3**.

**Tabel 2.2** Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12%
	Campuran AC bergradasi kasar	Maks. 30%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	Maks. 30%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	<i>DoT's Pennsylvania</i>	95/90*
Angularitas (kedalaman dari permukaan $\geq$ 10 cm)	<i>Test Method, PTM No.621</i>	80/75*
Partikel pipih dan Lonjong	ASTM D479 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos Saringan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2010)

Catatan: (\*) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

**Tabel 2.3** Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi Halus Min. 70% untuk AC bergradasi kasar
Material Lolos Ayakan No. 200	SNI 03- 4428-1997	Maks. 8%
Kadar Lempung	SNI 3423 : 2008	Maks. 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	AASHTO TP-33 atau	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan $\geq$ 10 cm)	ASTM C1252-93	Min. 40

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2010)

Adapun pengujian yang dilakukan terhadap benda uji material agregat kasar dan agregat halus adalah sebagai berikut:

- a. Berat Jenis Agregat (SNI 1969:2008 tentang agregat kasar dan SNI 1970:2008 tentang agregat halus)

Berat jenis ini menunjukkan perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam mencari berat jenis agregat:

- Berat Jenis Agregat Kasar (Persamaan 2.6 sampai dengan Persamaan 2.8)

$$\text{Berat jenis (Bulk)} = \frac{BK}{(BJ - BA)} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} = \frac{BJ}{(BJ - BA)} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{BK}{(BK - BA)} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan:

BK = berat benda uji kering oven (gram)

BJ = berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

BA = berat benda uji dalam air (gram)

- Berat Jenis Agregat Halus (Persamaan 2.9 sampai dengan Persamaan 2.11)

$$\text{Berat jenis (Bulk)} = \frac{BK}{(B + 500 - Bt)} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} = \frac{500}{(B + 500 - Bt)} \dots\dots (2.10)$$

$$\text{Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{BK}{(B + BK - Bt)} \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan:

SSD = ditetapkan 500 gram (berat benda uji kering permukaan jenuh)

BK = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer diisi air 25°C (gram)

Bt = berat piknometer + benda uji SSD + air 25°C (gram)

b. Tingkat Keausan atau Abrasi (SNI 2417:2008)

Tingkat keausan adalah ketahanan agregat terhadap penghancuran atau keausan yang dalam hal ini diperiksa melalui percobaan abrasi *Los Angeles*. Nilai keausan atau abrasi yang tinggi mengindikasikan banyaknya benda uji yang hancur akibat tumbukan dan gesekan antar agregat dengan bola-bola baja pada saat alat berputar. Berikut adalah Persamaan 2.12 yang digunakan dalam mencari tingkat keausan atau abrasi agregat:

$$\text{Keausan (\%)} = \frac{(a - b)}{a} \times 100 \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan:

a = berat agregat sebelum dimasukkan di mesin *Los Angeles* (gram)

b = berat agregat setelah dikeluarkan dari mesin *Los Angeles* (gram)

- c. Penyerapan Air Agregat (SNI 1969:2008 untuk agregat kasar dan SNI 1970:2008 untuk agregat halus)

Peresapan agregat terhadap air dilakukan untuk mengetahui besarnya air yang terserap agregat. Air yang telah terserap oleh agregat sulit untuk dihilangkan seluruhnya walaupun melalui proses pengeringan. Hal ini akan mempengaruhi daya lekat agregat terhadap aspal. Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam mencari penyerapan air agregat:

- Penyerapan (*Absorption*) Agregat Kasar (Persamaan 2.13)

$$\text{Penyerapan (Absorption)} = \frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\% \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan:

BK = berat benda uji kering oven (gram)

BJ = berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

- Penyerapan (*Absorption*) Agregat Halus (Persamaan 2.14)

$$\text{Penyerapan (Absorption)} = \frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan:

SSD = ditetapkan 500 gram (berat benda uji kering permukaan jenuh)

BK = berat benda uji kering oven (gram)

- d. Partikel Pipih dan Lonjong (ASTM D 4791-95)

Metode ini merupakan adopsi dari ASTM D 4791-95 *Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate*. Cara uji kepipihan dan kelonjongan agregat kasar dengan alat jangka ukur rasio diperlukan untuk menentukan kualitas agregat kasar yang akan digunakan dalam campuran. Penentuan besarnya rasio pada waktu pengujian agregat, disesuaikan dengan persyaratan yang diinginkan. Butiran agregat yang berbentuk pipih, lonjong, atau pipih dan lonjong jika digunakan dalam konstruksi, dapat berpengaruh terhadap kepadatan atau kekuatan dalam campuran. Metode uji ini dimaksudkan untuk mengontrol jumlah butiran yang dapat digunakan sesuai dengan batasan dalam spesifikasi. Hitung persentase kepipihan dan kelonjongan dalam 1% terdekat untuk masing-masing ukuran saringan yang lebih besar dari 9,5 mm (3/8 inci) dengan Persamaan 2.15.

$$\% \text{ butiran pipih dan lonjong} = \frac{\text{jumlah butiran yang pipih dan lonjong}}{\text{jumlah total butiran}} \times 10 \dots (2.15)$$

e. Daya Lekat Agregat terhadap Aspal (SNI-06-2439-1991)

Kelekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dalam persentase luas permukaan batuan yang terselimuti aspal terhadap luas total permukaan batuan. Pemeriksaan dilakukan secara visualisasi manual (tidak ada persamaan/ rumus perhitungan).

f. *Soundness* atau Uji Sifat Kekekalan Bentuk agregat (SNI 3407:2008)

Pengujian *Soundness* bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap pengaruh cuaca yang menunjukkan tingkat keawetan suatu agregat. Berikut adalah Persamaan 2.16 yang digunakan dalam mencari kekekalan bentuk agregat (*soundness*):

$$X(\%) = \frac{(B - C)}{B} \times 100\% \dots \dots \dots (2.16)$$

dengan:

X = persentase bahan yang lolos saringan setelah pengujian (%)

B = berat contoh benda uji awal (gram)

C = berat contoh benda uji tertahan saringan setelah pengujian (gram)

g. *Sand Equivalent Test* (SNI 3423 : 2008)

*Sand equivalent test* ini dilakukan untuk mengetahui kadar debu atau bahan yang menyerupai lempung (*clay*) pada agregat halus atau pasir. *Sand equivalent test* ini dilakukan pada agregat lolos saringan no.4. Berikut adalah Persamaan 2.17 yang digunakan dalam mencari nilai *sand equivalent* agregat halus:

$$\text{Sand Equivalent} = \frac{B}{A} \times 100\% \dots \dots \dots (2.17)$$

dengan:

A = pembacaan skala lumpur

B = pembacaan skala pasir

### 2.6.1.2. Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai dengan ukurannya. Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan, dengan

menggunakan satu set saringan, dimana saringan yang paling kasar diletakkan di atas dan yang halus di bawahnya (Sukirman, 1999).

Annalisa saringan dapat dilakukan secara basah dan kering. Annalisa basah dilakukan untuk menentukan jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200, mengikuti manual SNI-M-02-1994-03. Persentase lolos saringan ditentukan melalui pengujian Annalisa saringan agregat halus dan kasar. Pemeriksaan jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200, dengan mempergunakan saringan basah dapat dilanjutkan dengan mengeringkan benda uji dan selanjutnya melakukan pengujian Annalisa saringan halus dan kasar. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase lolos atau persentase tertahan yang dihitung berdasarkan berat agregat. Gradasi dari agregat dapat dibedakan atas:

- a) Gradasi seragam (*uniform graded*), adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama/sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Agregat gradasi seragam ini akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas yang tinggi, stabilitas kurang dan berat volume kecil.
- b) Gradasi rapat (*dense graded*), merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang seimbang, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik (*well graded*). Agregat bergradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air dan berat volume besar.
- c) Gradasi buruk atau jelek (*poorly graded*), merupakan campuran agregat yang tidak memenuhi dua kriteria di atas. Agregat bergradasi jelek yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan jalan lentur adalah gradasi celah, yaitu campuran agregat dengan satu fraksi hilang. Agregat dengan gradasi ini akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak diantara kedua jenis di atas.

Rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan. Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam **Tabel 2.4**.

**Tabel 2.4** Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos			
		Lataston (HRS)		Gradasi Semi Senjang	
		Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang	
ASTM	(mm)	WC	Base/ BC	WC	Base/ BC
1 1/2"	37,5	-	-	-	-
1"	25	-	-	-	-
3/4"	19	100	100	100	100
1/2"	12,5	90 – 100	90 – 100	87 – 100	90 – 100
3/8"	9,5	75 – 85	65 – 100	55 – 88	55 – 70
No. 4	4,75	-	-	-	-
No. 8	2,36	50 – 72	35 – 55	50 – 62	32 – 44
No. 16	1,18	-	-	-	-
No. 30	0,600	35 – 60	15 - 35	20 – 45	15 – 35
No. 50	0,300	-	-	15 - 35	5 - 35
No. 100	0,150	-	-	-	-
No. 200	0,075	6 - 12	2 – 9	6 - 10	4 - 8

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2010)

Catatan:

1. Untuk HRS-WC dan HRS-Base, paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus juga lolos ayakan No.30 (0,600 mm). Kriteria gradasi senjang yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm) dan tertahan ayakan No.30 (0,600 mm).
2. Lataston (HRS) bergradasi semi senjang sebagai pengganti Lataston bergradasi senjang dapat digunakan pada daerah dimana pasir halus yang diperlukan untuk membuat gradasi yang benar-benar senjang tidak dapat diperoleh.

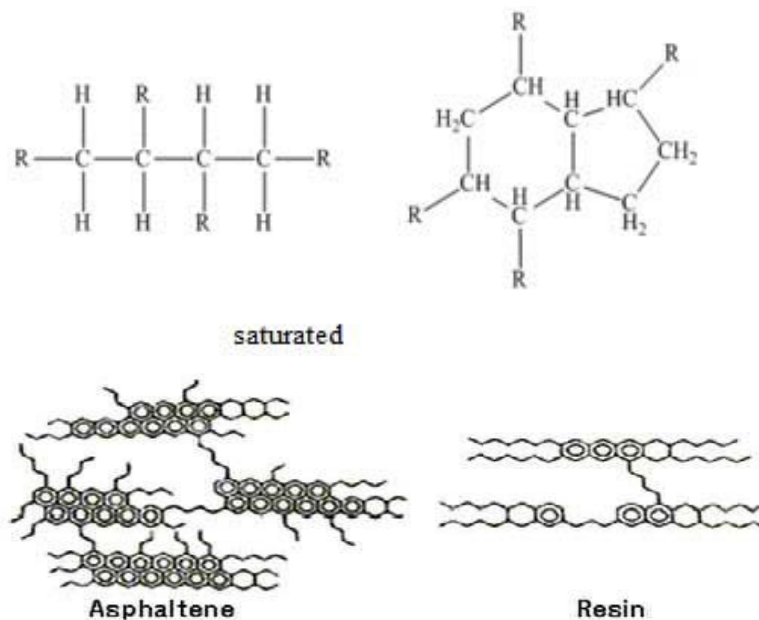
### 2.6.2. Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat yang secara esensial terdiri dari senyawa hidrokarbon atau turunannya, yang terlarut dalam *trichloroethylene*, tidak mudah menguap dan lunak secara bertahap ketika dipanaskan, memiliki warna hitam atau kecokelatan, anti terhadap air dan bersifat *adhesive* (*British Standard Institution, 1989*). Sementara menurut Sukirman (2003), aspal adalah material termoplastik yang akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur, yang dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspal walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau *viskositas* yang sama pada temperatur tertentu. Aspal yang mengandung lilin lebih peka terhadap temperatur dibandingkan dengan aspal yang tidak mengandung lilin. Hal ini terlihat pada aspal yang mempunyai *viskositas* yang sama pada temperatur tinggi tetapi sangat berbeda *viskositas* pada temperatur rendah. Kepekaan terhadap temperatur akan menjadi dasar perbedaan umur aspal untuk menjadi retak ataupun

mengeras. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan.

Aspal diperoleh melalui proses destilasi dari minyak mentah dan biasa ditemukan dalam bentuk deposit alami atau dalam suatu komponen alami yang menyimpan aspal dan tercampur dengan mineral lainnya (*British Standard 3690, 1989*). Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran aspal yang terbentuk dari senyawa-senyawa kompleks seperti *Asphaltene*, *Resins* dan *Oils* (*Hunter, 1994*).

Secara garis besar komposisi kimia aspal terdiri dari karbon 82% – 88%; hidrogen 8% – 11%; sulfur 0% – 16%; nitrogen 0% – 1%; dan oksigen 0% – 1,5% (*Shell Bitumen, 1990*). Dari sudut pandang kualitatif aspal terdiri dari dua kelas utama senyawa, yaitu *asphaltene* dan *maltene*. *Asphaltene* mengandung campuran kompleks hidrokarbon (5% – 25%), terdiri dari cincin aromatik kental dan senyawa heteroaromatik yang mengandung belerang, amina, amida, senyawa oksigen (keton, fenol atau asam karboksilat), nikel dan vanadium. Di dalam *maltene* terdapat tiga komponen penyusun yaitu *saturated*, *aromatic*, dan *resin*. Strukturnya kandungan aspal dapat dilihat pada **Gambar 2.1** (Nuryanto, 2008).



**Gambar 2.1** Kandungan aspal (Nuryanto, 2008)

Dari **Gambar 2.1** terlihat struktur kandungan aspal dimana masing-masing komponen memiliki struktur, komposisi kimia dan sifat reologi bitumen yang berbeda. *Resin* merupakan senyawa yang berwarna cokelat tua yang berbentuk solid atau semi solid sangat polar yang tersusun oleh atom C, H, O, S, dan N, untuk perbandingan H/C yaitu 1,3 – 1,4, memiliki berat molekul antara 500 – 50000, dan larut dalam n-heptan. *Aromatis* merupakan senyawa yang berwarna cokelat tua, berbentuk cairan kental, bersifat non polar, didominasi oleh cincin tidak jenuh, berat molekul 300 – 2000, terdiri dari senyawa naften aromatik dan mengandung 40 – 65% dari total bitumen. *Saturated* merupakan senyawa yang berbentuk cairan kental non polar, berat molekul hampir sama dengan *aromatis*, tersusun dari campuran hidrokarbon lurus, bercabang, *alkil naphthene*, dan *aromatis*, mengandung 5 – 20% dari total bitumen (Nuryanto, 2008).

Susunan struktur internal aspal sangat ditentukan oleh susunan kimia molekul-molekul yang terdapat dalam aspal tersebut. Susunan molekul aspal sangat kompleks dan didominasi (90 – 95% dari berat aspal) oleh unsur karbon dan hidrogen. Oleh sebab itu, senyawa aspal seringkali disebut sebagai senyawa hidrokarbon. Sebagian kecil, sisanya (5 – 10%), dari dua jenis atom, yaitu heteroatom dan logam.

Unsur-unsur heteroatom seperti nitrogen, oksigen dan sulfur, dapat menggantikan kedudukan atom karbon yang terdapat di dalam struktur molekul aspal. Hal inilah yang menyebabkan aspal memiliki rantai kimia yang unik dan interaksi antar atom ini dapat menyebabkan perubahan pada sifat fisik aspal. Jenis dan jumlah heteroatom yang terkandung di dalam aspal sangat ditentukan oleh sumber minyak mentah yang digunakan dan tingkat penuaannya. Heteroatom, terutama sulfur, lebih reaktif dari pada karbon dan hidrogen untuk mengikat oksigen. Dengan demikian, aspal dengan kandungan sulfur yang tinggi akan mengalami penuaan yang lebih cepat daripada aspal yang mengandung sedikit sulfur.

Atom logam seperti vanadium, nikel, besi, magnesium dan kalsium hanya terkandung di dalam aspal dalam jumlah yang sangat kecil, umumnya aspal hanya mengandung satu persen atom logam dalam bentuk garam organik dan hidroksidanya. Karena susunan kimia aspal yang sangat kompleks, maka analisis

kimia aspal sangat sulit dilakukan dan memerlukan peralatan laboratorium yang canggih, dan data yang dihasilkan pun belum tentu memiliki hubungan dengan sifat rheologi aspal. Analisis kimia yang dilakukan biasanya hanya dapat memisahkan molekul aspal dalam dua group, yaitu aspalten dan malten (Shell Bitumen, 1990).

#### 1) Aspalten (*Asphalthenes*)

Aspalten adalah unsur kimia aspal yang padat yang tidak larut dalam n-heptane. Aspalten berwarna coklat sampai hitam yang mengandung karbon dan hidrogen dengan perbandingan 1:1, dan kadang-kadang juga mengandung nitrogen, sulfur dan oksigen. Aspalten biasanya dianggap sebagai material yang bersifat polar dan memiliki *aromatic kompleks* dengan berat molekul yang cukup berat. Molekul aspalten ini memiliki ukuran antara 5 – 30 nano meter. Besar kecilnya kandungan aspalten dalam aspal sangat mempengaruhi sifat reologi aspal tersebut. Peningkatan kandungan aspalten dalam aspal akan menghasilkan aspal yang lebih keras dengan nilai penetrasi yang rendah, titik lembek yang tinggi dan tingkat kekentalan aspal yang tinggi pula (Shell Bitumen, 1990).

#### 2) Malten (*Maltenes*)

Malten adalah unsur kimia lainnya yang terdapat di dalam aspal selain aspalten. Unsur malten ini dapat dibagi lagi menjadi (Shell Bitumen, 1990):

##### a. Resin

Resin secara dominan terdiri dari hidrogen dan karbon, dan sedikit mengandung oksigen, sulfur, dan nitrogen. Rasio kandungan unsur hidrogen terhadap karbon di dalam resin berkisar antara 1,3 sampai 1,4. Resin memiliki ukuran antara 1 – 5 nanometer, berwarna coklat, berbentuk semi padat sampai padat, bersifat sangat polar dan memberikan sifat adhesif pada aspal. Di dalam aspal, resin berperan sebagai zat pendispersi *aspaltene*. Sifat aspal, sol (larutan) atau *gel* (jeli), sangat ditentukan oleh proporsi kandungan resin terhadap kandungan aspalten yang terdapat di dalam aspal tersebut.

##### b. Aromatik

Aromatik adalah unsur pelarut aspalten yang paling dominan di dalam aspal. Aromatik berbentuk cairan kental yang berwarna coklat tua dan kandungannya di dalam aspal berkisar antara 40% – 60% terhadap berat

aspal. Aromatik terdiri dari rantai karbon yang bersifat *non-polar* yang didominasi oleh unsur tak jenuh (*unsaturated*) dan memiliki daya larut yang tinggi terhadap molekul hidrokarbon.

c. *Saturated*

*Saturated* adalah bagian dari molekul malten yang berupa minyak kental yang berwarna putih atau kekuning-kuningan dan bersifat *non-polar*. *Saturated* terdiri dari parafin (*wax*) dan non parafin, kandungannya di dalam aspal berkisar antara 5 – 20% terhadap berat aspal.

Meskipun aspal hanya merupakan bagian kecil dari komponen campuran beraspal, namun merupakan bagian krusial untuk menyediakan ikatan yang *durable* (awet/ tahan lama) dan menjaga campuran tetap dalam kondisi kental yang elastis. Kualitas yang harus dimiliki oleh aspal untuk menjamin performa yang memuaskan, secara mendasar adalah *reologi*, kohesi, adhesi dan durabilitas. *Kerb* dan *Walker* (1971), menerangkan dalam pemilihan jenis aspal sebaiknya aspal dengan indeks penetrasi yang rendah digunakan untuk daerah yang beriklim panas untuk menghindari *softening* ataupun *bleeding*. Aspal dengan indeks penetrasi yang tinggi dapat digunakan pada daerah beriklim dingin, dalam upaya mencegah aspal menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*). Persyaratan aspal keras penetrasi 60/70 dapat dilihat pada **Tabel 2.5** sebagai berikut.

**Tabel 2.5** Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25 <sup>0</sup> C, 100 gram, 5 detik, 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	<b>60-79</b>
2	Titik lembek, <sup>0</sup> C	SNI 06-2434-1991	<b>Min. 48</b>
3	Titik nyala, <sup>0</sup> C	SNI 06-2433-1991	<b>Min. 232</b>
4	Daktilitas, 25 <sup>0</sup> C, cm	SNI 06-2432-1991	<b>Min.100</b>
5	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	<b>Min.1,0</b>
6	Kelarutan dalam <i>Toluene</i> ,% berat	ASTM D5546	<b>Min.99</b>
7	Penurunan berat (dengan TFOT),% berat	SNI 06-2440-1991	<b>Max. 0,8</b>
8	Penetrasi setelah penurunan berat,% asli	SNI 06-2456-1991	<b>Min. 54</b>
9	Daktilitas setelah penurunan berat,% asli	SNI 06-2456-1991	<b>Min.50</b>
10	<i>Viskositas</i> 135 <sup>0</sup> C (cSt)	SNI 03-6721-2002	<b>385</b>

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2010)

Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal *film* aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan mengurangi kandungan pori udara

yang lebih lanjut, juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran.

Pemeriksaan aspal tersebut terdiri dari:

a. Penetrasi (SNI 06-2456-1991)

Pengujian penetrasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan dari aspal dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, beban, dan waktu tertentu ke dalam aspal pada suhu tertentu. Untuk tiap benda uji dilakukan paling sedikit 5 kali penetrasi dengan jarak antar tiap titik pemeriksaan dan jarak dengan tepi dinding lebih dari 1 cm. Berikut adalah Persamaan 2.18 yang digunakan dalam mencari nilai penetrasi aspal (benda uji *duplo*):

$$\text{Nilai Penetrasi} = \frac{\frac{a+b+c+d+e}{5} + \frac{k+l+m+n+o}{5}}{2} \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan:

a, b, c, d, e = nilai pengamatan penetrasi pada benda uji I

k, l, m, n, o = nilai pengamatan penetrasi pada benda uji II

b. Titik Lembek (SNI 06-2434-1991)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mencari temperatur pada saat aspal mulai lunak. Temperatur untuk mencapai titik lunak pada tiap aspal tidak sama walau mempunyai angka penetrasi yang sama. Pemeriksaan ini diperlukan untuk mengetahui batas kekerasan aspal. Pemeriksaan dilakukan secara visualisasi manual (tidak ada persamaan/ rumus perhitungan).

c. Titik Nyala (SNI 06-2433-1991)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sampai temperatur berapa aspal masih aman untuk dipanaskan. Dari pengujian ini akan didapatkan titik nyala pertama diatas permukaan aspal dan menentukan temperatur dimana terjadi terbakarnya pertama kali diatas permukaan aspal. Dengan mengetahui nilai titik nyala dan titik bakar aspal, maka dapat diketahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sebelum terbakar. Pemeriksaan dilakukan secara visualisasi manual (tidak ada persamaan/ rumus perhitungan).

d. Kehilangan Berat (SNI 06-2240-1991)

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kehilangan berat minyak dan

aspal, yang dinyatakan dalam persen berat semula. Pengujian ini dilakukan terhadap aspal dengan mencari besaran kehilangan berat minyak dan aspal. Selanjutnya hasil pengujian ini digunakan untuk mengetahui stabilitas aspal setelah pemanasan. Selain itu dapat digunakan untuk mengetahui perubahan sifat fisik aspal selama dalam pencampuran pada suhu 163 °C yang dinyatakan dengan penetrasi, daktilitas dan kekentalan. Berikut adalah Persamaan 2.19 yang digunakan dalam mencari nilai kehilangan berat aspal.

$$\text{Hitunglah penurunan berat} = \frac{A - B}{A} \times 100\% \dots \dots \dots (2.19)$$

dimana:

A = berat benda uji semula

B = berat benda uji setelah pemanasan

e. Kelarutan dalam *Carbon tetra Clorida* atau  $CCl_4$  (ASTM D5546)

Pengujian ini dilakukan di laboratorium untuk menentukan seberapa besar kadar bitumen (*bituminous content*) yang dapat terlarut dalam *karbon tetra klorida* ( $CCl_4$ ). Persyaratan dalam pemakaian aspal yang diinginkan adalah aspal dalam kondisi tidak tercampur dengan bahan-bahan lain yang tidak terlarut dalam  $CCl_4$ . Berikut adalah Persamaan 2.20 yang digunakan dalam mencari nilai kelarutan aspal/ bitumen di dalam  $CCl_4$  :

$$\text{Kadar aspal (bitumen) yang terlarut} = 100\% - \left( \frac{B}{A} \times 100\% \right) \dots \dots \dots (2.20)$$

dengan:

A = berat contoh aspal/ bitumen (gram)

B = berat endapan yang terjadi di kertas saring (gram)

f. Daktilitas (SNI 06-2432-1991)

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras atau aspal sebelum putus, pada suhu 25°C dan kecepatan tarik 5 cm/menit. Pemeriksaan dilakukan secara visualisasi manual (tidak ada persamaan/ rumus perhitungan).

g. Berat Jenis Aspal (SNI 06-2441-1991)

Pengujian dilakukan untuk melakukan analisis campuran pada metode *Marshall*. Berat jenis merupakan perbandingan antara berat aspal dan berat air

suling dengan isi/ volume yang sama pada temperatur tertentu. Berikut adalah Persamaan 2.21 yang digunakan dalam mencari nilai berat jenis aspal:

$$\text{Berat jenis aspal/bitumen} = \frac{\text{berat contoh aspal/bitumen (gram)}}{\text{volume contoh aspal/bitumen (cc)}} \dots\dots (2.21)$$

## 2.7. Karakteristik Campuran Perkerasan Beraspal

Dalam perencanaan suatu perkerasan dituntut dapat dihasilkan jalan yang baik dan optimal. Jalan yang baik adalah jalan yang mampu menahan atau mendukung gaya-gaya *destruktif* (kemampuan untuk merusak) dari muatan lalu lintas yang diperkirakan akan lewat dan mampu menahan pengaruh durabilitas cuaca serta diharapkan biaya pelaksanaan perkerasan jalan dan pemeliharannya yang relatif murah. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (2005) beberapa sifat campuran yang harus dimiliki oleh campuran beraspal adalah stabilitas (*stability*) yang tinggi, keawetan/ daya tahan (*durability*) yang tinggi, kelenturan (*flexibility*) tinggi, ketahanan terhadap penggelinciran atau geser/ kekesatan (*skid resistance*), ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kemudahan pelaksanaan (*workability*), impermeabilitas (*impermeability*).

### 2.7.1. Stabilitas (*Stability*) yang Tinggi

Stabilitas adalah kemampuan campuran beraspal untuk melawan deformasi atau perubahan bentuk yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang bekerja. Lapis keras yang stabil adalah yang tidak pernah mengalami deformasi. Perubahan bentuk atau deformasi karena rendahnya stabilitas campuran agregat dan aspal biasanya berupa gelombang alur atau *bleeding* (Suparma, 2003).

Stabilitas tergantung dari gesekan antar batuan (*internal friction*) dan kohesi aspal. Gesekan internal tergantung dari tekstur permukaan agregat, bentuk agregat, kepadatan campuran, dan jumlah aspal. Gesekan ini merupakan kombinasi dari gesekan dan tahanan pengunci agregat dalam campuran (*The Asphalt Institute*, 1983).

### 2.7.2. Keawetan/ Daya Tahan (*Durability*) yang Tinggi

Durabilitas adalah kemampuan suatu campuran perkerasan dalam menahan gaya-gaya dari cuaca dan keausan tanpa terjadi *dekomposisi* (hilangnya batu-batu halus, tetapi batu masih kompak dan kasar, *disintegrasi* (peristiwa lepasnya batuan-batuan), dan *degradasi* (perubahan gradasi campuran akibat pecahnya batuan kasar oleh beban lalu lintas dan cuaca) (Suparma, 2003). Durabilitas diperlukan pada lapis permukaan sehingga lapisan mampu menahan keausan akibat pengaruh perubahan cuaca, air, suhu, dan keausan akibat gesekan kendaraan serta *disintegrasi* campuran dapat dihindari.

Kadar aspal, nilai *Voids in The Mix* (VIM), nilai *Voids Filled With Asphalt* (VFA) adalah merupakan faktor yang mempengaruhi durabilitas suatu lapis perkerasan. Semakin banyak aspal yang digunakan untuk menyelimuti agregat, maka campuran akan semakin bersifat *durable* dan proses oksidasi pada permukaan lapisan dapat dicegah dengan semakin kecilnya nilai VFA. Selain itu, lapisan film yang cukup dapat menahan air yang akan masuk ke lapisan di bawahnya sehingga tidak terjadi *stripping*. Nilai VIM yang kecil akan menghindarkan kerusakan pada aspal.

### 2.7.3. Kelenturan (*Flexibility*) Tinggi

Kelenturan (fleksibilitas) adalah kemampuan lapis perkerasan untuk menyesuaikan perubahan bentuk yang terjadi di bawahnya (fondasi maupun tanah dasar) tanpa mengalami retak-retak; termasuk jika terjadi penurunan (*settlement*) yang cukup tinggi, misalnya pada saat pemadatan (*compaction*) pada lapis pondasi kurang padat, dan terjadinya penurunan setelah ada pembebanan oleh lalu lintas. Jika kondisi ini diikuti turunnya lapis keras secara keseluruhan tanpa timbul retak-retak, maka konstruksi dinamakan fleksibel (Suparma, 2003). Fleksibilitas campuran yang tinggi dapat diperoleh dengan menambahkan kadar aspal berdaya tahan tinggi, mengurangi tebal lapis perkerasan, dan menggunakan gradasi agregat yang relatif terbuka.

#### **2.7.4. Ketahanan Terhadap Penggelinciran atau Geser/ Kekesatan (*Skid Resistance*)**

Suatu perkerasan jalan yang baik dituntut untuk mempunyai daya tahan terhadap kemungkinan tergelincirnya ban (*skid resistance*) yang cukup tinggi. Kekesatan campuran aspal dan agregat adalah tahanan gesek yang diberikan oleh permukaan perkerasan sehingga roda kendaraan tidak akan mengalami *slip* (tergelincir), baik pada waktu basah maupun kering. Untuk tahanan gesek yang baik, tapak roda kendaraan harus dapat menjaga hubungan dengan partikel agregat dari selimut air yang berada di permukaan perkerasan.

Faktor yang mempengaruhi besar kecilnya nilai *skid resistance* antara lain kadar aspal dan bentuk permukaan agregat. Semakin banyak kadar aspal yang digunakan, maka rongga dalam campuran akan menjadi semakin sedikit. Akibat pemadatan lanjut oleh lalu lintas terutama pada udara yang panas, kelebihan aspal akan keluar ke permukaan perkerasan (*bleeding*). Permukaan agregat yang jelek dan licin akan membuat perkerasan menjadi lembut dan tidak menyediakan gaya gesek yang cukup. *Skid resistance* yang rendah terjadi karena faktor-faktor di atas, yaitu terjadi *bleeding* pada perkerasan, dan karena menggunakan permukaan agregat yang jelek dan licin.

#### **2.7.5. Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)**

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan dari campuran aspal agregat dalam menerima beban berulang tanpa terjadi kelelahan yang berakibat timbulnya retak-retak (*cracking*) pada campuran beraspal. Nilai ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) dapat ditingkatkan dengan menaikkan kadar aspal, memperkecil nilai VIM, dilakukan pemadatan yang cukup, dan kekentalan (*viskositas*) bitumen yang optimal.

#### **2.7.6. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)**

Kemudahan dalam pelaksanaan menggambarkan mudahnya suatu campuran aspal agregat untuk diproduksi, diangkut, dan dipadatkan, sehingga diperoleh kekuatan campuran yang diharapkan. Faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan antara lain gradasi agregat, temperatur campuran, dan kandungan bahan

pengisi (*filler*). Agregat bergradasi baik lebih mudah dikerjakan, temperatur campuran yang rendah (dibawah suhu pencampuran) menyebabkan agregat tidak terselimuti dan sulit untuk dipadatkan, *filler* yang terlalu sedikit menyebabkan campuran menjadi *porous*, dan *filler* yang terlalu banyak menyebabkan campuran menjadi tidak awet. Oleh karena itu perlu dilakukan *mix design* secara cermat agar pekerjaan seefisien mungkin. Kemudahan dalam pelaksanaan (*workability*) dapat dikembangkan dengan mengubah parameter desain dan komposisi material campuran.

### 2.7.7. Impermeabilitas (*Impermeability*)

Impermeabilitas adalah tingkat kedapannya campuran terhadap air dan udara yang dimiliki oleh perkerasan. Hal ini erat kaitannya dengan jumlah rongga dalam campuran. Tingkat kedapannya campuran dapat dinaikkan dengan menggunakan gradasi rapat, menambah kadar aspal agar nilai rongganya kecil dan melakukan pemadatan yang sesuai prosedur.

## 2.8. Kadar Aspal Optimum Dugaan

Aspal sebagai hasil alam maupun hasil penyaringan minyak bumi mempunyai sifat-sifat tersendiri, khususnya sifat peka terhadap perubahan temperatur. Pada dasarnya penggunaan aspal dalam campuran sangat menentukan tingkat kedapannya campuran dalam perkerasan (*impermeabilitas*) terhadap air dan udara.

Kadar aspal dalam campuran sangat mempengaruhi besar kecilnya rongga udara yang ada dalam campuran. Semakin banyak kadar aspal dalam campuran, maka rongga dalam campuran semakin sedikit dan campuran akan menjadi semakin rapat, tetapi apabila jumlahnya terlalu banyak akan memberikan ikatan yang tidak baik, yaitu mengakibatkan naiknya aspal ke permukaan (*bleeding*) bersamaan dengan naiknya temperatur di sekitarnya. Namun sebaliknya, penggunaan aspal yang terlalu sedikit akan menyebabkan campuran menjadi sangat *porous*, mudah terjadi kerusakan seperti retak-retak (*crack*) dan *segregasi* pada lapis perkerasan.

Kadar aspal dugaan (Depkimpraswil, 2000) dicari dengan Persamaan 2.22.

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + C^* \dots\dots\dots(2.22)$$

dengan:

Pb = kadar aspal tengah/ ideal (persen terhadap berat campuran)

CA = agregat kasar (persen agregat tertahan saringan No.8)

FA = agregat halus (persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan No.200)

FF = *filler* (persen agregat minimal 75% lolos No.200)

C \* = konstanta:

\* Untuk *Asphalt Concrete (AC)* nilai C berkisar 0,5 – 1,0

\* Untuk *Hot Rolled Sheet (HRS)* nilai C berkisar 2,0 – 3,0

Kadar aspal yang diperoleh dari Persamaan 2.22 tersebut dibulatkan mendekati angka kelipatan 0,5% terdekat. Terdapat 5 (lima) variasi kadar aspal yang akan digunakan dalam pencampuran, yang masing-masing kadar aspal berbeda/ berjarak selisih 0,5%. Kadar aspal yang dipilih haruslah sedemikian rupa sehingga membentuk variasi sebagai berikut:

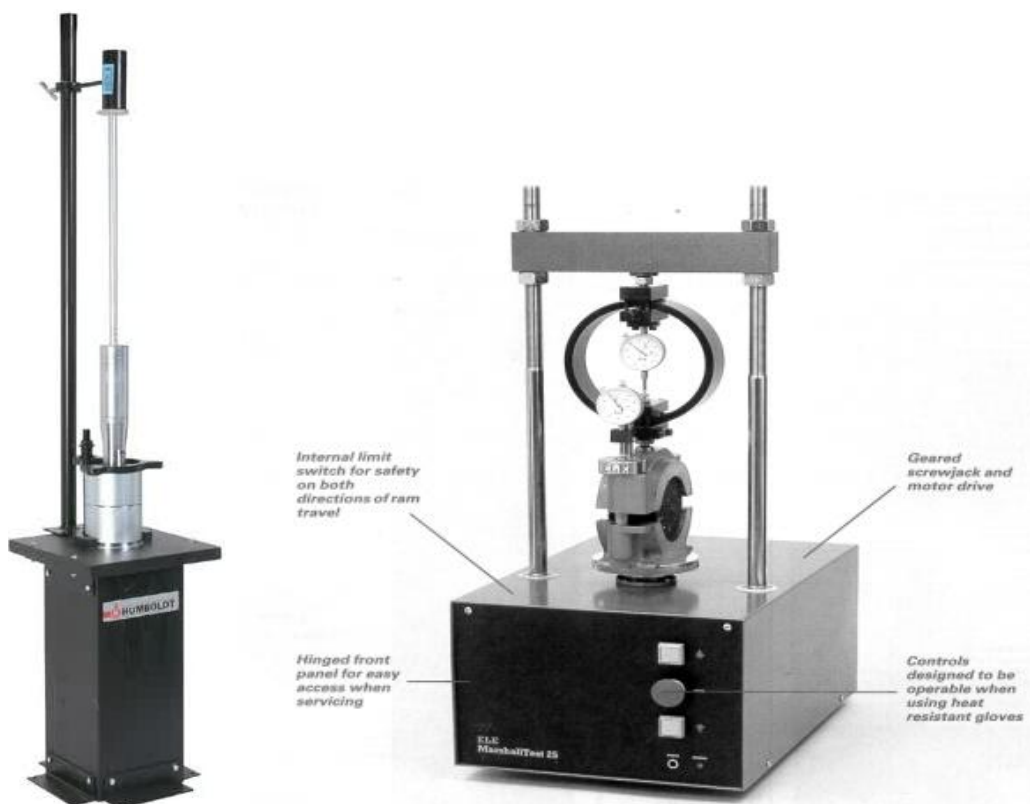
- Kadar aspal (Pb – 1)%
- Kadar aspal (Pb – 0,5)%
- Kadar aspal Pb%
- Kadar aspal (Pb + 0,5)%
- Kadar aspal (Pb + 1)%

### 2.8.1. Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode *Marshall*

Pengujian *Marshall* adalah metode laboratorium paling umum yang digunakan untuk memeriksa kinerja campuran panas (*hot mix*) yaitu dengan mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan plastis campuran beraspal dengan menggunakan alat *Marshall*. Konsep ini dikembangkan oleh Bruce Marshall pada tahun 1939, seorang insinyur bahan aspal bersama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian penelitian ini dilanjutkan oleh *The U.S. Army Corps of Engineers*, dengan lebih ekstensif dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian *Marshall* dan akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran (Riyadi, 2011).

Untuk keperluan pencampuran, agregat dan aspal dipanaskan pada suhu dengan nilai *viskositas* aspal  $170 \pm 20$  centistokes (cst) dan dipadatkan pada suhu dengan nilai *viskositas* aspal  $280 \pm 30$  cst. Alat yang digunakan untuk proses pemadatan adalah *Marshall Compaction Hammer* (**Gambar 2.2**). Benda uji berbentuk silinder dengan tinggi 64 mm dan diameter 102 mm ini diuji pada

temperatur  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  dengan tingkat pembebanan konstan sebesar 51 mm/menit sampai terjadi keruntuhan. Beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji sebelum hancur dikenal sebagai stabilitas *Marshall* dan besarnya deformasi yang terjadi pada benda uji sebelum hancur adalah kelelahan (*flow*) *Marshall* dan perbandingan stabilitas dan kelelahan (*flow*) *Marshall* disebut *Marshall Quotient*, yang merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi tetap. Alat yang digunakan terdiri dari mesin uji *Marshall* seperti terlihat pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2.** *Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test*  
(CV. Globalindo Teknik Mandiri, 2013)

Dari pengujian *Marshall* diperoleh parameter-parameter yang disebut dengan *Marshall Properties*, yang terdiri dari kepadatan (*density*), stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), persentase rongga dalam campuran (VIM), persentase rongga terisi aspal (VFA), dan persentase rongga dalam agregat (VMA). Kementerian Pekerjaan Umum (2010) menetapkan syarat kualitas untuk campuran *Asphalt Concrete* (AC) dengan metode pengujian *Marshall* berdasarkan

SK SNI 1998. Ketentuan untuk karakteristik campuran Lataston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheet Wearing Course/ HRS-WC*) dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Data yang diperoleh dari pengujian *Marshall* di laboratorium adalah sebagai berikut:

- a) Berat sebelum direndam air atau berat kering (gram),
- b) Berat dalam keadaan jenuh air atau SSD (*Saturated Surface Dry*) (gram),
- c) Berat dalam air (gram),
- d) Tebal benda uji (mm),
- e) Pembacaan arloji stabilitas (kg),
- f) Pembacaan arloji kelelahan atau *flow* (mm).

Nilai-nilai *density*, VIM, VMA, dan VFA dapat diketahui setelah data dari berat jenis aspal, berat jenis agregat efektif, dan berat jenis semu diperoleh. Data berat jenis diperoleh dari pengujian pada masing-masing bahan. Nilai stabilitas diperoleh dari hasil perkalian antara nilai pembacaan arloji stabilitas, kalibrasi *proving ring* dan koreksi tebal benda uji. Nilai MQ (*Marshall Quotient*) diperoleh dari hasil bagi antara nilai stabilitas dan angka kelelahan (*flow*).

Untuk selanjutnya sifat-sifat dan karakteristik *Marshall* (*Marshall Properties*) seperti yang disebutkan dalam persyaratan atau parameter spesifikasi sebelumnya (**Tabel 2.1**) akan dijelaskan sebagai berikut:

## **2.8.2. Sifat Volumetrik Campuran (*Density-Void Analysis*)**

### **2.8.2.1. Kepadatan (*Density*)**

*Density* adalah berat campuran yang diukur tiap satuan volume. Kepadatan yang diperoleh selama pemadatan di laboratorium sebenarnya tidak begitu penting, karena yang terpenting yaitu seberapa dekat kepadatan selama di laboratorium dengan kepadatan di lapangan setelah beberapa tahun dibebani oleh lalu lintas. Meningkatkan kepadatan dapat dilakukan dengan meningkatkan pemadatan (*compaction*), meningkatkan kadar aspal, maupun meningkatkan jumlah filler untuk mengisi *void*. Meningkatnya kadar aspal diikuti oleh meningkatnya *density*, hal ini dikarenakan aspal melumasi partikel sehingga memudahkan usaha pemadatan untuk mendesak partikel saling berdekatan dan saling mengisi rongga.

Puncak kepadatan (*density*) biasanya bersamaan dengan kadar aspal optimum dalam campuran, sehingga penambahan kadar aspal yang melebihi kadar optimumnya justru malah akan menurunkan *density*. Kepadatan yang tinggi akan menghasilkan kemampuan yang tinggi dalam menahan beban yang bekerja (beban lalu lintas) dan juga dapat meningkatkan kedekatan terhadap air dan udara.

Berikut adalah formula dalam mencari kepadatan (*density*) pada Persamaan 2.23.

$$S_M = \frac{W}{V}; \text{ dimana } V = W_{SSD} - W_W \dots\dots\dots(2.23)$$

dengan:

- S<sub>M</sub> = berat volume benda uji/ kepadatan (gr/cm<sup>3</sup>)
- W = berat benda uji kering udara (gram)
- V = volume benda uji (cm<sup>3</sup>)
- W<sub>SSD</sub> = berat benda uji kering permukaan jenuh/ SSD (gram)
- W<sub>W</sub> = berat benda uji direndam dalam air (gram)

**2.8.2.2.Voids in Mineral Aggregate (VMA)**

*Voids in Mineral Aggregate* (VMA) merupakan volume rongga-rongga udara antar partikel agregat di dalam suatu campuran perkerasan, termasuk di dalamnya terdapat rongga-rongga udara dari kandungan aspal efektif. Adapun VMA ini dinyatakan dalam satuan persentase terhadap total volume benda uji.

Jika komposisi campuran ditentukan berdasarkan persentase berat total campuran, maka digunakan Persamaan 2.24.

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \dots\dots\dots(2.24)$$

Sedangkan jika komposisi campuran dihitung berdasarkan persentase berat total agregat, maka digunakan Persamaan 2.25 sampai dengan Persamaan 2.27:

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100 + Pb} \times 100 \dots\dots\dots(2.25)$$

dimana:

$$G_{sb} = \frac{P1 + P2 + \dots + Pn}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \dots + \frac{Pn}{Gn}} \dots\dots\dots(2.26)$$

dan:

$$G_{mb} = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \dots\dots\dots(2.27)$$

dengan:

$G_{mb}$	= berat jenis <i>bulk</i> dari beton aspal padat
$G_{sb}$	= berat jenis <i>bulk</i> total agregat ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$P_1, P_2, \dots, P_n$	= persentase masing-masing fraksi agregat (%)
$G_1, G_2, \dots, G_n$	= berat jenis <i>bulk</i> masing-masing fraksi agregat
$P_s$	= kadar agregat, persentase terhadap berat total dari campuran
$P_b$	= kadar aspal, persentase terhadap berat total campuran
$B_k$	= berat kering beton aspal padat, gram
$B_{ssd}$	= berat kering permukaan dari beton aspal, gram
$B_a$	= berat beton aspal padat dalam air, gram
$B_{ssd} - B_a$	= volume <i>bulk</i> dari beton aspal padat, jika $B_{j_{air}} = 1$

### 2.8.2.3. Voids in the Mix (VIM)

*Voids in the Mix* (VIM) adalah volume rongga yang ada dalam campuran perkerasan. Nilai porositas berkurang seiring dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran karena rongga antar agregat akan terisi aspal. Adapun VIM dihitung dengan Persamaan 2.28 dan Persamaan 2.29.

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots (2.28)$$

dimana:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (2.29)$$

dengan:

$G_{mm}$	= berat jenis maksimum campuran yang belum dipadatkan
$G_{mb}$	= berat jenis <i>bulk</i> dari beton aspal padat
$P_{mm}$	= persentase berat total campuran (=100)
$P_s$	= kadar agregat, persentase terhadap berat total campuran
$P_b$	= kadar aspal, persentase terhadap berat total campuran
$G_{se}$	= berat jenis efektif agregat ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$G_b$	= berat jenis aspal ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

### 2.8.2.4. Voids Filled with Asphalt (VFA)

*Voids Filled with Asphalt* (VFA) menunjukkan persentase rongga campuran yang terisi aspal. Nilai VFA berpengaruh terhadap kekedapan dan durabilitas campuran serta sangat dipengaruhi oleh kadar aspal campuran. Adapun berikut adalah formula dalam mencari VFA (Persamaan 2.30).

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \dots\dots\dots (2.30)$$

dengan:

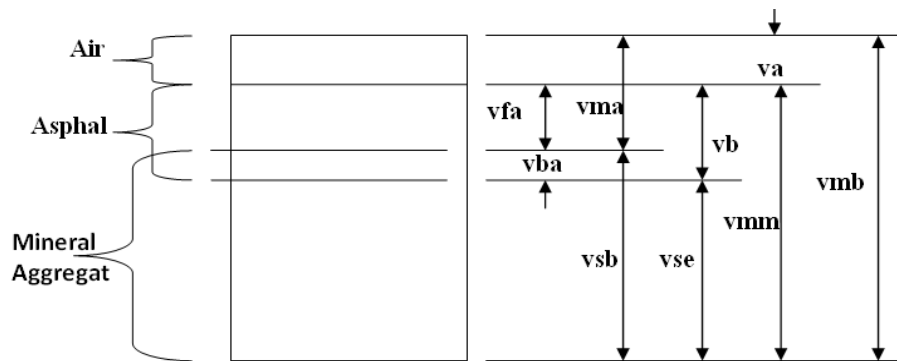
VFA = rongga terisi aspal, persen terhadap VMA (%)

VMA = rongga dalam mineral agregat, persentase terhadap volume *bulk* (%)

VIM = rongga udara dalam campuran padat, persentase terhadap total volume (%)

Nilai-nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA), *Voids in the Mix* (VIM), dan

*Voids in Mineral Aggregate* (VMA) merupakan karakteristik volumetrik dari suatu campuran aspal. Untuk mempermudah pemahaman mengenai karakteristik volumetrik dapat dilihat **Gambar 2.3** dan **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.3.** Skematis berbagai jenis volume beton aspal (Sukirman, 2003)

Keterangan:

$v_{ma}$  = Volume of voids in mineral aggregate

$v_{mb}$  = bulk volume of compacted mix

$v_{mm}$  = Voidless volume of paving mix

$v_{fa}$  = Volume of voids filled with asphalt

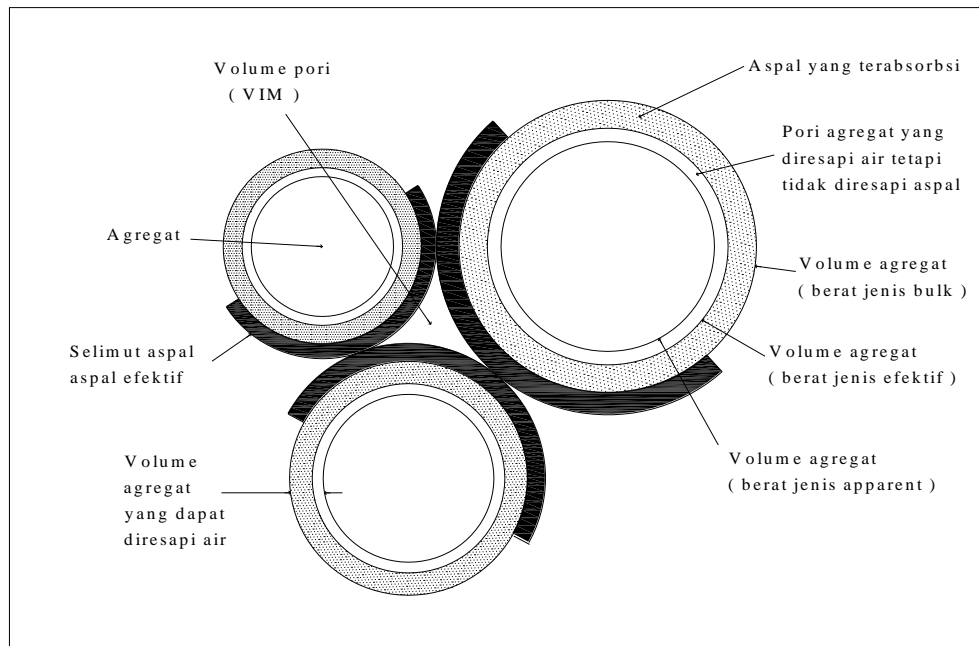
$v_a$  = Volume of air voids

$v_b$  = Volume of asphalt

$v_{ba}$  = Volume of absorbed asphalt

$v_{sb}$  = Volume of mineral aggregate (by bulk specific gravity)

$v_{se}$  = Volume of mineral aggregate (by effective specific gravity)



**Gambar 2.4.** Ilustrasi volume pori, selimut/ *film* aspal, aspal yang terabsorpsi  
(*The Asphalt Institute, 1983*)

## 2.8.2.5. Stabilitas (*Stability*) dan Kelelahan(*Flow*)

### 2.8.2.5.1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, maupun *bleeding*. Pengujian nilai stabilitas ini dilakukan untuk mendapatkan kemampuan maksimum perkerasan aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Stabilitas dalam *Marshall Test* adalah beban maksimum yang dapat didukung oleh sampel yang diuji pada suhu 60 °C dengan kecepatan pembebanan 2 inch/menit.

Nilai stabilitas terlalu tinggi mengakibatkan lapisan perkerasan menjadi kaku dan cepat retak. Besarnya stabilitas terutama dipengaruhi oleh sudut dari *internal friction* agregat dan *viskositas* aspal pada suhu 60 °C. Agregat pecahan yang *angular* pada gradasi yang sama memberikan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan agregat yang *rounded* atau *semi rounded*. Dan hal-hal yang dapat meningkatkan *viskositas* aspal juga dapat meningkatkan stabilitas (Roberts *et al.*, 1996)

Angka stabilitas benda uji didapat dari pembacaan arloji stabilitas alat tekan *Marshall*. Angka stabilitas ini masih harus dikoreksi terhadap *kalibrasi proving ring* dan angka koreksi ketebalan benda uji.

Nilai stabilitas dapat dihitung dengan Persamaan 2.31 dan Persamaan 2.32.

$$S_o = p \times \text{koreksi tebal benda uji} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$p = o \times \text{kalibrasi proving ring} \dots\dots\dots (2.32)$$

dengan:

$S_o$  = angka stabilitas (kg)

$p$  = pembacaan arloji stabilitas terkoreksi *kalibrasi proving ring*

$o$  = pembacaan arloji stabilitas (lbs)

#### 2.8.2.5.2. Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari perkerasan aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan atau dengan kata lain kelelehan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi pada awal pembebanan sampai kondisi kestabilan mulai turun. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai *flow* adalah kadar dan *viskositas* aspal, suhu saat pencampuran, gradasi agregat, dan jumlah pukulan saat pemadatan.

Suatu campuran yang mempunyai nilai *flow* yang tinggi, mengindikasikan fleksibilitas yang tinggi pula atau lebih bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan nilai *flow* yang rendah mengindikasikan bahwa campuran cenderung bersifat getas, hal ini terjadi karena campuran memiliki rongga tak terisi aspal yang tidak optimal ataupun kandungan aspal yang terlalu rendah. Nilai *flow* dapat dibaca dari pembacaan arloji kelelehan yang menunjukkan deformasi benda uji dalam satuan 0,01 mm bersamaan dengan pembacaan nilai stabilitas campuran.

#### 2.8.2.6. *Marshall Quotient* (MQ)

*Marshall Quotient* (MQ) merupakan nilai perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai kelelehan (*flow*) yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Makin tinggi nilai *Marshall Quotient*-nya, maka lapis perkerasan menjadi semakin kaku dan mengakibatkan perkerasan mudah terjadi retak-retak akibat beban lalu lintas, sebaliknya apabila nilai *Marshall Quotient*

yang terlalu rendah menunjukkan perkerasan terlalu plastis sehingga mudah terjadi deformasi jika dibebani.

Nilai dari *Marshall Quotient* (MQ) diperoleh dengan Persamaan 2.33.

$$MQ = \frac{\text{stability}}{\text{flow}} \quad (\text{kg / mm}) \dots\dots\dots ( 2.33 )$$

Dengan diperolehnya parameter-parameter yang disebut dengan *Marshall Properties*, yaitu terdiri dari kepadatan (*density*), stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), persentase rongga dalam campuran (VIM), persentase rongga terisi aspal (VFA), dan persentase rongga dalam agregat (VMA), maka kita dapat menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang akan digunakan dalam *Mix Design* atau dalam hal ini adalah proses pembuatan benda uji di laboratorium.

## **2.9. Pengujian untuk Mengevaluasi Pengaruh Air Terhadap Campuran Aspal Panas**

Potensi keawetan dari campuran aspal dapat didefinisikan sebagai ketahanan campuran terhadap kelanjutan dan pengaruh kerusakan kombinasi akibat air dan suhu (Craus *et al.*, 1981). 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.

### **2.9.1. 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  $60 \pm 1$  °C dan 30 menit di dalam air pada suhu  $25 \pm 1$  °C di bawah kondisi yang ditentukan.

Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian *Marshall* perendaman di dalam air pada suhu 60 °C selama 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (*IRS*), dan dihitung dengan Persamaan 2.34 sebagai berikut.

$$IRS = \frac{MSi}{MSs} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.34)$$

Keterangan:

IRS = Indeks Stabilitas Sisa (%)

MSs = Stabilitas *Marshall* Standar (kg)

MSi = Stabilitas *Marshall* Perendaman (kg)

### 2.9.2. Metode Pengujian Perendaman Modifikasi

Kriteria Perendaman 24 Jam (satu hari) tidak selalu menggambarkan sifat keawetan campuran setelah masa perendaman yang lebih lama ( *Craus 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. Kriteria-kriteria berikut dinilai memenuhi “indeks keawetan” yaitu:

- 1) Harus rasional dan didefinisikan secara fisik.
- 2) Harus menggambarkan kekuatan menahan dan nilainya absolut.
- 3) Harus menunjukkan potensi keawetan untuk suatu rentang yang fleksibel dari masa perendaman.
- 4) Harus dengan tepat memberikan gambaran dari perbedaan perubahan waktu perendaman dari kurva keawetan.

Dua indeks telah diperoleh yang paling memenuhi kriteria di atas.

#### a) Indeks Durabilitas pertama

Indeks durabilitas pertama didefinisikan sebagai jumlah kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan. Berdasarkan **Gambar 2.5**, indeks (r) dinyatakan seperti pada Persamaan 2.35.

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots (2.35)$$

dengan:

- r = Nilai penurunan kekuatan (%) pada Indeks Durabilitas Pertama
- S<sub>i</sub> = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t<sub>i</sub>
- S<sub>i+1</sub> = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t<sub>i+1</sub>
- t<sub>i</sub>, t<sub>i+1</sub> = Waktu pengkondisian/ perendaman (mulai dari awal proses perendaman), hari

Sebagai **contoh**, kalau pengukuran diambil setelah 0, 1, 4, 7, dan 14 hari perendaman, maka Persamaan 2.35 tersebut menjadi:

$$r = \frac{S_0 - S_1}{1} + \frac{S_1 - S_4}{3} + \frac{S_4 - S_7}{3} + \frac{S_7 - S_{14}}{7}$$

Dalam hal ini, Indeks Durabilitas pertama menunjukkan hilangnya persentase kekuatan selama pengkondisian selama satu hari. Nilai-nilai positif (r) menunjukkan berkurangnya kekuatan, sedangkan nilai negatif menunjukkan bertambahnya kekuatan. Dari Indeks Durabilitas pertama juga memungkinkan untuk menentukan Nilai absolut dari kehilangan kekuatan (R) seperti ditunjukkan pada Persamaan 2.36.

$$R = \frac{r}{100} \cdot S_0 \dots\dots\dots (2.36)$$

dengan:

- R = Nilai absolut ekuivalen kehilangan kekuatan (kPa) pada Indeks Durabilitas Pertama
- r = Nilai penurunan kekuatan (%) pada Indeks Durabilitas Pertama
- S<sub>0</sub> = Nilai absolut dari kekuatan tarik awal (kPa)

**b) Indeks Durabilitas Kedua**

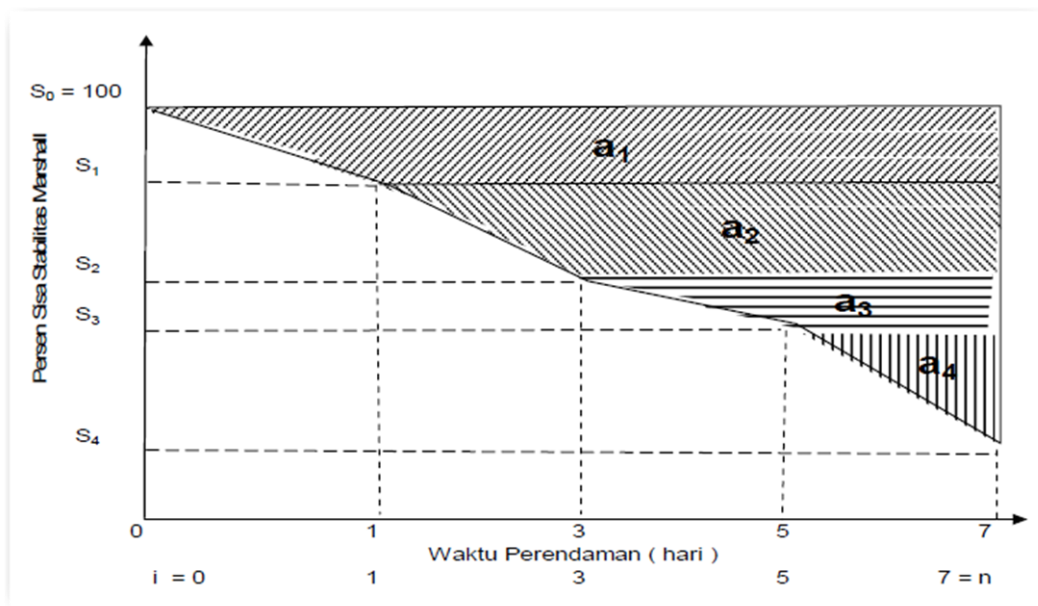
Indeks kedua didefinisikan sebagai rata-rata luasan kehilangan kekuatan yang terbentuk diantara kurva keawetan dengan garis S<sub>0</sub> = 100%. Berdasarkan **Gambar 2.5**, indeks (a) ini dinyatakan seperti pada Persamaan 2.37.

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_1 = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) \cdot [2t_n - (t_i + t_{i+1})] \dots\dots\dots (2.37)$$

dengan:

- $a$  = Nilai penurunan kekuatan (%) pada Indeks Durabilitas Kedua
- $t_n$  = Waktu pengkondisian/ perendaman ke-n (terakhir)
- $S_i$  = Persen kuat tarik yang tersisa pada waktu  $t_i$
- $S_{i+1}$  = Persen kuat tarik yang tersisa pada waktu  $t_{i+1}$
- $t_i, t_{i+1}$  = Waktu pengkondisian/ perendaman (mulai dari awal proses perendaman), hari

Di mana semua istilah yang didefinisikan pada Persamaan 2.37 tersirat pada **Gambar 2.5** berikut:



**Gambar 2.5.** Gambaran Skema kurva keawetan (Craus *et al.*, 1981)

Perlu dicatat bahwa wilayah luasan  $a_i$  ditentukan dan terbagi secara horizontal, karena tiap-tiap luasan menunjukkan kontribusi relatif dari kenaikan periode perendaman terhadap total kehilangan kekuatan. Indeks durabilitas/ keawetan kedua juga menunjukkan kehilangan kekuatan yang setara dengan satu hari. Nilai positif dari ( $a$ ) menunjukkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif menunjukkan peningkatan kekuatan (menurut definisinya  $a < 100$ ). Karena itu, memungkinkan untuk menyatakan persentase kekuatan sisa dalam satu hari ( $S_a$ ) seperti pada Persamaan 2.38 berikut:

$$S_a = 100 - a \dots \dots \dots (2.38)$$

dengan:

- $S_a$  = Persen kuat tahan yang tersisa dari Indeks Durabilitas Kedua (%)
- $a$  = Nilai penurunan kekuatan (%) pada Indeks Durabilitas Kedua

Indeks Durabilitas kedua juga memungkinkan untuk menentukan Nilai absolut ekuivalen kehilangan kekuatan ( $A$ , kPa) dan Nilai absolut ekuivalen kuat tahan sisa ( $S_A$ , kPa) seperti pada Persamaan 2.39 dan Persamaan 2.40 berikut:

$$A = \frac{a}{100} \cdot S_0 \dots \dots \dots (2.39)$$

$$S_a = S_0 - A \dots \dots \dots (2.40)$$

dengan:

$A$  = Nilai absolut ekuivalen kehilangan kekuatan (kPa) pada Indeks Durabilitas Kedua

$a$  = Nilai penurunan kekuatan (%) pada Indeks Durabilitas Kedua

$S_0$  = Nilai absolut dari kekuatan tarik awal (kPa)

$S_a$  = Nilai absolut ekuivalen kuat tahan sisa (kPa) pada Indeks Durabilitas Kedua

## 2.10. Pengujian Hipotesis dengan Analisis Regresi Linier Berganda

### 2.10.1. Definisi Regresi Linier Berganda

Lawendatu *et al.* (2014) menuliskan bahwa regresi linier berganda adalah analisis regresi yang menjelaskan hubungan antara peubah respons (*variable dependent*) dengan faktor-faktor yang mempengaruhi lebih dari satu predictor (*variable independent*). Regresi linier berganda hampir sama dengan regresi linier sederhana, hanya saja pada regresi linier berganda variabel penduga (variabel bebas) lebih dari satu variabel penduga. Tujuan analisis regresi linier berganda adalah untuk mengukur intensitas hubungan antara dua variabel atau lebih dan memuat prediksi/perkiraan nilai  $Y$  atas nilai  $X$ . Bentuk persamaan regresi linier berganda yang mencakup dua atau lebih variable (hasil dari pengamatan sampel) terdapat pada Persamaan 2.41, yaitu:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \dots \dots \dots (2.41)$$

dimana:

$Y$  = Variabel tak bebas

$X$  = Variabel bebas

$b_0, b_1, \dots, b_k$  = koefisien regresi, merupakan arah garis regresi dan menunjukkan besarnya perubahan variabel bebas yang mengakibatkan perubahan pada variabel tak bebas.

### 2.10.2. Koefisien Determinasi

Menurut Ahmad (2007), koefisien determinasi yang dinyatakan dengan  $R^2$  untuk pengujian regresi linier berganda yang mencakup lebih dari dua variabel adalah untuk mengetahui proporsi keragaman total dalam variabel tak bebas (Y) yang dapat dijelaskan atau diterangkan oleh variabel-variabel bebas (X) yang ada di dalam model persamaan regresi linier berganda secara bersama-sama. Maka  $R^2$  akan ditentukan dengan Persamaan 2.42 sampai dengan Persamaan 2.45, yaitu:

$$R^2 = \frac{SSR}{SS_{tot}} \dots\dots\dots (2.42)$$

$$SS_{tot} = SSR + SSE \dots\dots\dots (2.43)$$

$$SSR = \sum_1^n (Y_i' - \bar{Y})^2 \dots\dots\dots (2.44)$$

$$SSE = \sum_1^n (Y_i - Y_i')^2 \dots\dots\dots (2.45)$$

dengan:

- $R^2$  = koefisien determinasi
- SSR = *Sum of Squares due to Regression*
- SSE = *Sum of Squares Error*
- SS<sub>tot</sub> = *Sum of Squares total*
- $Y_i$  = variabel tak bebas data ke-i
- $Y_i'$  = variabel tak bebas data ke-i prediksi
- $\bar{Y}$  = rata-rata dari variabel tak bebas "Y"

### 2.10.3. Koefisien Korelasi (Antar Dua Variable)

Dalam kehidupan, kadang kita dihadapkan pada situasi dimana harus mencari hubungan antara beberapa variabel yang kita amati. Misalkan bagaimana hubungan antara jumlah produksi kelapa sawit dengan curah hujan. Untuk melihat hubungan tersebut kita dapat menggunakan Annalisa korelasi.

Korelasi merupakan istilah yang digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antar variabel. Annalisa korelasi adalah cara untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan antar variabel misalnya hubungan dua variabel. Apabila terdapat hubungan antara variabel maka perubahan-perubahan yang terjadi pada salah satu variabel akan mengakibatkan terjadinya perubahan variabel lainnya. Jadi, dari analisis korelasi dapat diketahui hubungan antara variabel tersebut.

Korelasi yang terjadi antara dua variabel dapat berupa korelasi positif, korelasi negative, tidak ada korelasi, ataupun korelasi sempurna (Ismiyati, 2011).

a) Korelasi Positif

Korelasi positif adalah korelasi dua variabel, dimana apabila variabel bebas X meningkat maka variabel tak bebas Y cenderung meningkat pula. Hasil perhitungan korelasi mendekati +1 atau sama dengan +1.

b) Korelasi Negatif

Korelasi negative adalah korelasi dua variabel, dimana apabila variabel bebas X meningkat maka variabel tak bebas Y cenderung menurun. Hasil perhitungan korelasi mendekati -1 atau mendekati -1.

c) Tidak Ada Korelasi

Tidak adanya korelasi terjadi apabila variabel bebas X dan variabel tak bebas Y tidak menunjukkan adanya hubungan. Hasil perhitungan korelasi mendekati 0 (nol) atau sama dengan 0 (nol).

d) Korelasi Sempurna

Korelasi sempurna adalah korelasi dua variabel dimana kenaikan atau penurunan harga variabel X berbanding dengan kenaikan atau penurunan harga variabel tak bebas Y.

Untuk mengukur kuat tidaknya antara variabel bebas dan tak bebas, ditinjau dari besar kecilnya nilai koefisien korelasi (R). Makin besar nilai R maka makin kuat hubungannya dan jika R makin lemah hubungannya (Ismiyati, 2011). Nilai R yaitu:

- a. **-1,00 ≤ R ≤ - 0,80** berarti korelasi kuat
- b. **-0,79 ≤ R ≤ - 0,50** berarti korelasi sedang
- c. **-0,49 ≤ R ≤ 0,49** berarti korelasi lemah
- d. **0,50 ≤ R ≤ 0,79** berarti korelasi sedang
- e. **0,80 ≤ R ≤ 1,00** berarti korelasi kuat

Adapun nilai R adalah seperti Persamaan 2.46 berikut:

$$R = \sqrt{R^2} \dots \dots \dots (2.46)$$

dengan:  
 $R^2$  = koefisien determinasi

R = koefisien korelasi/ hubungan antar dua variabel

**2.10.4. Uji Regresi Linier Ganda**

Uji regresi linier ganda perlu dilakukan karena untuk mengetahui apakah sekelompok variabel bebas secara bersamaan mempunyai pengaruh terhadap variabel tak bebas. Pada dasarnya pengujian hipotesis tentang parameter koefisien regresi secara keseluruhan atau pengujian persamaan regresi dengan menggunakan statistik F atau “**Uji F**” yang dirumuskan dengan Persamaan 2.47 sampai dengan Persamaan 2.49 berikut:

$$F = \frac{MSR}{MSE} \dots\dots\dots (2.47)$$

$$MSR = \frac{SSR}{k} \dots\dots\dots (2.48)$$

$$MSE = \frac{SSE}{\{n - (k + 1)\}} \dots\dots\dots (2.49)$$

dengan:

- F = Uji persamaan regresi dengan menggunakan statistik F (hitung)
- MSR = *Mean Squares due to Regression*
- MSE = *Mean Squares Error*
- SSR = *Sum of Squares due to Regression*
- SSE = *Sum of Squares Error*
- k = Banyak variabel bebas
- n = Banyak data

Uji hipotesis statistik F atau “**Uji F**” satu arah atau satu ekor (*one tail*) dirumuskan dengan Persamaan 2.50 sampai dengan Persamaan 2.52 berikut :

$$F > F_{\alpha, v1, v2} \dots\dots\dots (2.50)$$

$$v_1 = k \dots\dots\dots (2.51)$$

$$v_2 = n - (k + 1) \dots\dots\dots (2.52)$$

dengan:

- $F_{\alpha}$  = Uji persamaan regresi dengan menggunakan statistik F dengan selang kepercayaan/ tingkat signifikansi  $\alpha$  (tabel)
- $v_1$  = derajat kebebasan (pada tabel distribusi F disebut pembilang)
- $v_2$  = derajat kebebasan (pada tabel distribusi F disebut penyebut)
- k = Banyak variabel bebas
- n = Banyak data

**2.10.5. Testing Individual Koefisien**

Untuk masing-masing koefisien atau variable bebas dapat dilakukan test hipotesis “Uji t” seperti pada Persamaan 2.53 berikut:

$$t = \frac{b_k - 0}{Sb_k} \dots\dots\dots (2.53)$$

dengan:

t = Uji distribusi menurut student-t

$b_k$  = Koefisien regresi

$Sb_k$  = *Standard error* dari koefisien  $b_k$

Variabel (t) ini terdistribusi menurut student-t dengan derajat kebebasan  $v=n-(k+1)$ . Dengan  $Sb_k$  adalah standard error dari koefisien  $b_k$ . Perhitungan  $Sb_k$  secara manual rumit, melibatkan elemen diagonal dari matrix variansi-kovariansi, oleh karena itu dianjurkan dengan menggunakan program *Function “=LINEST(....)”* pada Ms. Excel atau program pengolah data statistik seperti SPSS. Interval kepercayaan  $100(1-\alpha)\%$  bagi koefisien  $\beta_k$  adalah seperti pada Persamaan 2.54 berikut:

$$b_k - t_{\alpha/2} Sb_k < b < b_k + t_{\alpha/2} Sb_k \dots\dots\dots (2.54)$$

dengan:

$b_k$  = Koefisien regresi

$t_{\alpha/2}$  = Uji distribusi menurut student-t dengan selang kepercayaan/ tingkat signifikansi  $\alpha$

$Sb_k$  = *Standard error* dari koefisien  $b_k$

b = Koefisien regresi

### 2.11. Penelitian Terdahulu

Prabowo (2003) melakukan penelitian dengan uji laboratorium tentang pengaruh air rob terhadap kualitas campuran beraspal panas dengan jenis campuran Lataston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheet Wearing Course/HRS – WC*) yang mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Tahun 2001. Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi kadar keasaman air rob yang diambil dari tempat yang berbeda dan variasi waktu lamanya rendaman, (24 – 168 jam atau selama seminggu). Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi tingkat keasaman air yang merendam (air rob khususnya), stabilitas campuran HRS – WC semakin menurun, dengan kata lain semakin cepat rusak atau keawetan (durabilitas

berkurang). Begitu juga dengan lamanya rendaman, semakin lama terendam dalam air rob, maka campuran HRS - WC akan semakin cepat rusak. Dari penelitian ini diberikan saran untuk dilakukan penelitian uji permeabilitas, penggunaan campuran dengan gradasi rapat (Laston) dengan aspal polimer yang memiliki daya lengket lebih tinggi.

Syukri (1999) dalam penelitiannya yang berjudul “*Effect of Salt Water Immersion on The Durability of A Hot Rolled Sheet Mix*”, melakukan penelitian pengaruh perendaman dalam air biasa dan air yang mengandung 5%, 7,5% dan 10% garam terhadap sifat-sifat mekanik dari campuran HRS kelas A. Campuran yang digunakan dengan campuran pada kadar aspal optimum dan direndam selama 10, 20 dan 30 hari untuk kemudian diuji dengan alat *Marshall, indirect tensile strength* dan *wheel tracking*. Hasilnya menunjukkan bahwa campuran memenuhi standar konvensional Bina Marga terhadap kehilangan stabilitas (>25%) dan standar tersebut juga memenuhi bagi benda uji yang direndam selama 30 hari baik pada air biasa maupun air garam. Benda uji yang direndam dalam air biasa menunjukkan suatu penurunan tahap demi tahap terhadap kekuatan seiring pertambahan waktu perendaman, sedangkan benda uji yang direndam dalam air garam mengalami peningkatan awal terhadap kekuatan dan kemudian menunjukkan suatu kehilangan kekuatan yang berarti ketika waktu perendaman diperpanjang menjadi 30 hari. Deformasi dengan pengujian *wheel tracking* meningkat dengan meningkatnya waktu perendaman. Kesimpulan yang didapatkan bahwa kehilangan kekuatan yang berarti ditunjukkan oleh benda uji yang direndam dalam air biasa dan kadar garam kelihatannya mempunyai sedikit pengaruh terhadap kehilangan kekuatan.

Riyaadi (2011) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Air Rob terhadap Karakteristik Campuran Laston Modifikasi untuk Lapis Permukaan (ACWC – *Modified*)”, melakukan penelitian dengan dua metode perendaman, yaitu perendaman menerus (*continuous*) dan berkala (*intermittent*). Perendaman menerus dilakukan dengan merendam benda uji dalam air rob dengan variasi waktu 6 jam; 12 jam; 24 jam; 48 jam; dan 72 jam. Sedangkan perendaman berkala dilakukan dengan merendam benda uji selama 12 jam, kemudian diangkat selama 12 jam berikutnya, dan begitu seterusnya selama siklus 3 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

terdapat pengaruh akibat perendaman dalam air rob, baik pada perendaman menerus maupun berkala. Secara keseluruhan, semakin lama campuran aspal baik non polimer maupun polimer terendam dalam air rob, akan berpengaruh pada peningkatan nilai VIM, VMA dan kelelahan, sedangkan pada stabilitas dan MQ akan mengalami penurunan. Akibatnya campuran aspal baik polimer maupun non polimer akan mengalami kehilangan durabilitas atau keawetan dengan bertambahnya waktu perendaman dalam air rob.

Kurniawan (2013) dengan penelitian berjudul “Pengaruh Penambahan Karet Pada Aspal Beton yang Terendam Air Laut”, dalam penelitiannya ditinjau pengaruh penambahan karet sol pada aspal beton yang terendam air laut terhadap karakteristik *Marshall* seperti *density*, *void filled with asphalt* (VFWA), *void in the mix* (VITM), stabilitas, *flow*, dan *Marshall quotient* (QM). Penelitian ini menggunakan metode *Marshall* yang digunakan pada beberapa variasi perbandingan benda uji yang masing-masing dibuat ganda. Variasi kadar karet sol adalah 0%; 6%; 8%, dan 10% dengan variasi lama perendaman 0 sampai 7 hari. Dari hasil penelitian diperoleh hasil bahwa semakin lama campuran aspal beton direndam dalam air laut, karakteristik *Marshall* untuk *density*, VFWA, stabilitas dan QM cenderung menurun, sedangkan VITM dan *flow* meningkat. Dengan penambahan karet sol nilai karakteristik *Marshall* untuk *density*, VFWA, stabilitas dan QM cenderung menurun dibandingkan tanpa penambahan karet sol, sedangkan nilai VITM, dan *flow* cenderung meningkat. Berdasarkan spesifikasi SKBI-2.4.26.1987, pada campuran Aspal beton dengan kadar aspal konstan 5,5%, didapat kadar karet sol optimum sebesar 10%. Campuran ini apabila terendam air laut hanya mampu bertahan hingga 4 hari.

Penelitian dengan judul “Kinerja Durabilitas Campuran Beton Aspal Ditinjau dari Faktor Variasi Suhu Pematatan dan Lama Perendaman” yang dilakukan oleh Tahir dan Setiawan (2009), menunjukkan bahwa durabilitas campuran beton aspal masih memenuhi persyaratan bina marga yaitu nilai IKS lebih besar 75%. Durabilitas tertinggi dicapai pada suhu pematatan 120 °C dengan lama rendaman satu hari. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) menurun dengan meningkatnya durasi rendaman. Indeks Durabilitas Pertama (IDP) umumnya mengalami kehilangan kekuatan, kecuali pada

rendaman 4 hari mengalami peningkatan kekuatan. Indeks Penurunan Stabilitas tertinggi terjadi pada suhu pemadatan 120 °C. Indeks Durabilitas Kedua (IDK) pada berbagai suhu pemadatan dan variasi rendaman umumnya mengalami kehilangan kekuatan kecuali pada variasi rendaman 4 hari justru terjadi penambahan kekuatan sebesar 3.4% atau naik sekitar 56,57 Kg.

Zachraini (2012) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Perendaman Terhadap Karakteristik Aspal Porus yang Menggunakan *Liquid* Asbuton Sebagai Bahan Pengikat” menghasilkan bahwa perendaman air laut menggunakan variasi suhu dan lama perendaman memberikan pengaruh terhadap nilai kuat tarik pada aspal porus. Dari hasil pengujian ITS test yang dilakukan menunjukkan bahwa variasi suhu dan lama rendaman air laut menunjukkan pengaruh terhadap karakteristik aspal porus. Semakin lama benda uji direndam dan semakin besar suhu yang diberikan, maka semakin kecil nilai kuat tarik tidak langsungnya. Nilai kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) yang diperoleh untuk perendaman air laut pada suhu ruang 25 °C selama 0,5 jam, 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam adalah 0,1113 MPa, 0,1041 MPa, 0,0954 MPa, 0,0830 MPa dan 0,0707 Mpa sedangkan untuk perendaman dengan air laut pada suhu 60 °C selama 0,5 jam, 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam adalah 0,1013 MPa, 0,0831 MPa, 0,0609 MPa, 0,0370 MPa, dan 0,0117 MPa.

Djalante (2011) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Ketahanan Beton Aspal (Ac-Bc) yang Menggunakan Asbuton Butir Tipe 5/20 terhadap Air Laut Ditinjau dari Karakteristik Mekanis dan Durabilitasnya”, berdasarkan hasil uji *Marshall*, penggunaan asbuton butir dapat mengurangi penggunaan aspal dalam campuran, dimana campuran non asbuton butir mempunyai kadar aspal sebesar 6,12%, 50% asbuton butir mempunyai kadar aspal sebesar 4,73% dan asbuton butir 100% mempunyai kadar aspal sebesar 3,81%. Campuran dengan menggunakan asbuton butir memiliki nilai stabilitas yang lebih baik dalam perendaman dengan menggunakan air laut dengan derajat keasaman yang berada dalam batas yang disyaratkan sebesar 8,1 mg/l. Keawetan (durabilitas) campuran dengan asbuton butir terhadap pengaruh air laut untuk periode 24 jam, 72 jam dan 120 jam cukup baik dibandingkan campuran non asbuton butir. Hal ini ditunjukkan masih memenuhi

syarat minimum dari Departemen Pekerjaan Umum (2007) dan *Asphalt Institute MS-2* (1983) dengan batas minimal 80% dan 75%. Asbuton butir dapat digunakan pada jalan-jalan yang dekat dengan pengaruh air laut, karena di samping kadar aspal optimum yang digunakan kecil, juga memiliki sifat durabilitas/ keawetan yang cukup lama, yaitu selama 3 hari.

Dalam penelitian Mitri (2010) dengan judul "Pengaruh Penambahan *Styrofoam* pada Beton Aspal yang Terendam Air Laut", pada penelitian ini ditinjau pengaruh penambahan *Styrofoam* pada beton aspal yang terendam air laut terhadap karakteristik *Marshall* seperti *density*, *void filled with asphalt* (VFWA), *void in the mix* (VITM), stabilitas, *flow*, dan *Marshall quotient* (QM). Penelitian ini menggunakan metode *Marshall* yang digunakan pada beberapa variasi perbandingan benda uji yang masing-masing dibuat ganda. Variasi kadar *Styrofoam* adalah 0%; 0,01%; 0,015%, dan 0,02% dengan variasi lama perendaman 1 sampai 7 hari. Dari hasil penelitian diperoleh hasil bahwa semakin lama campuran beton aspal direndam dalam air laut, karakteristik *Marshall* untuk *density*, VFWA, stabilitas dan QM cenderung menurun, sedangkan VITM dan *flow* meningkat. Dengan penambahan *Styrofoam* nilai karakteristik *Marshall* untuk *density*, VFWA, stabilitas dan QM semakin meningkat dibandingkan tanpa penambahan *Styrofoam*, sedangkan nilai VITM, dan *flow* cenderung menurun. Berdasarkan spesifikasi SKBI-2.4.26.1987, didapatkan kadar aspal dengan penambahan *Styrofoam* optimum yang mampu menahan kerusakan akibat air laut selama 3 hari yaitu kadar aspal 5% dengan *Styrofoam* 0,01%.

Dalam penelitian Sutarno (2004) dengan judul "Pengaruh Perendaman Air dan Air Garam terhadap Keawetan Campuran *Asphaltic Concrete - Wearing Course* (Ac-Wc) *Multi grade*", Pengujian yang dilakukan pada jenis perkerasan *Asphaltic Concrete Wearing Course* (AC-WC) *Multi grade* ini adalah dengan *Marshall Test*, *Indirect Tensile Strength Test*, dan *Wheel Tracking Test*, untuk contoh sampel yang direndam dan tanpa perendaman air dan air garam. Perendaman dilakukan untuk waktu 1,2,3, dan 4 hari baik di dalam air maupun air garam sebagai antisipasi adanya genangan air sungai dan air laut selama 1 sampai dengan 4 hari pada jalur pantura. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian setelah perendaman terjadi

penurunan, semakin lama waktu perendaman, sifat-sifat fisik seperti: Stabilitas *Marshall* dan Stabilitas Dinamis semakin menurun, Kelelahan *Marshall* dan Laju Deformasi semakin meningkat secara konstan, hingga pada masa perendaman 4 hari penurunan dan kenaikan dari parameter-parameter fisik, sisa stabilitas menurun hingga 74% dan *flow* meningkat hingga 127%, yang pada akhirnya akan menurunkan umur pelayanan jalan yang setara dengan penurunan sifat fisiknya.

Perdana (2013) dalam penelitiannya dengan judul “Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang (Rob) Terhadap Kinerja Laston (AC-WC) dengan Aspal Polimer Starbit E-55 Berdasarkan Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS)”, dilakukan untuk mengetahui pengaruh karakteristik unsur-unsur yang terkandung di dalam air rob (kadar Klorida, Sulfat, Alkalinitas, pH, warna dan bau) terhadap kinerja campuran perkerasan Laston Lapis Aus (AC-WC) dengan menggunakan Aspal Polimer Starbit E-55 sebagai alternatif solusi untuk meningkatkan mutu dan durabilitas perkerasan. Untuk itu dibuat sampel benda uji AC-WC dengan aspal polimer Starbit E-55 dengan menggunakan material yang berasal dari AMP (*Aphalt Mixing Plant*) PT. Adhi Karya Divisi Konstruksi Wilayah III Semarang (Mangkang) yang semuanya sudah melewati pengujian dan memenuhi Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2010 Revisi 2 (2012). Untuk pengambilan sampel air rob dilakukan di daerah PRPP, Tanjung Mas, Terboyo, dan air Laboratorium Transportasi sebagai standar pembanding. Perendaman dilakukan dengan variasi waktu rendaman yaitu ½ hari, 1 hari, 3 hari, 5 hari, dan 7 hari, dimana pada masing-masing durasi waktu tersebut dilakukan pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) yang dihasilkan parameter kekuatan tarik (St), *Tensile Strength Ratio* (TSR), persentase penurunan kekuatan pada Indeks Durabilitas Pertama (r), persentase penurunan kekuatan pada Indeks Durabilitas Kedua (a), dan persentase kuat tahan yang tersisa pada Indeks Durabilitas Kedua (Sa). Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai “St” dan “TSR”, serta menyebabkan nilai “r” dan “a” semakin tinggi, dan juga berimbas pada turunnya nilai “Sa”, hal ini disebabkan semakin lama campuran perkerasan terendam air, membuat kerapatan (kohesi aspal maupun adhesi aspal-agregat) campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan daya ikat aspal

terhadap agregat menjadi turun. Dari hasil Pengujian Hipotesis (Uji “F” dan Uji “t”) diperoleh hasil bahwa kandungan kimia di dalam air rob berpengaruh merusak dan mengurangi kekuatan atau daya tahan campuran perkerasan, terutama kandungan  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ . Air rob PRPP, yang paling tinggi kandungan Klorida ( $\text{Cl}^-$ ) dan Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )-nya didapat nilai “St”, “TSR”, “r”, “a”, dan “Sa” yang paling buruk. Dari hasil komparasi/perbandingan kinerja campuran perkerasan antara penelitian sebelumnya yang menggunakan aspal Pertamina penetrasi 60/70 dengan penelitian ini yang menggunakan aspal Polimer Starbit E-55, diperoleh hasil bahwa penggunaan aspal Polimer Starbit E-55 memiliki ketahanan kekuatan yang lebih baik atau lebih awet.

Hingga saat ini belum pernah dilakukan penelitian mengenai pengaruh rendaman air rob, dan air dengan konsentrasi klorida ( $\text{Cl}^-$ ) 5.000 mg/L, 15.000 mg/L, dan 25.000 mg/L pada campuran Lataston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheet Wearing Course/HRS-WC*) dengan durasi perendaman 6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam, dan 72 jam, dan metode perendaman terdiri dari perendaman dengan pola menerus (*continuous*) dan perendaman dengan pola berkala/ siklik (*intermittent*). Untuk itu dilakukan penelitian dengan uji laboratorium tentang pengaruh genangan air atau banjir rob terhadap karakteristik campuran beraspal.



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Tipe Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Hakikat penelitian eksperimen (*experimental research*) adalah meneliti pengaruh perlakuan terhadap perilaku yang timbul sebagai akibat perlakuan (Alsa, 2004). Menurut Hadi (1985) penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui akibat yang ditimbulkan dari suatu perlakuan yang diberikan secara sengaja oleh peneliti. Sejalan dengan hal tersebut, Latipun (2002) mengemukakan bahwa penelitian eksperimen merupakan penelitian yang dilakukan dengan melakukan manipulasi yang bertujuan untuk mengetahui akibat manipulasi terhadap perilaku individu yang diamati. Penelitian eksperimen pada prinsipnya dapat didefinisikan sebagai metode sistematis guna membangun hubungan yang mengandung fenomena sebab akibat (*causal-effect relationship*) (Sukardi, 2011).

Selanjutnya, metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan (Sugiyono, 2011). Berdasarkan definisi dari beberapa ahli tersebut, dapat dipahami bahwa penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian suatu *treatment* atau perlakuan terhadap subjek penelitian.

Menurut Sukardi (2011), penelitian eksperimen dalam bidang pendidikan dibedakan menjadi dua yaitu penelitian di dalam laboratorium dan di luar laboratorium. Dalam penelitian ini, eksperimen dilakukan di laboratorium dengan memberikan perlakuan berupa perendaman terhadap campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC). Campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) direndam dalam air standar laboratorium, air rob, dan air dengan kandungan klorida (Cl<sup>-</sup>) yang berbeda-beda. Durasi perendaman 6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam, dan 72 jam, dan metode perendaman terdiri dari perendaman dengan pola menerus (*continuous*) dan perendaman dengan pola berkala/ siklik (*intermittent*).

### 3.2. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan selama lima bulan (mulai dari bulan Juni hingga Oktober 2014). Sampling air banjir rob dilakukan di Kawasan Genangan Banjir Rob di Kawasan Jalan Ronggowarsito, Pelabuhan Tanjung Emas, Kawasan Terboyo Kota Semarang Jawa Tengah. Analisis hasil sampling dilakukan di Laboratorium Penelitian Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Sementara untuk pembuatan sampel campuran aspal dan pengujian *Marshall* dilakukan di Laboratorium Transportasi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

### 3.3. Bahan dan Peralatan Penelitian

#### 3.3.1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain;

- a) Air banjir rob yang digunakan berasal dari banjir rob yang terjadi di sekitar Genangan Banjir Rob di Kawasan Jalan Ronggowarsito, Pelabuhan Tanjung Emas, Kawasan Terboyo Kota Semarang Jawa Tengah. Sebagai pembanding adalah air laboratorium.
- b) Agregat kasar, halus, *filler* diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) di AMP (*Aphalt Mixing Plant*) PT. Adhi Karya Divisi Konstruksi Wilayah III Semarang (Mangkang).
- c) Bahan aspal menggunakan aspal Pertamina dengan Penetrasi 60/70.

#### 3.3.2. Peralatan Penelitian

- a) Alat penguji agregat dan *filler*

Alat yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain, mesin *Los Angeles* (tes abrasi), saringan standar (penyusunan gradasi agregat), alat pengering (*oven*), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), bak perendaman dan tabung *Sand Equivalent*.

- b) Alat penguji aspal

Alat yang digunakan untuk pengujian aspal antara lain; alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), dan alat uji kelarutan.

- c) Alat pengujian campuran metode *Marshall*

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi;

- 1) Alat tekan *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000 kg ( 6000 lbs ) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flow meter*).
- 2) Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 inci) dengan tinggi 7,5 cm (3 inci) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,24 cm (6 inci) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasi dan dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
- 3) Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3,86 inci), berat 4,5 kg (10 lbs), dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inci) untuk *Marshall* standar.
- 4) *Ejektor* untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- 5) Bak perendaman (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.
- 6) Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaus tangan anti panas, sarung tangan karet, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji.

### **3.4. Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian**

Bagan alir penelitian berupa tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan selama penelitian ini dijelaskan pada **Gambar 3.1**.



Penjelasan bagan alir penelitian:

Tahap awal yang dilakukan adalah melakukan studi pustaka serta mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan. Kemudian tahap selanjutnya adalah pemeriksaan kandungan air rob. Sampel air rob diambil dari banjir rob yang terjadi di sekitar Kawasan Jalan Ronggowarsito, Pelabuhan Tanjung Emas, Kawasan Terboyo Kota Semarang Jawa Tengah. Pemeriksaan sesuai dengan standar dari Laboratorium Penelitian Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Kandungan air rob yang dicari pada penelitian ini adalah derajat keasamannya (pH) sesuai dengan SNI 06-6989.11-2004, kadar klorida sesuai dengan SNI 06-6989.19-2004 dan Persamaan 2.1, sulfat sesuai dengan SNI 06-6989.20-2004 dan Persamaan 2.2, dan alkalinitas berdasarkan SNI 06-2422-1991 dan Persamaan 2.5.

Pemeriksaan material campuran aspal dilakukan untuk memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Semua pengujian sesuai dengan standar pengujian bahan modul praktikum perkerasan jalan Laboratorium Transportasi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang mengacu kepada *American Society for Testing Material* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pemeriksaan agregat baik agregat kasar maupun agregat halus meliputi:

- a. Berat Jenis Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008 dan Persamaan 2.6 sampai dengan Persamaan 2.8) dan Penyerapan Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008 dan Persamaan 2.13).
- b. Tingkat Keausan atau Abrasi Agregat Kasar (berdasarkan SNI 2417:2008 dan Persamaan 2.12).
- c. Partikel Pipih dan Lonjong (berdasarkan ASTM D 4791-95 dan Persamaan 2.15).
- d. Daya Lekat Agregat terhadap Aspal (berdasarkan SNI-06-2439-1991).
- e. *Soundness* atau Uji Sifat Kekekalan Bentuk agregat (berdasarkan SNI 3407:2008 dan Persamaan 2.16).
- f. Berat Jenis Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:2008 dan Persamaan 2.9 sampai dengan Persamaan 2.11) dan Penyerapan Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:2008 dan Persamaan 2.14).

g. Kadar Lumpur/ *Sand Equivalent Test* (berdasarkan SNI 3423 : 2008 dan Persamaan 2.17).

h. Analisis Butiran (berdasarkan SNI-M-02-1994-03 dan **Tabel 2.4**).

Untuk pengujian bahan bitumen atau aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal keras pen 60/70. Pemeriksaan sifat fisik aspal yang dilakukan antara lain:

a. Pemeriksaan penetrasi aspal (berdasarkan SNI 06-2456-1991 dan Persamaan 2.18).

b. Pemeriksaan titik lembek (berdasarkan SNI 06-2434-1991).

c. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar (berdasarkan SNI 06-2433-1991).

d. Pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal (berdasarkan SNI 06-2240-1991 dan Persamaan 2.19).

e. Pemeriksaan kelarutan aspal dalam karbon tetraklorida/  $\text{CCl}_4$  (berdasarkan ASTM D5546 dan Persamaan 2.20).

f. Pemeriksaan daktilitas (berdasarkan SNI 06-2432-1991).

g. Pemeriksaan berat jenis bitumen (berdasarkan SNI 06-2441-1991 dan Persamaan 2.21).

h. Penetrasi setelah RTFOT (berdasarkan SNI 06-2456-1991 dan Persamaan 2.18).

Setelah dilakukan semua pengujian material pembentuk campuran aspal yaitu aspal (aspal pen 60/70) dan agregat, serta material tersebut memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan, langkah selanjutnya adalah merancang dan membuat sampel yang digunakan untuk penelitian dengan metode *Marshall*. Pengujian standar terhadap benda uji untuk *Marshall* sesuai dengan prosedur yang ditentukan dalam SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-76). Perancangan dan pembuatan benda uji atau campuran aspal berdasarkan variasi kadar aspal. Variasi kadar aspal tersebut didapatkan dengan menggunakan Persamaan 2.22. Berdasarkan perhitungan dengan persamaan tersebut didapatkan  $P_b$  (kadar aspal tengah/ ideal). Kadar aspal yang digunakan sebagai sampel adalah  $P_b - 1\%$ ,  $P_b - 0,5\%$ ,  $P_b\%$ ,  $P_b + 0,5\%$ , dan  $P_b + 1\%$  masing-masing menggunakan 3 sampel, penjelasan rinci pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3.1** Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

<b>Kadar Aspal</b>	<b>Jumlah Benda Uji</b>
Pb - 1%	3
Pb - 0,5%	3
Pb%	3
Pb + 0,5%	3
Pb + 1%	3
<b>Total</b>	15 sampel benda uji

Setelah didapat komposisi campuran aspal, kemudian dibuat sampel benda uji. Temperatur pencampuran bahan aspal dengan agregat adalah temperatur pada saat aspal mempunyai *viskositas* kinematik sebesar  $170 \pm 20$  centistokes, dan temperatur pemadatan adalah temperatur pada saat aspal mempunyai nilai *viskositas* kinematik sebesar  $280 \pm 30$  centistokes. Karena tidak diadakan pengujian *viskositas* kinematik aspal maka secara umum ditentukan suhu pencampuran berkisar antara  $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $155\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sedangkan suhu pemadatan antara  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan Prabowo (2003) dan Riyadi (2011).

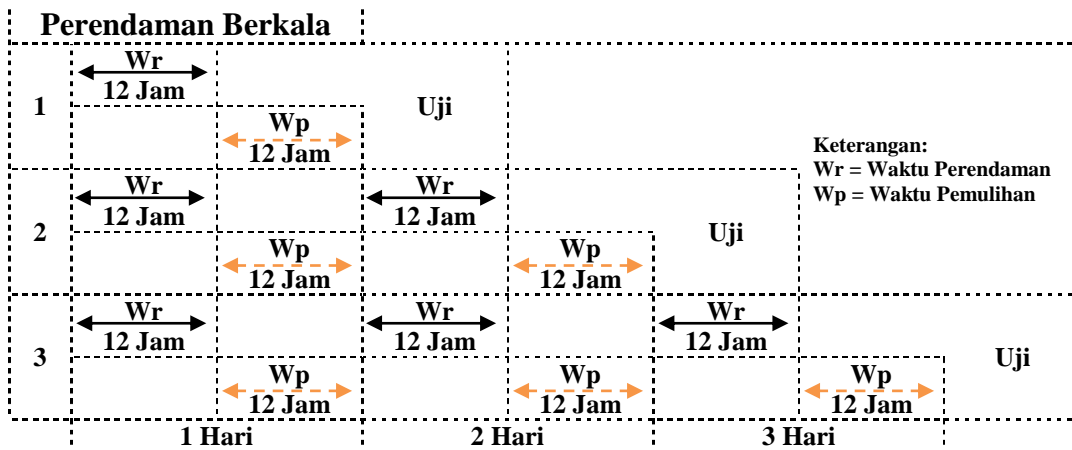
Pemadatan untuk kondisi lalu lintas berat, dilakukan penumbukan sebanyak 2 x 75 kali, dengan menggunakan alat *Marshall Compaction Hammer*. Benda uji setelah dipadatkan, disimpan pada temperatur ruang selama 24 jam, kemudian diukur tinggi dan timbang berat dalam kondisi kering. Benda uji direndam selama 24 jam dalam air, kemudian ditimbang berat dalam air dan dalam kondisi jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*) untuk mendapatkan data volumetrik aspal (kepadatan, VIM, VMA, dan VFA). Sampel kemudian direndam dalam *water bath* pada temperature  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit, setelah itu diuji dengan alat *Marshall* untuk didapatkan data empiris (stabilitas, kelelahan dan *Marshall Quotient*). Nilai-nilai volumetrik dan empiris campuran aspal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.23 hingga Persamaan 2.33. Setelah didapatkan data hasil uji *Marshall* berupa stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient*, kemudian dianalisis untuk mendapatkan komposisi campuran aspal ideal. Campuran aspal ideal tersebut direndam dalam air standar laboratorium, air rob, air dengan konsentrasi klorida (Cl) yang telah dikondisikan (5.000 mg/l Cl, 15.000 mg/l Cl, dan 25.000 mg/l Cl) untuk dapat memberikan gambaran sejauh mana lamanya rendaman

mempengaruhi karakteristik campuran aspal. Pembuatan larutan klorida (Cl<sup>-</sup>) berdasarkan SNI 06-6989. 19-2004.

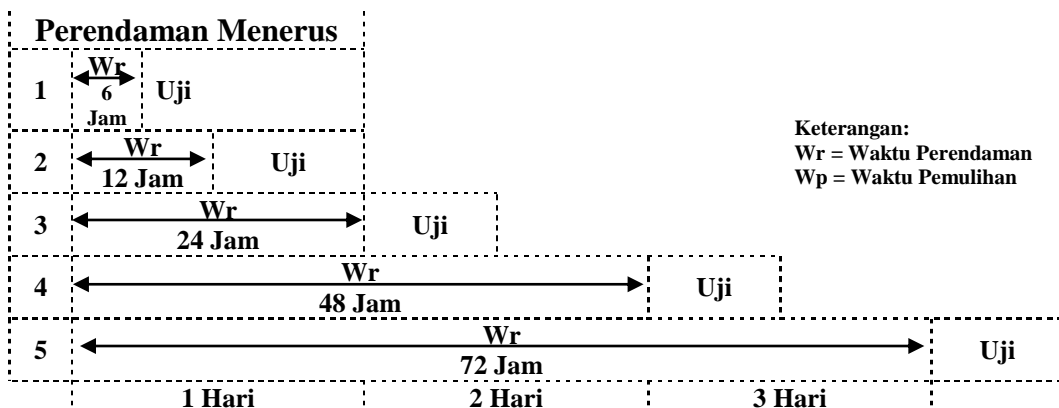
Perendaman dilakukan dengan perendaman menerus (*continuous*) dan berkala atau terputus-putus (*intermittent*). Perendaman menerus dilakukan selama 6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Masing-masing waktu perendaman dibutuhkan 3 sampel benda uji. Sedangkan untuk perendaman berkala, dilakukan perendaman selama 12 jam, kemudian didiamkan selama 12 jam (waktu pemulihan yaitu dengan membiarkan sampel berada di suhu ruang tanpa terendam), kemudian dilakukan pengujian untuk siklus 24 jam atau satu hari. Selanjutnya untuk sampel yang lain dilakukan perendaman kembali selama 12 jam, kemudian didiamkan selama 12 jam (waktu pemulihan yaitu dengan membiarkan sampel berada di suhu ruang tanpa terendam), kemudian dilakukan pengujian untuk siklus 48 jam atau dua hari. Setelah itu sisa sampel yang belum diuji kembali direndam selama 12 jam, kemudian didiamkan selama 12 jam (waktu pemulihan yaitu dengan membiarkan sampel berada di suhu ruang tanpa terendam), kemudian dilakukan pengujian untuk siklus tiga hari (72 jam). Diagram penjelasan mengenai waktu perendaman benda uji dijelaskan pada **Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3**. Masing-masing waktu perendaman membutuhkan tiga sampel benda uji. Sehingga jumlah sampel benda uji yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- a) Perendaman berkala atau terputus-putus, masing-masing 3 sampel per hari, sehingga dibutuhkan 63 sampel untuk satu campuran ideal, yaitu 9 sampel untuk perendaman dengan air standar, 27 sampel untuk perendaman dengan air rob dengan tiga lokasi pengambilan yang berbeda, 27 sampel untuk perendaman dengan konsentrasi klorida (Cl<sup>-</sup>) yang telah dikondisikan (5.000 mg/l Cl<sup>-</sup>, 15.000 mg/l Cl<sup>-</sup>, dan 25.000 mg/l Cl<sup>-</sup>).
- b) Perendaman menerus masing-masing untuk tiap variasi waktu perendaman 3 sampel, sehingga dibutuhkan 105 sampel, yaitu 15 sampel untuk perendaman dengan air standar dan 45 sampel untuk perendaman dengan air rob dengan tiga lokasi pengambilan sampel air rob yang berbeda, 45 sampel untuk perendaman dengan konsentrasi klorida (Cl<sup>-</sup>) yang telah dikondisikan (5.000 mg/L Cl<sup>-</sup>, 15.000 mg/L Cl<sup>-</sup>, dan 25.000 mg/L Cl<sup>-</sup>).

- c) Sampel campuran ideal tanpa perendaman sebanyak 3 sampel.  
 d) Total sampel yang dibutuhkan adalah sebanyak 186 sampel benda uji.



**Gambar 3.2.** Diagram Perendaman Berkala



**Gambar 3.3.** Diagram Perendaman Menerus

Setelah dilakukan serangkaian penelitian dan didapatkan data, maka tahapan selanjutnya adalah sebagai berikut:

- Menganalisis hasil pemeriksaan material campuran aspal yaitu agregat dan aspal, apakah sesuai dengan spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010.
- Memplot data nilai stabilitas (*stability*); kelelahan (*flow*); *Marshall Quotient* (MQ); *void in mix* (VIM); *void in mineral aggregate* (VMA); *void filled with asphalt* (VFA); nilai stabilitas sisa; terhadap lamanya waktu perendaman campuran dalam air perendaman yang telah ditentukan. Dari grafik ini dapat

diketahui apakah ada perubahan yang terjadi baik penurunan atau kenaikan parameter-parameter tersebut selama mengalami proses perendaman dalam air standar laboratorium, air rob, dan air dengan konsentrasi klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang berbeda.

- c. Membandingkan data hasil uji *Marshall* untuk sampel yang terendam air laboratorium, sampel yang terendam air rob, dan air dengan konsentrasi klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang berbeda, kemudian dianalisis hubungan antara lama perendaman dengan karakteristik campuran. Sehingga diketahui bagaimana pengaruh lamanya rendaman terhadap keawetan (*durability*) dari campuran aspal.
- d. Membandingkan data hasil uji *Marshall* untuk sampel yang direndam dengan pola perendaman menerus dan perendaman berkala, kemudian dianalisis pola perendaman mana yang memberikan pengaruh lebih besar terhadap karakteristik campuran aspal.