

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan hasil penelitian Ritonga (2017) yang berjudul "Pembuatan Aspal Polimer Menggunakan Karet SIR-20 Yang Diinisiasi Oleh Adanya Dikumul Peroksida Melalui Proses Ekstrusi.". Diketahui bahwa aspal polimer dapat dibuat dengan mencampurkan aspal, karet SIR-20, agregat, dan inisiator dikumul peroksida menggunakan ekstruder dengan komposisi ideal antara aspal, karet SIR-20, DCP, dan agregat (95:5:1:300). Untuk sifat mekanik dari aspal polimer menunjukkan peningkatan, yaitu menghasilkan daya tahan terhadap beban sebesar 0,75 MPa, untuk struktur permukaan memperlihatkan adanya perubahan fisik pada permukaan campuran aspal dengan bahan polimer. Hasil spektrum FTIR menunjukkan adanya serapan tajam dan kuat pada bilangan gelombang 698,21 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya gugus =C-H dari isoprena.

Hasil dari penelitian Yamali (2018) yang berjudul "Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Luar Pada Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Terhadap Karakteristik *Marshall*". Pengujian *Marshall* awal untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan variasi kadar aspal 7%, 8%, 9%, 10%, dan 11%. Setelah dilakukan pengujian, maka didapatkan seluruh karakteristik *Marshall* dengan persyaratan sesuai Spesifikasi Teknis 2010 Revisi 3 yang memenuhi persyaratan tersebut terletak pada rentang 9,6 % dan 10%. Nilai kadar aspal optimum optimum didapatkan dari nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan tersebut, yaitu 9,8%. Pengujian *Marshall* selanjutnya dengan menggunakan variasi dari karet ban luar 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Pada pengujian menggunakan karet ban terjadi perubahan karakteristik *Marshall*, tingkat kelenturan dan keawetan yang lebih baik, tetapi terdapat rongga udara yang banyak atau nilai VITM yang besar, sehingga nilai VFA menjadi kecil. Dari seluruh kadar karet dalam aspal yang memiliki tingkat kelenturan yang bagus pada kadar karet 3%, tetapi yang memenuhi seluruh syarat Spesifikasi Teknis 2010 Revisi 3 pada kadar karet 1,5%.

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan Gunarto (2019) berjudul "Penelitian Campuran Aspal Beton Dengan Menggunakan *Filler* Bunga Pinus.". Didapatkan

data yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga dengan Nilai pada Kadar aspal 6,5 % dengan nilai rerata Stabilitas 1417, nilai rerata *Flow* 3,6 mm, nilai rerata VITM (*voids In Mix*) 4,11%, nilai rerata VMA (*Void In Mineral Agregate*) 16,69%, nilai rerata VFB (Void Filled Bitumen) 73,57%, dan nilai rerata *Marshall Quotient* (MQ) 314 kg/mm.

Hasil dari penelitian Marwati (2021) yang berjudul "Pengaruh Substitusi Pet Dan Abu Bunga Pinus Menggunakan Metode Pencampuran Basah Dan Metode Pencampuran Kering Pada Campuran Laston Ac-Wc Terhadap Stabilitas.". a) pengaruh yang terjadi dari substitusi PET dan *filler* abu bunga pinus menunjukkan bahwa nilai stabilitas terbaik untuk metode pencampuran basah dan pencampuran kering, keduanya terdapat pada persentase PET 7% dengan kadar aspal 6,29%. Dari kedua metode ini, didapatkan nilai stabilitas tertinggi pada metode pencampuran kering dengan nilai sebesar 1291,43 kg, sedangkan dengan metode basah didapatkan nilai sebesar 1229,12 kg. Namun, kedua metode tersebut telah memenuhi spesifikasi yaitu ≥ 1000 kg, dan b) pada nilai durabilitas juga didapatkan nilai tertinggi pada metode pencampuran kering dengan nilai sebesar 91,55%, sedangkan untuk metode pencampuran basah didapatkan nilai sebesar 90,87%. Kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa campuran beraspal memiliki nilai keawetan dengan syarat $\geq 90\%$.

Menurut penelitian Sondakh (2022) yang berjudul "Analisis Campuran Aspal Beton dengan Mengganti Sebagian *Filler* Menggunakan Abu Dari Bunga Pinus Pada Perendaman Berulang.". Nilai Stabilitas pada variasi semakin menurun seiring bertambahnya kadar abu bunga pinus juga disertai dengan lama perendaman. Sebaliknya, Nilai *Flow* mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar abu bunga pinus yang mengurangi fungsi aspal. Namun dari semua perlakuan masih dalam nilainya dalam batas-batas spesifikasi Binamarga 2018.

2.2 Dasar Teori

Dalam dasar teori ini berisi tentang materi yang akan di bahas untuk penelitian ini, dan seluruh teori yang akan digunakan dalam penelitian ini. Adapun isi dari dasar teori ini sebagai berikut.

2.2.1 Lapis Permukaan

Pada umumnya, perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis lapisan perkerasan yang tersusun dari bawah ke atas, sebagai berikut.

1. Lapisan permukaan (*surface course*).
2. Lapisan pondasi atas (*base course*).
3. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*).
4. Lapisan tanah dasar (*subgrade*).

Karena sifat penyebaran gaya maka muatan yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin kebawah semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja. Lapis pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima gaya vertikal saja. Oleh karena itu terdapat perbedaan syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh masing-masing lapisan.

1. Lapis permukaan (*Surface Course*) berupa lapisan aus dan lapisan antara dari campuran beraspal
 - a. Lapis aus permukaan (*Wearing Course*) berfungsi :
 - 1) Menyelimuti perkerasan dari pengaruh air,
 - 2) Menyediakan permukaan yang halus,
 - 3) Menyediakan permukaan yang mempunyai karakteristik yang kasar, rata sehingga aman dan nyaman untuk dilalui pengguna, dan
 - 4) Menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya.
 - b. Lapis permukaan antara (*Binder Course*) berfungsi :
 - 1) Mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas dan meneruskannya ke lapis di bawahnya, harus mempunyai ketebalan dan kekakuan cukup, dan
 - 2) Mempunyai kekuatan yang tinggi pada bagian perkerasan untuk menahan beban paling tinggi akibat beban lalu lintas.
2. Lapis pondasi atas (*Base Course*) Dapat berupa granular agregat serta berpengikat baik aspal maupun semen mempunyai fungsi :
 - a. Mendukung beban pada lapis permukaan,
 - b. Mengurangi tegangan / regangan dan meneruskan / mendistribusikannya ke lapisan di bawahnya, dan

- c. Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
3. Lapis pondasi bawah (*Subbase Course*) Dapat berupa granular agregat dan berpengikat baik aspal maupun semen, mempunyai fungsi :
 - a. Sebagai lantai kerja untuk pelaksanaan lapisan pondasi,
 - b. Menyebarkan beban di atasnya,
 - c. Sebagai lapisan perata,
 - d. Mengalihkan *infiltrasi* air (*drainase*) dari lapisan pondasi,
 - e. Sebagai lapisan separator yang mencegah butiran halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi, dan
 - f. Efisiensi penggunaan material. Material pondasi bawah relatif murah dibandingkan dengan lapisan perkerasan di atasnya.
 4. Tanah dasar (*Subgrade*) Dapat berupa tanah asli, timbunan, galian atau hasil stabilisasi mempunyai fungsi:
 - a. Mempersiapkan lapisan di atasnya, dan
 - b. Mendukung beban perkerasan dan beban yang akan melalui perkerasan.

2.2.2 Aspal

Aspal yang juga disebut bitumen sebagai bahan pengikat merupakan senyawa hidrokarbon berwarna coklat gelap atau hitam pekat yang tersusun dari unsur "*asphaltenes*", "*resins*" dan "*oils*". *Asphaltenes* adalah bagian yang mempunyai berat jenis terbesar, *resins* mempunyai berat jenis sedang dan *oils* mempunyai berat jenis paling kecil. Aspal pada lapis keras jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran kompak, sehingga akan memberikan kekuatan yang lebih besar dari pada kekuatan masing-masing agregat. Aspal keras atau aspal semen (AC) adalah aspal yang dibuat dengan kekentalan dan kualitas khusus (Kerbs and Walker, 1971).

Aspal pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, jika dipanaskan sampai temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair, sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan beton aspal, sedangkan jika temperatur mulai turun aspal akan mengeras dan mengikat agregat (sifat termoplastis). Aspal yang umum digunakan saat ini adalah aspal minyak yang merupakan hasil residu dari proses destilasi minyak bumi.

2.2.3 Aspal Karet

Modifikasi aspal dengan karet merupakan sistem dua campuran yang mengandung karet dan aspal yang berfungsi untuk meningkatkan kinerja aspal antara lain mengurangi deformasi pada perkerasan, meningkatkan ketahanan terhadap retak dan meningkatkan kelekatan aspal terhadap agregat (Suroso, 2007). Stabilitas campuran aspal karet menunjukkan lebih tinggi dari stabilitas campuran dengan aspal biasa. Secara umum karakteristik campuran aspal karet lebih baik dibandingkan dengan campuran menggunakan aspal biasa (Iriansyah, 1992 sebagaimana dikutip Darunifah, 2007).

Limbah karet kendaraan tidak dapat dipakai kembali dan tidak larut di dalam tanah maupun air tanah, sehingga sangat membahayakan bagi lingkungan (Evaldo, 2014). Ban karet mengandung zat berbahaya seperti minyak *extender* 25% berasal dari benzena, stirena, turunan benzena, dan butadiena. Baik benzena dan butadiena, disinyalir merupakan racun yang membahayakan tubuh manusia (Fuzta, 2016). Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha untuk mengurangi jumlah limbah ban bekas tersebut, salah satunya dengan digunakan sebagai bahan tambah campuran latasir. Penggunaan ban bekas sebagai bahan tambah (additive) aspal telah diteliti oleh *US Department Of Transportation Federal Highway Administration* di Amerika sejak tahun 1986. Hasilnya penggunaan ban hasil parutan ban bekas mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas (AASHTO, 1982 sebagaimana dikutip Sugiyanto, 2008).

2.2.4 Ban Dalam

Ban dalam memiliki warna hitam pekat dan memiliki tekstur yang kenyal dan bersifat elastis. Ban bekas dihasilkan dari campuran karet alam dan karet sintetis yang diproduksi oleh pabrik ban dengan penambahan serat dan karbon. Dari komposisi yang dikandung karet dan plastik ini, dimana keduanya memiliki unsur karbon yang diproses dari minyak bumi dan aspal juga dihasilkan dari sisa minyak bumi. Penambahan limbah ban bekas pada campuran aspal berfungsi untuk mengurangi keretakan dan menambah daya tahan jalan (Prabudi, 2015).

Karena pada penelitian terdahulu tidak dijelaskan ban bekas jenis apa yang digunakan dalam penelitiannya, maka pada kesempatan kali ini peneliti

memutuskan untuk menggunakan karet limbah ban dalam bekas sebagai campuran aspal.

2.2.5 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, pasir atau mineral lainnya baik berupa agregat alam maupun agregat hasil pengolahan (penyaringan, pemecahan) yang digunakan sebagai bahan penyusun utama pada perkerasan jalan. Pemilihan jenis agregat yang dipakai untuk konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah tekstur permukaan, porositas, kelekatan terhadap aspal dan kebersihan (Widodo, 1996).

Agregat bentuk pecah akan memiliki gaya gesek dalam (*internal friction*) yang tinggi dan saling mengunci (*interlock*) sehingga menambah kestabilan konstruksi lapis keras. Untuk menghasilkan stabilitas yang tinggi disyaratkan bahwa minimum 40 % dari agregat tertahan saringan no.4 mempunyai paling sedikit satu bidang pecah (Widodo, 1996). Agregat sendiri terbagi menjadi dua yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar sendiri agregat yang tertahan pada saringan no.08 (2,36) dan agregat kasar sendiri berfungsi dalam campuran panas aspal adalah selain memberikan stabilitas dalam campuran juga sebagai pengisi sehingga campuran menjadi ekonomis. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan yang cukup terhadap abrasi, terutama untuk penggunaan agregat sebagai lapis permukaan perkerasan, selain itu agregat harus bersih dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat kasar harus awet, mempunyai kekekalan bentuk dan mempunyai muka bidang pecah (*angularitas*) yang cukup untuk memberikan daya dukung/stabilitas kepada campuran beraspal. (Widodo, 1996).

2. Agregat Halus

Agregat didefinisikan sebagai material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk mortar atau beton semen hidrolis atau adukan. Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat

yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut silt, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut clay. (Bintoro, 2018).

2.2.6 Filler

Bahan pengisi (*filler*) adalah agregat yang dalam analisa gradasi merupakan lolos saringan No. 200. (diameter 0.075 mm), dapat terdiri dari debu batu, kapur padam dan semen Portland, atau bahan non plastis lainnya. Bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu. Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk bambu. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas gumpalan-gumpalan dan mempunyai sifat non plastis dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus mengandung bahan lolos ayakan no.200. Fungsi *filler* dalam campuran adalah :

1. Sebagai pengisi antara agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan gesek serta penguncian antar butir yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan stabilitas campuran.
2. Jika ditambahkan ke dalam laston, bahan pengisi akan menjadi suspensi, sehingga terbentuk mastik yang bersama-sama dengan laston mengikat partikel agregat. Dengan penambahan bahan pengisi, laston menjadi lebih kental, dan campuran agregat laston menjadi bertambah kekuatannya.

Kadar *filler* dalam campuran beton laston akan berpengaruh pada proses campuran penghamparan, dan pemadatan. Selain itu, *filler* juga mempengaruhi sifat elastisitas campuran dan sensitivitasnya terhadap air.

2.2.7 Bunga Pinus

Bunga pada Tanaman Pinus termasuk ke dalam bunga berkelamin tunggal (*unisexualis*). Bunga Pinus ini terbagi menjadi dua, yaitu bunga jantan dan bunga betina. Bunga jantan memiliki bentuk silindris dengan panjang sekitar 2-4 cm. Sedangkan bunga betina memiliki bentuk kerucut, ujungnya runcing, memiliki sisik, berwarna cokelat, dan setiap bakal biji terdapat sayap, serta terletak di sepertiga bagian atas tajuk terutama di ujung dahan. Bunga Pinus ini pada umumnya berwarna kuning ketika muda dan berwarna kecoklatan ketika sudah tua (Sondakh, 2022). Namun bunga pinus yang digunakan dalam penelitian kali ini diambil dari pantai Tanjung Harapan Tanah Merah Samboja yang memiliki bentuk silindris

dengan panjang rata-rata 2 cm dan memiliki warna coklat. Bunga yang digunakan dikumpulkan di tanah setelah bunga pinus sudah kering dan terjatuh dari pohonnya. Gambar dari bunga pinus dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Bunga Pinus

(Sumber: <https://pin.it/2ikY4b2>)

2.2.8 Parameter *Marshall*

1. Stabilitas

Menurut Sukirman (2003:107), pemeriksaan Stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban, dan *Flow* meter mengukur besarnya deformasi yang terjadi akibat beban. Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai terjadi kelelahan plastis atau dengan arti lain yaitu kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*rutting*). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*), dan kadar aspal dalam campuran.

Pemakaian aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal diatas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas berpengaruh pada fleksibilitas lapis perkerasan yang dihasilkan.

Syarat nilai stabilitas adalah lebih dari 800 kg. Lapis perkerasan dengan nilai stabilitas kurang dari 800 kg akan mudah mengalami rutting , karena perkerasan bersifat lembek sehingga kurang mampu mendukung beban. Sebaliknya jika stabilitas perkerasan terlalu tinggi maka perkerasan akan mudah etak karena sifat perkerasan menjadi kaku. Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian *Marshall*. Hasil tersebut dicocokkan dengan angka kalibrasi proving ring dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi yang dipengaruhi oleh tebal benda uji.

Nilai stabilitas sesungguhnya diperoleh dengan rumus (1) di bawah ini:

$$S = p \times q \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

S = angka stabilitas sesungguhnya

P = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = angka koreksi benda uji

q = angka koreksi benda uji

2. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan plastis (*Flow*) menyatakan besar deformasi lapisan perkerasan akibat beban lalulintas. Suatu campuran dengan *Flow*nya yang tinggi, melampaui batas maksimum maka campuran cenderung menjadi plastis, sehingga mudah berubah bentuk jika terlalu banyak menerima beban. Sebaliknya bila nilai *Flow*nya rendah, maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika beban melampaui daya dukungnya. Besarnya nilai *Flow* diakibatkan oleh bertambahnya nilai kadar aspal, semakin tinggi kadar aspal semakin tinggi pula nilai *Flow*. (Sukirman, 2003:102).

3. *Void In The Mix* (VITM)

VITM adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. VITM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. VITM (*Void In The Mix*) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VITM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VITM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Air akan melarutkan komponen yang akan teroksidasi sehingga mengakibatkan terus berkurangnya kadar aspal dalam campuran. Penurunan kadar aspal dalam campuran menyebabkan lekatan antara butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (*revelling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan.

Syarat dari nilai VITM adalah 3,5% - 5%. Nilai VITM yang terlalu rendah akan menyebabkan bleeding karena pada suhu yang tinggi viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Pada saat itu apabila lapis perkerasan menerima beban lalu lintas maka aspal akan terdesak keluar permukaan karena tidak cukupnya rongga bagi aspal untuk melakukan penetrasi dalam lapis perkerasan. Nilai VITM yang lebih dari 5% akan mengakibatkan berkurangnya keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi.

VITM adalah persentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Nilai VITM akan semakin kecil apabila kadar aspal semakin besar. VITM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak.

Nilai VITM dihitung dengan rumus (2) – (5) di bawah ini :

$$VIM (100 - i - j) \dots\dots\dots (2)$$

$$b = \frac{aa}{100} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ \text{ .Agregat}} \dots\dots\dots (4)$$

$$j = \frac{(100-b)x g}{BJ.Agregat} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

- A = Persentase aspal terhadap batuan
- b = Persentase aspal terhadap campuran
- g = Persen rongga terisi aspal
- i dan j = rumus substitusi

4. *Void In The Mineral Aggregate (VMA)*

Menurut Sukirman (2003:85) rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis bulk (Gsb) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. Void In Mineral Agregate (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas, dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi

Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat, dan kadar aspal. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan nilai stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai VMA yang disyaratkan adalah 14%.

5. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

Void Filled With Asphalt (VFWA) adalah prosentase rongga campuran yang terisi aspal yang terdapat di antara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal. Hasil pengujian VFWA pada aspal AC-WC dengan penggunaan Abu Bunga Pinus sebagai bahan pengganti *filler* secara umum memperlihatkan peningkatan dan penurunan pada nilai VFWA.

6. *Marshall Quotient*

Marshall Quotient adalah hasil bagi antara stabilitas dengan *Flow*. Nilai

Marshall Quotient akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Nilai *Marshall Quotient* dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan *Flow*. Nilai *Marshall Quotient* yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm. Nilai *Marshall Quotient* di bawah 250 kg/mm mengakibatkan perkerasan mudah mengalami washboarding, rutting dan bleeding, sedangkan nilai *Marshall Quotient* yang tinggi mengakibatkan perkerasan menjadi kaku dan mudah mengalami retak.

Nilai dari *Marshall Quotient* (MQ) diperoleh dengan rumus (6) di bawah ini :

$$MQ = S / F \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

S = Nilai stabilitas

F = Nilai Flow

MQ = Nilai Marshall Quotient (kg/mm)

Setelah dilakukan analisis dari pengujian Marshall, dan didapat nilai nilai karakteristik Marshall, dibuat grafik hubungan antara kadar aspal terhadap nilai karakteristik tersebut. Berdasarkan grafik dan perbandingan terhadap spesifikasi yang diisyaratkan oleh Bina Marga, ditentukan kadar aspal optimum campuran.

Rancangan campuran berdasarkan Metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245- 90. Prinsip dasar Metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (Flow), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN (5000 lbs) dan Flow meter. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan Flow meter untuk mengukur kelelahan plastis atau Flow. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm). Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76. Secara garis besar pengujian Marshall meliputi: persiapan benda uji,

penentuan berat jenis bulk dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan Flow, dan perhitungan sifat volumetric benda uji.

Pada persiapan benda uji, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- 1) Jumlah benda uji yang disiapkan.
- 2) Persiapan agregat dan serat *polypropylene* yang akan digunakan.
- 3) Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.
- 4) Persiapan campuran aspal beton.
- 5) Pemadatan benda uji.
- 6) Persiapan untuk pengujian *Marshall*.

Jumlah benda uji yang disiapkan ditentukan dari tujuan dilakukannya uji *Marshall* tersebut. AASHTO menetapkan minimal 3 buah benda uji untuk setiap kadar *filler* serbuk bambu yang digunakan. Agregat yang akan digunakan dalam campuran dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105-110°C.