

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan upaya pelapisan jalan yang berada di atas permukaan tanah dasar dengan menggunakan berbagai campuran agregat dan bahan perekat yang memiliki nilai elastisitas, dengan komposisi tertentu sehingga didapatkan karakteristik kuat sebagai penopang beban lalu lintas di atasnya.

Menurut Tenriajeng (2002) dalam buku yang berjudul *Rekayasa Jalan Raya-2*, menyatakan bahwa perkerasan jalan adalah campuran antara agregat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang dipakai : batu pecah, batu belah, batu kali, hasil samping peleburan baja. Bahan ikat yang digunakan: aspal, semen, tanah liat. Sedangkan menurut Saodang (2005), struktur perkerasan merupakan gabungan dari komposisi bahan, yang masing-masing berbeda elastisitasnya.

Berdasarkan bahan pengikatnya menurut Sukirman (1991), perkerasan jalan dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Konstruksi Perkerasan Lentur *Fleksibel pavement*

Perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Adapun lapisan perkerasan lentur yang berada paling atas adalah lapisan permukaan *surface course* yang berfungsi sebagai penahan beban roda secara langsung, dengan

stabilitas tinggi dan merupakan lapisan aus atau yang menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.

Kemudian dibawahnya terdapat lapisan pondasi atas *base crouse* dimana lapisan ini menggunakan material dengan indeks CBR $> 50,0\%$ dan PI *plastisitas indeks* $< 4\%$, yang tersusun dari material-material alam seperti batu pecah kelas A hingga C, kerikil pecah, stabilitas dengan kapur atau semen. Adapun fungsi sebagai bagian lapisan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke bawahnya, selain itu lapisan *base crouse* juga berfungsi untuk bantalan dari lapisan permukaan peresapan lapisan pondasi bawahnya.

Lapisan berikutnya merupakan lapisan pondasi bawah *subbase crouse* merupakan lapisan yang terletak antara lapisan pondasi atas dan tanah dasar yang akan menyebarkan beban roda ke lapisan tanah dasar. Lapisan pondasi bawah ini harus kuat dengan memiliki CBR 20% dan *plastisitas indeks* $< 10\%$. Selain itu lapisan pondasi bawah ini berfungsi sebagai lapisan peresapan agar air tanah tidak berkumpul di pondasi. Lapisan yang terakhir merupakan lapisan tanah dasar (*supergra*) yang merupakan tanah asli atau tanah yang didatangkan dari tempat lain dengan kadar air optimum dan memiliki ketebalan antara 50-100 cm.

2. Konstruksi Perkerasan Kaku *Rigid pavement*

Perkerasan kaku merupakan perkerasan jalan menggunakan bahan ikat *sement portland*, pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa pondasi bawah. Adapun jenis-jenis

perkerasan kaku dengan beton sebagai lapisan aus meliputi : perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan, perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan, perkerasan beton semen bersambung menerus dengan tulangan, perkerasan beton semen pratekan.

3. Konstruksi Perkerasan Jalan Komposit *Composite pavement*

Perkerasan komposit merupakan perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dengan susunan berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur. Perkerasan semacam ini biasa dijumpai pada landasan udara, dimana landasan udara dituntut untuk dapat menahan beban yang berat dari roda pesawat, namun harus tetap aus.

B. Lapisan Beraspal

Tertuang dalam Departemen Pekerjaan Umum Spesifikasi 2010 divisi 6 Revisi 3 , menyatakan bahwa jenis-jenis campuran beraspal terdiri dari :

1. Lapis Tipis Aspal Pasir *Sand Sheet See* Kelas A dan B

Lapis Tipis Aspal (Latasir) yang selanjutnya disebut SS, terdiri dari dua jenis campuran, SS-A dan SS-B. Pemilihan SS-A dan SS-B tergantung pada tebal nominal minimum. Latasir biasanya memerlukan penambahan filler agar memenuhi kebutuhan sifat-sifat yang disyaratkan.

2. Lapisan Tipis Aspal Beton *Hot Rolled Shedd*, HRS

Lapisan Tipis Aspal Beton (Lataston) yang selanjutnya disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, HRS Pondasi (*HRS-Base*) dan HRS Lapisan Aus (*HRS Wearing Crouse*, HRS-WC) dan ukuran maksimum agregat

masing-masing campuran adalah 19 mm. HRS-Base mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar dari pada HRS-WC.

3. Lapisan Aspal Beton *Asphalt Concrete* (AC)

Lapisan Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis campuran, AC Lapisan Aus (AC-WC), AC Lapisan Antara (*AC-Binder Crouse*, AC-BC), dan AC Lapisan Pondasi (AC-Base) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19mm, 25.4mm, 37.5mm. Setiap jenis campuran AC yang mengandung bahan aspal *polymer* atau aspal dimodifikasi dengan aspal alam disebut masing-masing sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*.

Adapun tebal nominal minimum beserta dengan simbol untuk masing-masing lapisan beraspal telah ditentukan dan tercantum pada tabel :

Tabel.1 Spesifikasi Lapisan Aspal Beton Menurut Bina Marga 2010

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
Latasir Kelas A		SS-A	1.5
Latasir Kelas B		SS-B	2.0
Lataston	Lapisan Aus	HRS-WC	3.0
	Lapisan Pondasi	HRS-Base	3.5
Laston	Lapisan Aus	AC-WC	4.0
	Lapisan Antara	AC-BC	6.0
	Lapisan Pondasi	AC-Base	7.5

(Sumber : Bina Marga 2010)

Tabel.2 Ketentuan Sifat Aspal Beton (AC Mod) Menurut Bina Marga 2010

Sifat Campuran		Nilai
Jumlah Tumbukan		75 kali
Stabilitas	Min	2500 kg
Pelelehan	Min	2 mm
	Maks	4 mm

(Sumber : Bina Marga 2010)

Menurut Tenriajeng (2002), campuran aspal beton merupakan salah satu jenis dari lapisan perkerasan konstruksi pekerjaan lentur. Jenis pekerjaan ini merupakan campuran homogen antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Untuk mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari aspal sehingga diperoleh kemudahan dalam pencampurannya maka kedua material harus dipanaskan dahulu sebelum dicampur yang dikenal sebagai *hot mix*.

C. Campuran Aspal *Porus*

Aspal *porus* dikenal sebagai campuran *open-graded friction crouse* (OGFCs), selain itu terdapat nama lain yang digunakan untuk aspal *porus*, seperti *Drain Asphalt* di Perancis, *Whispering Aspal* di Jerman, dan *Popcorn Mix* di Amerika Serikat. Pada dasarnya aspal *porus* merupakan campuran beraspal yang memiliki banyak rongga-rongga udara sehingga memungkinkan untuk mengalirkan air secara vertikal maupun horizontal melalui rongga-rongga udara yang ada.

Rongga-rongga udara yang terbentuk dalam campuran aspal *porus* sengaja direncanakan dengan penggunaan agregat bergradasi terbuka dan didominasi dengan agregat kasar sebanyak 80%-85%, sehingga dengan dominasi ukuran agregat yang relatif sama maka akan ada bagian rongga yang tidak terisi oleh agregat dan aspal sehingga akan membentuk rongga-rongga udara yang saling berkesinambungan. Rongga udara inilah yang akan

membuat campuran aspal *porus* dapat bersifat *porus* atau mengalirkan air. Adapun porositas untuk campuran aspal *porus* berkisar antara 18%-25%.

Menurut Sanusi dan Setyawan (2008), campuran aspal *porus* merupakan generasi baru dalam perkerasan lentur, yang membolehkan air meresap ke dalam lapisan atas *wearing course* secara vertikal dan horizontal. Lapisan ini menggunakan gradasi terbuka *open graded* yang diamparkan diatas lapisan aspal yang kedap air. Lapisan aspal *porus* ini secara efektif dapat memberikan tingkat keselamatan yang lebih, terutama diwaktu hujan agar tidak terjadi *aquaplaning* sehingga menghasilkan kekesatan permukaan yang lebih kasar, dan dapat mengurangi kebisingan *noise reduction*.

Sedangkan menurut Djumari dan Sarwono (2009), aspal *porus* sangat terkait dengan perilaku dan sifat-sifat campuran beraspal yang menggunakan gradasi agregat dengan jumlah fraksi kasar diatas 85% terhadap berat total campuran, sehingga struktur yang dihasilkan lebih terbuka dan berongga. Rongga yang dikandung diharapkan dapat meningkatkan kemampuan mengalirkan air baik secara vertikal maupun horizontal. Sifat agregat yang memberikan pengaruh penting pada campuran aspal *porus* antara lain gradasi/pembagian ukuran agregat.

Selain dapat mengalirkan air secara horizontal dan vertikal, dalam penerapannya aspal *porus* diyakini dapat mengurangi tingkat kebisingan kendaraan. Seperti dalam Hardimana (2008) menyebutkan pada *Congeres Eurobitumen* atau *Euroasphalt* tahun 1996 di Strasbourg dilaporkan bahwa

tingkat kebisingan aspal *porus* yang digunakan memiliki keterkaitan dengan ukuran butir agregat serta tebal lapisan.

Dibandingkan dengan aspal beton konvensional, dengan sumber bising yang digunakan adalah mobil sedan, didapatkan hasil bahwa campuran aspal *porus* memiliki nilai kebisingan yang lebih rendah.

Selain mengenai kebisingan hal lain yang erat kaitannya dengan aspal *porus* adalah tekstur permukaan, dimana tekstur permukaan dari campuran aspal *porus* cenderung lebih kasar dan kesat. Tekstur permukaan dari aspal *porus* ini dapat mengurangi risiko kecelakaan kendaraan, dimana ketika hujan aspal *porus* memungkinkan untuk mengalirkan air sehingga tidak ada genangan air yang pada permukaan yang dapat terciprat akibat dari putaran roda kendaraan yang sedang melaju. Sifat kesat yang dimiliki oleh permukaan aspal *porus* juga dapat menambah rekatan roda kendaraan saat bermanuver di jalan terlebih pada bagian tikungan.

D. Bahan Penyusun Campuran Aspal *Porus*

Bahan Penyusun lapisan aspal *porus* terdiri dari agregat halus, agregat kasar, serta aspal. Sedikit berbeda dengan lapisan aspal beton konvensional, lapisan aspal *porus* tidak menggunakan *filler*, hal ini dilakukan agar rongga-rongga udara yang direncanakan dapat terbentuk dan tidak terisi oleh *filler*.

1. Agregat

Menurut Sukirman (1991), agregat/batuan didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan penyal/solid. ASTM

(1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen.

Agregat batuan merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90%-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75%-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan, dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan mineral lainnya.

Ditinjau dari ukuran butirnya agregat yang digunakan dalam campuran aspal *porus* dapat dibedakan menjadi 2, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan batuan dengan ukuran antara 4.8mm-150mm yang berasal dari batuan alami maupun batuan pecah. Menurut Saodang (2005) berdasarkan ukuran besaran butir dibedakan sebagai agregat kasar, dengan ukuran butir $> \frac{1}{4}$ inci (6.35mm) yaitu bahan yang tertahan saringan nomer 4.

Dalam campuran beraspal agregat kasar memiliki andali sebagai pengisi sekaligus sebagai penstabil mekanis, sehingga agregat kasar harus memiliki sifat kekerasan. Untuk mengukur sifat kekerasan dan kesolitan dari agregat kasar dapat digunakan pengujian *Los Angeles Abrasion Test*, dimana nilai keausan abrasi dari agregat kasar harus kurang dari 50% hingga dinyatakan dapat digunakan sebagai material penyusun perkerasan jalan.

Selain keausan sifat lain dari agregat yang berpengaruh dalam campuran beraspal adalah bentuk serta tekstur permukaan, dimana apabila agregat kasar berbentuk semakin tajam dan bersudut-sudut maka susunan campuran perkerasan jalan akan semakin padat. Sedangkan mengenai tekstur permukaan dari agregat kasar, apabila semakin kasar permukaan agregat kasar maka akan semakin baik rekatan aspal dengan agregat, sehingga kualitas campuran akan semakin baik.

Sifat agregat yang berkaitan berikutnya adalah porositas atau daya serap, dimana semakin poros suatu agregat maka akan semakin banyak aspal yang dibutuhkan dalam suatu campuran, hal ini memungkinkan terjadi karena agregat yang bersifat *porus* akan menyerap banyak aspal. Nilai maksimum penyerapan agregat adalah sebesar 3%.

Dalam campuran aspal *porus* persentase agregat yang digunakan lebih tinggi dibandingkan campuran aspal biasa, dimana pada campuran aspal *porus* persentase agregat kasar ditentukan lebih dari 85%, hal ini ditujukan agar pada campuran aspal *porus* dengan agregat kasar yang banyak dapat membentuk rongga-rongga udara yang berkesinambungan.

b. Agregat Halus

Menurut Saodang (2005) agregat berbutir halus adalah bahan yang lewat saringan nomer #4 dengan bukaan 4,75 mm dan tertahan saringan nomer #200 dengan bukaan 0,075 mm, biasanya berupa pasir murni, hasil *screening* dari mesin pemecah batu, atau kombinasi dari keduanya.

Dalam campuran aspal, agregat halus berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga antara agregat kasar, sehingga kualitas campuran akan semakin baik. Namun dalam campuran aspal *porus* agregat halus tidak berfungsi sebagai pengisi campuran, melainkan hanya sebagai pembantu perekat aspal untuk rekatan antar agregat kasar.

Persentase agregat halus yang digunakan dalam campuran aspal *porus* berbeda dengan campuran aspal biasa, untuk campuran aspal *porus* persentase agregat halus hanya berkisar antara 5%-10% saja. Hal ini ditujukan agar campuran aspal *porus* dapat membentuk rongga-rongga udara yang saling berkesinambungan tanpa terisi oleh agregat halus.

2. Aspal

Aspal adalah bahan perekat untuk perkerasan jalan dengan warna hitam kecokelatan serta bersifat plastis dan cair pada suhu tinggi. Aspal didapatkan dari batuan alam untuk aspal alami, dan dari hasil pembakaran terakhir minyak bumi.

Menurut Sukirman (1991) Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau cokelat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair.

Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4%-10% berdasarkan berat, atau 5%-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan

komponen yang relatif mahal. *Hydrocarbon* adalah bahan dasar dari aspal yang umumnya disebut *bitumen*, sehingga aspal sering disebut juga *bitumen*. Sifat aspal akan berubah akibat panas dan umur, aspal akan menjadi kaku dan rapuh hingga akhirnya daya *adhesinya* terhadap partikel agregat akan berkurang.

Menurut Saodang (2005) aspal adalah bahan alam dengan komponen kimia utama *hidrokarbon*, hasil *ekplorasi* dengan warna hitam bersifat plastis hingga cair, tidak larut dalam larutan asam encer dan *alkali* atau air, tapi larut sebagian dalam *asether*, CS₂, *bensol*, dan *chloroform*. Aspal atau dalam istilah baku *asphaltic bitumen*, terdiri dari unsur *carbon* (C), sebagai komponen utama 80% dalam keadaan *koloid* disebut *asphaltene* bercampur dalam cairan yang disebut *maltene*, *Hidrogen* (H) 10%, dan sisanya unsur S (*sulfur*), membentuk berbagai persenyawaan *hidrokarbon*. Aspal dihasilkan dari minyak bumi, melalui proses *destilasi residu oil*. Bahan bensin, solar, minyak tanah merupakan hasil *destilasi* pada temperatur yang berbeda.

Menurut Saodang (2005) dalam bukunya, berdasarkan cara memperolehnya aspal digolongkan menjadi dua jenis, yaitu:

a. Aspal Minyak (*Petroleum Asphalt*)

Merupakan bentuk padat atau semi-padat sebagai cikal bakal *bitumen* yang diperoleh dari penirisan minyak. Aspal minyak dibedakan menjadi:

1) Aspal Keras-panas (*Asphaltic-Cement,AC*)

Aspal ini berbentuk padat pada temperatur ruang. Di Indonesia aspal sement, dibedakan dari nilai penetrasi (40/50, 60/70, 85-100). Aspal dengan penetrasi rendah digunakan didaerah cuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan di temperatur bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah.

2) Aspal dingin-cair *Cut-black Asphalt*

Aspal ini digunakan dalam keadaan cair dan dingin. Aspal dingin adalah campuran pabrik antara aspal panas dengan bahan pengencer dari hasil penyulingan minyak bumi. Berdasarkan bahan pengencer dan kemudahan menguap, bahan pelarutnya, aspal dingin dibedakan menjadi:

- A) RC (*Rapid Curing*) : Bahan pengencer bensin dengan RC0 sampai RC5
- B) MC (*Medium Curing*) : Bahan pengencer minyak tanah (*kerosin*) dengan MC0 sampai MC5.
- C) SC (*Slow Curing*) : Bahan pengencer solar dengan SC0 sampai SC5.

3) Aspal Emulasi *Emulsion Asphalt*

Disediakan dalam bentuk emulsi, dapat digunakan dalam keadaan dingin. Dibedakan menjadi dua jenis emulsi :

A) *Kationik* (aspal emulsi asam), emulsi bermuatan arus listrik positif.

B) *Anionik* (aspal emulsi alkali), emulsi bermuatan arus listrik negatif.

b. Aspal Batu Buton

Aspal ini merupakan aspal alam yang terjadi karena adanya minyak bumi yang mengalir keluar melalui retak-retak kulit bumi. Setelah minyak menguap, maka tinggal aspal yang melekat pada batuan yang dilalui dan mengendap seiring dengan berjalannya waktu. Kadar aspal pada aspal batu buton berkisar antara 10%-25%, sedikit rendah dibandingkan aspal dari sumber lainnya. Sebagai bahan pelunak biasanya digunakan *flux oil*, sebanyak 3% -4% berat total.

E. Gradasi

Gradasi merupakan distribusi dari variasi ukuran butir agregat. Gradasi menentukan banyak sedikitnya rongga dalam suatu campuran, serta menentukan baik atau buruknya kualitas campuran. Untuk mengetahui gradasi dari suatu agregat perlu dilakukan pengujian analisis saringan sesuai dengan SNI 03-1968-1990, atau menurut AASHTO T27-82/T11-82. Dimana dalam pengujian analisis saringan akan didapatkan persentase dari masing-masing fraksi penyusun agregat.

Menurut Sukirman (2003) Gradasi agregat dapat diperoleh dari hasil analisi saringan dengan menggunakan 1 set saringan dimana saringan yang

paling kasar diletakkan di atas dan yang paling halus terletak paling bawah. 1 set saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan penutup. Analisis saringan dapat dilakukan dengan menggunakan analisis kering atau basah. Analisis kering mengikuti ASSHTO T27-82 sedangkan analisis basah mengikuti AASHTO T11-82. Sesuai dengan jenisnya gradasi dapat dibedakan menjadi tiga, yang meliputi :

1) Gradasi Seragam/Terbuka *Uniform Graded/Open Graded*

Gradasi seragam atau yang dikenal juga dengan gradasi terbuka merupakan gradasi yang memiliki ukuran butir relatif sama dan hanya terdapat sedikit agregat dengan ukuran kecil. Sehingga memungkinkan terbentuknya rongga-rongga antar agregat karena agregat yang dominan berukuran sama dan tidak terisi oleh agregat berukuran kecil yang jumlahnya sedikit atau bahkan tidak ada. Gradasi semacam ini yang ideal digunakan sebagai agregat penyusun campuran aspal *porus*.

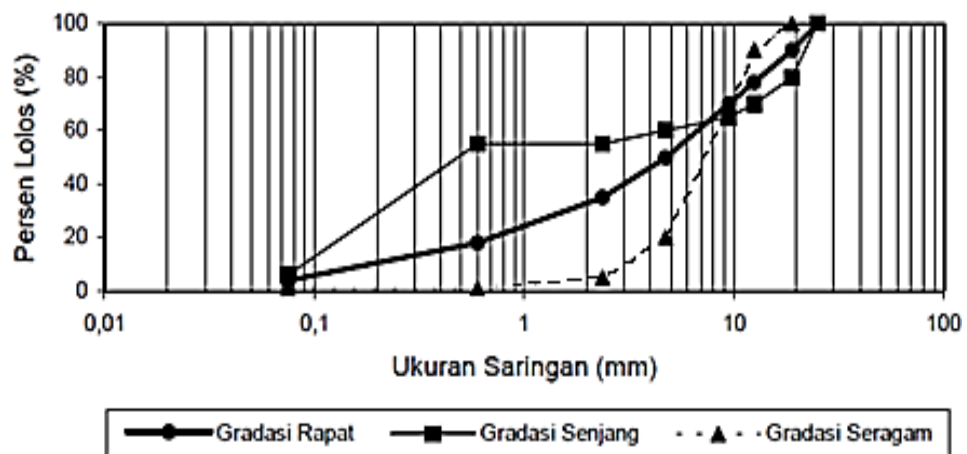
2) Gradasi Rapat *Dense Graded*

Merupakan gradasi yang sempurna sehingga sering pula disebut dengan *well graded*, dimana komposisi antara agregat berukuran kecil dan besar berada pada kadar yang berimbang atau agregat penyusunya lengkap dari yang terkecil hingga yang terbesar, sehingga memungkinkan untuk saling mengisi antara agregat berukuran besar dan berukuran kecil. Campuran yang dihasilkan akan menjadi campuran padat dan akan memiliki stabilitas yang tinggi hingga berat volum yang tinggi pula.

3) Gradasi Buruk/Jelek *Poorly Graded*

Gradasi buruk atau sering disebut gradasi senjang, merupakan gradasi dengan salah satu atau lebih fraksi penyusun agregat hilang sehingga membuat susunan fraksi agregat tidak lengkap. Gradasi buruk memiliki sifat diantar gradasi rapat dan gradasi seragam, dimana dalam campuran yang menggunakan gradasi buruk akan memiliki sifat rapat di beberapa bagiannya, namun juga akan menimbulkan sebagian rongga.

Apabila digunakan sebagai campuran, agregat dengan gradasi buruk akan memiliki mutu stabilitas dibawah gradasi rapat dan juga akan memiliki mutu diatas gradasi seragam.



Gambar.1 Grafik Gradasi Agregat

Menurut Sukirman (2003), dari ketiga gradasi yang meliputi gradasi senjang, gradasi terbuka, dan gradasi baik memiliki beberapa sifat yang berbeda antara satu dengan yang lainnya, perbandingan sifat antar ketiga gradasi tersebut meliputi :

Tabel.3 Perbandingan Antar Gradasi

No	Gradasi Seragam	Gradasi Baik	Gradasi Jelek
1.	Kontak antar butir baik	Kontak antar butir baik	Kontak antar butir jelek
2.	Kepadatan bervariasi tergantung dari segregasi yang terjadi	Seragam dan kepadatan tinggi	Seragam tetapi kepadatan jelek
3.	Stabilitas dalam keadaan terbatas (<i>confident</i>) tinggi	Stabilitas tinggi	Stabilitas sedang
4.	Stabilitas dalam keadaan rendah.	Kuat menahan deformasi	Stabilitas sangat rendah pada keadaan basah
5.	Sukar untuk dipadatkan	Sukar sampai sedang usah untuk memadatkan	Mudah dipadatkan
6.	Mudah diresapi air	Tingkat permeabilitas cukup	Tingkat permeabilitas rendah
7.	Tidak dipengaruhi kadar air	Pengaruh variasi kadar air cukup	Kurang dipengaruhi oleh bervariasinya kadar air

(Sumber : Sukirman 2010)

F. Styrofoam (FPS) Foamed Polystyrene

Styrofoam pada awalnya merupakan nama dagang dari perusahaan *Dow Chemical* yang sudah dipatenkan, namun masyarakat luas sudah terlanjur menggunakan nama *styrofoam* sebagai penamaan dari *polystyrene foam*. *Styrofoam* merupakan *polymer* yang bersifat PS (*Polystyrene*) yang ditemukan sekitar tahun 1930 dengan kegunaan awal sebagai bahan konstruksi bangunan untuk menangkal suhu dari luar dan berkembang pada perang dunia ke-dua sebagai bahan untuk pembungkus logistik obat-obatan yang akan dikirimkan ke garda terdepan pertahanan.

Berbahan dasar *stirena* (*benzena*) yang diambil dari sumber alam berupa *petroleum* dan memiliki rumus kimia C_8H_8 . *Siterena* memiliki wujud berupa

cairan menyerupai minyak tidak berwarna serta memiliki bau *benzene* yang sangat khas.

Menurut Durhaman (2008) *Polystyrene foam* dihasilkan dari komposisi 90%-95% *polystyrene* dan 5%-10% gas *n-butan/n-pentana*, yang dalam proses pembuatannya dilakukan dengan *polymerisasi adisi suspense* dengan tekanan tinggi pada suhu tinggi dan dilanjutkan dengan pemanasan kembali untuk menguapkan sisa resin atau *blowing agent*. *Polystyrene foam* memiliki sifat dasar yang tersusun dari butir-butir dengan kerapatan rendah yang menciptakan banyak rongga-rongga udara, sehingga memiliki berat yang ringan dan bersifat insulator terhadap panas, dan memiliki titik leleh antara 82°C-103°C.

Pada peradaban modern manusia, *styrofoam* dimanfaatkan dalam berbagai kebutuhan, seperti untuk pengemasan barang, pembungkus makanan, konstruksi bangunan, hingga sebagai bahan penghambat suhu untuk termos es. Namun dengan sikap masyarakat yang tidak bijak dalam pemakaiannya, *styrofoam* dapat menjadi ancaman baru.

Sampah yang dihasilkan dari penggunaan *styrofoam* secara tidak bijak dengan minim daur ulang akan menimbulkan limbah yang besar dan mencemari lingkungan. Dengan sifatnya tidak mudah hancur *styrofoam* akan membutuhkan waktu yang lama untuk diurai oleh alam bahkan tidak dapat terurai secara sempurna, butuh waktu lebih dari 1000 tahun untuk *styrofoam* terurai menjadi mikro plastik. Sehingga masalah limbah *styrofoam* merupakan salah satu masalah ancaman terhadap lingkungan yang serius dan dapat membahayakan kehidupan.

Menurut Fitidarini dan Damanhuri (2014) sampah *styrofoam* yang dibuang pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sarimukti di Kota Bandung terdapat setidaknya limbah *styrofoam* sebanyak 19,405 ton/bulan, dengan daya daur ulang pada kalangan pemulung hanya 0,665 ton/bulan.

G. Karakteristik *Marshall*

Untuk mengukur kualitas campuran aspal beton, maka dilakukan serangkaian pengujian dengan metode *marshall*. Dimana *marshall* sendiri diambil dari nama sebuah alat penguji kestabilan benda uji campuran aspal beton yang ditemukan oleh seseorang bernama Marshall Bruce, dan dikembangkan kembali oleh U.S *Corps of Engineering*.

Dalam serangkaian pengukuran kualitas campuran dengan menggunakan metode *marshall*, akan didapatkan beberapa data yang harus diolah terlebih dahulu menggunakan rumus-rumus empiris, agar didapatkan nilai akhir yang dapat digunakan sebagai parameter kualitas campuran aspal. Menurut Sukirman (2003), parameter kualitas campuran aspal beserta rumus-rumus empiris yang digunakan untuk mengolah data meliputi :

1. Berat Jenis Bulk dari Total Agregat

Masing-masing agregat penyusun campuran aspal beton memiliki nilai berat jenis masing-masing, sehingga perlu untuk mencari nilai penggabungan berat jenis gabungan dari agregat maka digunakan rumus berikut:

$$G_{sb\text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots \frac{P_n}{G_{sb\ n}}} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan

$G_{sb\text{total}}$: Berat jenis bulk agregat gabungan (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Persentase berat masing-masing agregat (%)

$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}$: Berat jenis bulk masing-masing agregat (gr/cc)

2. Berat Jenis Semu Total Agregat

Masing-masing agregat penyusun campuran aspal beton memiliki nilai berat jenis semu masing-masing, sehingga perlu untuk mencari nilai penggabungan berat jenis semu gabungan dari agregat maka digunakan rumus berikut:

$$G_{sa\text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots \frac{P_n}{G_{sa\ n}}} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan

$G_{sa\text{total}}$: Berat jenis semu agregat gabungan (gg/cc)

P_1, P_2, P_3 : Persentase berat dari masing-masing agregat (%)

$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}$: Berat jenis semu masing-masing agregat (gr/cc)

3. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif agregat merupakan rerata dari berat jenis total dan berat jenis semu total agregat, adapun rumus yang digunakan adalah :

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan

Gse : Berat jenis efektif total agregat (gr/cc)

Gsb : Berat jenis bulk agregat (gr/cc)

Gsa : Berat jenis semu agregat (gr/cc)

4. Berat Jenis Maksimal Agregat

Berat jenis maksimal agregat merupakan berat jenis campuran yang dicari dari persentase dan berat jenis masing-masing material, adapun rumus yang digunakan berikut :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan

Gmm : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

Pmm : Persentase berat total campuran (100%)

Ps : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran

Pb : Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran

Gse : Berat jenis efektif (gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal (gr/cc)

5. Berat Jenis Bulk Campuran

Berat jenis bulk dicari dari perbandingan antara berat campuran dan volume campuran, berikut rumus yang digunakan untuk menghitung berat jenis bulk campuran :

$$Gmb = \frac{Wa}{Vbulk} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan

Gmb : Berat jenis campuran setelah dipadatkan (gr/cc)

Vbulk : Volume campuran setelah dipadatkan (cc)

Wa : Berat di udara (gr)

6. Kepadatan

Kepadatan merupakan nilai yang menunjukkan kepadatan campuran hasil dari perbandingan berat campuran di udara dengan berat campuran dalam keadaan jenuh dan di dalam air. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung nilai kepadatan:

$$Gse = \frac{Wm}{(Wmssd - Wmpw)} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan

Wm : Berat benda uji setelah dipadatkan (gr)

Wmssd : Berat benda uji keadaan jenuh setelah dipadatkan (gr)

Wmpw : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)

7. VIM *Void In Mix*

Merupakan nilai untuk rongga yang ada dalam campuran. Nilai VIM ini dinyatakan dalam persentase menggunakan bilangan desimal atau satu angka dibelakang koma. VIM dapat menjadi suatu tolak ukur kepadatan, kekedapan, serta durabilitas suatu campuran. Nilai VIM

untuk campuran aspal porus harus berada antara 18%-25%. Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk mencari nilai VIM adalah berikut :

$$VIM = \frac{G_{mm} + G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan

- VIM : Rongga udara pada campuran (%)
- G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan (gr/cc)
- G_{mb} : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cc)

8. VMA *Void Material Agregat*

Merupakan persentase nilai untuk rongga yang ada dalam agregat dan dinyatakan dalam bilangan bulat. Nilai VMA menunjukkan nilai rongga yang terbentuk antar agregat. Berikut merupakan rumus perhitungan yang digunakan untuk mencari nilai VMA:

$$VMA = \frac{100(G_{sb} + G_{sa}) + G_{mb} \times P_b}{G_{sab}} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan

- VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)
- G_{mb} : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cc)
- G_{sb} : Berat jenis bulk dari total agregat (gr/cc)
- P_s : persentase kadar agregat terhadap total campuran (%)

9. VFA *Void Filled with Aspal*

Merupakan persentase nilai rongga antar agregat yang terisi oleh aspal. Nilai VFA didapat dari perbandingan antara nilai VIM dan VMA. Berikut merupakan rumus perhitungan yang digunakan untuk mencari nilai VFA:

$$Gse = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan

VFA : Persentase rongga udara yang terisi oleh aspal (%)

VMA : Persentase rongga udara pada mineral agregat (%)

VIM : Persentase rongga udara pada campuran (%)

10. Stabilitas

Stabilitas merupakan suatu nilai ketahanan terhadap nilai kelelahan plastis atau ketahanan terhadap tekanan maksimum (*flow*) dan ketahanan terhadap terjadinya alur (*ruting*) pada suatu campuran aspal. Stabilitas terjadi dari hasil gesekan antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang dari lapisan aspal. Untuk memperoleh nilai stabilitas di gunakan alat *marshall tes*, alat tersebut merupakan alat tekan dengan kecepatan tekan berkisar antara 50 mm/menit dan dilengkapi dengan cincin penguji (*proving ring*) dengan kapasitas antara 2500 Kg atau 5000 pon.

Proving ring dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur nilai stabilitas campuran. Stabilitas dinyatakan dalam

bilangan bulat tanpa desimal di belakang. Namun untuk beberapa benda uji dengan nilai stabilitas tinggi melampaui kapasitas *proving ring*, terpaksa digunakan alat pengujian tekan lainnya seperti UTM dan alat tekan beton dengan kapasitas diatas *proving ring*. Berikut rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai stabilitas :

$$S = p \times q \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan

S : Nilai stabilitas (kg)

p : Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi

q : Angka koreksi

Tabel.4 Angka Koreksi Benda Uji

Isi benda uji (cm ³)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
200-213	25,4	5,56
214-225	27,0	5,00
226-237	28,6	4,55
238-250	30,2	4,17
251-164	31,8	3,85
265-276	33,3	3,57
277-289	34,9	3,33
290-301	36,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
341-353	42,9	2,08
354-367	44,4	1,92
368-379	46,0	1,79
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14

Tabel.4 Angka Koreksi Benda Uji (Lanjutan)

Isi benda uji (cm ³)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,5	1,00
523-535	65,1	0,96
536-546	66,7	0,93
547-559	68,3	0,89
560-573	69,9	0,86
574-585	71,4	0,83
586-598	73,0	0,81
599-610	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

(Sumber : SNI 06-2489-1991)

11. Kelelahan Plastis *Flow*

Flow merupakan perubahan bentuk campuran akibat suatu pembebanan yang terjadi hingga keruntuhan yang dinyatakan dalam 1 mm atau 0.01 inch. Nilai *flow* digunakan sebagai indikator terhadap kelenturan. Dalam pengujian, nilai *flow* dapat dibaca pada arloji untuk nilai *flow* pada *marshall test machine* , atau dapat diketahui dengan cara pengurangan diameter benda sebelum dan sesudah diuji. Nilai *flow* campuran aspal porus harus berada pada antara 2 mm hingga 4 mm.

12. *Marshall Quotient*

Marshall quotient merupakan nilai yang menyatakan kekakuan campuran aspal terhadap tekanan yang diterima. Nilai MQ didapatkan dari perbandingan antar nilai stabilitas dan *flow* dengan satuan kg/mm.

H. Penelitian Yang Relevan

Penelitian yang ditulis oleh Djumari dan Sarwono (2009) dengan judul “Perencanaan Gradasi Aspal *Porus* Menggunakan Material Lokal Dengan

Metode Pemampatan Kering“, melakukan perencanaan gradasi LJR-Semar (Laboratorium Jalan Raya-Sebelas Maret) untuk campuran aspal *porus* dengan MPK (Metode Pemampatan Maksimum). Agregat penyusun yang digunakan merupakan agregat lokal, dengan konstanta beserta ukuran agregat yang digunakan adalah A untuk agregat dengan ukuran (9,5 mm s/d 12,70 mm), B untuk agregat dengan ukuran (4,75 mm s/d 9,50 mm), C untuk agregat dengan ukuran (2,80 mm s/d 4,75 mm), D untuk agregat dengan ukuran (0,50mm s/d 2,80mm), dan filler 4%.

Dari beberapa kelompok ukuran agregat tersebut kemudian ditentukan beberapa *trial* komposisi. Dengan komposisi komposisi *trial* 1 terdiri dari (A20 B80, A30 B70, A40 B60, A50 B50), *trial* 2 terdiri dari (AB40 C60, AB50 C50, AB60 C40, AB80 C20), *trial* 3 terdiri dari (ABC95 D5, ABC90 D10, ABC85 D15, ABC80 D20). Setelah didapatkan beberapa *trial* komposisi tersebut kemudian dilakukan metode MPK (Metode Pemampatan Kering) sehingga didapatkan kadar komposisi yang paling ideal menurut metode tersebut, adapun hasil komposisi terideal menurut metode MPK untuk mengetahui densinitas yang paling ideal.

Dari penelitian dapat diketahui bahwa gradasi LJR-Semar terideal memiliki tekstur lebih kasar dibandingkan gradasi BS *British Standard* dan BVR *Black water Valley Road* namun dengan jumlah fraksi halus yang lebih banyak. Dan dari metode *marshall* didapatkan gradasi LJR-Semar dengan proporsi agregat A 16,32 %, B 16,32 %, C 48,96%, D 14,40%, dan *filler* 4%.

Kadar aspal optimum sebesar 4% , dengan nilai stabilitas *marshall* sebesar 453,82 kg, nilai *flow* 2,6%, porositas 30,30%, *cantrabian test* 58,71%.

Penelitian selanjutnya merupakan penelitian yang dilakukan oleh Mashuri (2010), dengan judul “Karakteristik Aspal Sebagai Bahan Pengikat Yang Ditambahkan *Styrofoam*”. Dalam penelitian tersebut dilakukan skenario penambahan *styrofoam* ke dalam aspal dengan variasi persentase sebanyak 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16%. Kemudian dari sekian banyak variasi aspal dengan campuran *styrofoam* tersebut dilakukan pengujian karakteristik aspal meliputi penetrasi, titik lembek, titik nyala, serta nilai berat jenis.

Nilai penetrasi untuk skenario penambahan *styrofoam* 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16% masing-masing adalah 72, 70.6, 58.4, 56.2, 52.2, 47.3, 43.9, 37.6, 32.7. Kemudian nilai titik lembek untuk penambahan *styrofoam* dengan persentase 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16% masing-masing adalah 48.0, 46.0, 47.2, 54.4, 57.1, 62.4, 64.4, 66.5, 69.6. Sedangkan pada pengujian nilai berat jenis untuk persentase penambahan *styrofoam* sebanyak 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16% masing-masing adalah 1.032, 1.033, 1.031, 1.028, 1.026, 1.025, 1.024, 1.023, 1.022.

Sehingga dari pengujian didapat kesimpulan bahwa nilai penetrasi, berat jenis, dan daktilitas cenderung turun seiring dengan bertambahnya persentase *styrofoam*. Berbeda dengan nilai titik lembek yang akan naik seiring dengan bertambahnya persentase *styrofoam*. Serta pada persentase penambahan *styrofoam* maksimum akan menurunkan nilai daktilitas aspal,

sehingga dapat a penambahan *styrofoam* ke dalam aspal dapat dilakukan hingga kadar 16% dan tidak akan mengurangi konsistensi karakteristik nya.

Penelitian yang ditulis oleh Adly (2016) dengan judul “*Styrofoam* Sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60/70 dengan kadar 0%, 6.5%, 7.5%, 8.5%, dan 9.5% Pada Campuran AC-WC”. Dalam penelitian tersebut dilakukan percobaan penambahan *styrofoam* dengan variasi persentase penambahan *styrofoam* sebanyak 0%, 6.5%, 7.5%, 8.5%, dan 9.5% kepada campuran aspal AC-WC. Penelitian tersebut diawali dengan pengujian terhadap karakteristik aspal yang akan digunakan, meliputi pengujian penetrasi dengan hasil pengujian 61 mm, pengujian titik lembek dengan hasil 54,5°C, pengujian titik nyala dengan hasil 350.4 °C, serta pengujian berat jenis dengan hasil 1.02 gr/cm³.

Setelah pengujian terhadap karakteristik aspal, pengujian berikutnya yang dilakukan adalah pengujian untuk mencari KAO (Kadar Aspal Optimum) dimana pengujian KAO dilaksanakan dengan membuat benda uji dengan trial berbagai persentase kadara aspal. Adapun hasil dari pengujian KAO sendiri menyatakan kadar trial aspal dengan persentase 5.5% adalah persentase paling ideal dengan indikasi nilai VIM,VMA, VFA, Stabilitas, *flow*, dan *density* yang memenuhi persyaratan.

Dilakukan kembali pengujian karakteristik aspal namun aspal yang akan diuji meruakan aspal dengan tambahan *styrofoam*. Adapun untuk hasil pengujian penetrasi dengan persentase penambahan *styrofoam* sebanyak 0%, 6.5%, 7.5%, 8.5%,dan 9.5% masing-masing adalah sebesar 61, 57.8, 55.2,

47.8, 45.2. kemudian untuk pengujian titik lembek untuk persentase penambahan *styrofoam* 0%, 6.5%, 7.5%, 8.5%, dan 9.5% masing-masing dari persentase tersebut memiliki hasil 54.5, 55.5, 58.5, 55, 56. Pengujian berat jenis dengan hasil untuk masing masing persentase *styrofoam* 0%, 6.5%, 7.5%, 8.5%, dan 9.5% adalah 1.02, 1.017, 1.032, 1.03, 1.05. Langkah selanjutnya setelah pengujian karakteristik aspal dengan tambahan *styrofoam* adalah pembuatan benda uji aspal dengan tambahan berbagai persentase *styrofoam* untuk pengujian karakteristik marshall campuran aspal beton tersebut.

Setelah benda uji selesai dibuat maka selanjutnya adalah menguji benda uji dengan metode *marshall*. Adapun hasil yang didapatkan dari pengujian meliputi, untuk setiap persentase penambahan *styrofoam* sebanyak 0%, 6.5%, 7.5%, 8.5%, dan 9.5% masing-masing secara berurutan nilai VIM sebesar 4.71%, 4.78%, 4.89%, 7.51%, 8.07%. Untuk nilai VMA sebesar 17.15%, 17.21%, 17.21%, 19.49%, 19.77%. sedangkan untuk VFA menghasilkan nilai sebesar 72.75%, 72.31%, 71.66%, 61.75%, 59.25%. untuk hasil pengujian stabilitas campuran adalah meliputi 1307.36 kg, 1357.32 kg, 1304.82 kg, 1345.33 kg, 1329.18 kg. Selanjutnya untuk nilai *flow* didapat nilai sebesar 2.05mm, 1.63mm, 1.68mm, 1.19mm, 1.52mm.

Dari beberapa urutan data hasil pengujian karakteristik *marshall* tersebut dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa penambahan *styrofoam* berbanding lurus dengan nilai VIM, dimana semakin tinggi kadar *styrofoam* yang ditambahkan maka akan semakin tinggi pula nilai VIM. Namun untuk

persentase 8.5% dan 9.5% , nilai VIM terlalu besar sehingga melampaui batas yang telah ditentukan. Untuk nilai VMA relatif memiliki karakteristik yang sama dengan VIM, dimana penambahan *styrofoam* akan berbanding lurus dengan kenaikan nilai VMA.

Sedangkan untuk nilai VFA akan berbanding terbalik dengan persentase penambahan *styrofoam*, dimana semakin banyak persentase penambahan *styrofoam* maka akan semakin rendah nilai VFA. Untuk nilai stabilitas pada persentase 7.5% nilai stabilitas mengalami penurunan yang signifikan walaupun masih diatas batas minimal. Sedangkan untuk nilai *flow* berada di bawah nilai maksimum yang ditentukan. Sehingga penambahan *styrofoam* dapat dilakukan dengan persentase maksimal hingga 7.5 %

Kemudian penelitian yang relevan lainnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Saleh, Anggraini, dan Aquina (2014) dengan judul “Karakteristik Campuran Aspal *Porus* dengan Substitusi *Styrofoam* pada Aspal Penetrasi 60/70”. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran aspal *porus* dengan pensubstitusian *styrofoam* dengan beberapa persentase yang berbeda.

Dalam penelitian penentuan KAO dilakukan dengan metode *marshall*, (CL) *Cantabro Loss*, (AFD) *Asphalt Flow Down*. Pengujian penentuan KAO diawali dengan penentuan titik tengah kadar aspal optimum menurut AAPA 2010, diambil nilai 5.5%. Kemudian ditentukan akan dipakai lima variasi kadar aspal yaitu sebesar 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%.

Dari hasil data yang diperoleh dibandingkan dan ditentukan nilai kadar aspal optimum untuk pengujian selanjutnya, adapun kadar aspal optimum yang akan digunakan adalah 5,76% beserta penambahan dan pengurangan untuk benda uji lainnya sebesar 0.5% dan ditentukan variasi *styrofoam* sebesar 5%, 7%, 9%, sehingga benda uji yang akan dibuat sebanyak 27 buah.

Dari hasil test karakteristik *marshall*, didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar persentase penambahan *styrofoam* maka akan semakin tinggi nilai stabilitasnya. Dengan nilai stabilitas tertinggi sebesar 495.92 kg terdapat pada campuran aspal dengan kadar aspal 6.29% dan kadar penambahan *styrofoam* 9%.