

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini peneliti menggunakan lateks sebagai campuran aspal dan penambahan *fly ash* sebagai campuran *filler* yang didasari oleh literatur atau referensi yang berhubungan dengan objek pembahasan. Referensi bertujuan untuk memberikan batasan-batasan terhadap pembahasan dari penelitian yang akan dikembangkan serta agar dapat menghasilkan hasil yang lebih baik dari referensi penelitian sebelumnya. Referensi penelitian terdahulu yang peneliti dapatkan dapat dilihat pada uraian berikut.

1. Hasil penelitian Iyan Irnandi Rahmawan (2019)

Penelitian Iyan Irnandi Rahmawan (2019), berjudul “*Pengaruh Penambahan Karet Alam (Lateks) pada Campuran Aspal HRS-WC dengan Abu Terbang (Fly ash) sebagai Filler*”. Penelitian ini dilakukan dengan harapan dengan melakukan penambahan bahan tambah lateks dan penggunaan *fly ash* sebagai *filler* dapat menghasilkan lapisan perkerasan HRS-WC yang lebih baik dan dapat memperpanjang umur rencana pelayanan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang pada tanggal 2 April 2019 sampai 10 April 2019. Pada penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 7%; 7,5%; 8%, variasi kadar *fly ash* 4%; 5%; 6%; dan variasi kadar lateks 7%, 8%, 9% untuk mencari kadar campuran yang optimum, ditinjau dari nilai karakteristik Marshall.

Hasil pengujian mendapatkan kadar optimum dengan nilai kadar aspal 7,5%. Menghasilkan nilai karakteristik Marshall dengan Stabilitas 954,38 kg, Flow 4,20%, VIM 4,03%, VMA 19,08%, Marshall Quotient 229,20 kg/mm, VFA 79,90%. Hasil pengujian mendapatkan campuran optimum dengan nilai kadar aspal 7,5%, kadar *fly ash* 4% dan kadar lateks 9%. Menghasilkan nilai karakteristik Marshall dengan Stabilitas 1104,72 kg (Naik 15,75%), Flow 3,40% (Turun 19,05%), VIM 4,85% (Naik 20,35%), VMA 19,77% (Naik 3,62%), Marshall Quotient 317,67 kg/mm (Naik

38,6%), VFA 75,24% (Turun 5,83%). Semua hasil pengujian pada campuran optimum memenuhi persyaratan spesifikasi HRS–WC yang telah ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018. Hasil Analisa korelasi sebesar 0,99899, hal ini menyatakan adanya hubungan yang kuat. Hasil pengujian hipotesis didapatkan adanya pengaruh variasi kadar lateks, variasi kadar *fly ash*, dan variasi kadar aspal pada nilai karakteristik marshall.

2. Hasil penelitian Andi Afriaziz, Nusa Sebayang, Ester Priskasari (2019)

Penelitian Andi Afriaziz, Nusa Sebayang, Ester Priskasari (2019) yang berjudul, “*Pengaruh Penambahan Karet Alam pada Campuran Aspal Beton Lapis Atas dengan Filler Fly ash*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengkombinasikan karet alam dengan menggunakan *filler* abu terbang batu bara pada campuran perkerasan AC–WC. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium. Pada penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; dan 7%. Sampel benda uji yang dibuat berjumlah 5 benda uji tiap kadar aspal dan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6% kemudian di variasikan dengan kadar karet alam sebesar 6%, 7%, 8%, 9%, 10%. Hasil pengujian mendapatkan Kadar Karet Alam Optimum (KKAO) sebesar 8%. Dari KKAO tersebut didapatkan nilai Stabilitas 1191,2 kg, *Flow* 3,55%, VIM 3,98%, VMA 17,61%, *Marshall Quotient* 335,8 kg/mm, VFA 77,35%. Semua hasil pengujian pada KKAO memenuhi persyaratan spesifikasi AC–WC yang telah ditetapkan oleh peraturan Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018.

3. Hasil penelitian Anas Tahir (2009)

Penelitian Anas Tahir (2009) yang berjudul, “*Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai karakteristik *Marshall* pada campuran beton aspal dengan menggunakan *filler* abu terbang batu bara. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu dengan suatu percobaan untuk mendapatkan hasil,

dengan demikian akan terlihat pemanfaatan *filler* abu terbang batu bara pada konstruksi beton aspal dengan variasi kadar *filler* 4%, 5%, 6%, 7%, 8% terhadap total campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *filler* abu terbang batu bara akan mempengaruhi karakteristik campuran beton aspal. Semakin banyak *filler* abu terbang batu bara yang digunakan, menyebabkan nilai stabilitas semakin meningkat. Pada kadar *filler* abu terbang batu bara 4% nilai stabilitas yang didapatkan sebesar 1518.124 kg, pada saat kadar *filler* abu terbang batu bara ditambahkan sampai pada kadar 8%, nilai stabilitas meningkat menjadi 1640.499 kg. Nilai fleksibilitas mengalami peningkatan seiring pertambahan kadar *filler* abu terbang batu bara. Dengan peningkatan rata-rata sebesar 14,87% dari kadar *filler* abu terbang batu bara 4% sampai 8% menunjukkan bahwa campuran lebih bersifat kaku. Durabilitas campuran mengalami peningkatan seiring pertambahan kadar *filler* abu terbang batu bara. Pada saat campuran menggunakan variasi kadar *filler* abu terbang batu bara sebesar 4%, memiliki nilai durabilitas sebesar 91.433%, setelah divariasikan dengan kadar *filler* abu terbang batu bara sampai pada 8%, nilai durabilitas meningkat menjadi 95.703%, dengan rata-rata peningkatan sebesar 2.02%.

4. Hasil penelitian Fauzie Nursandah, Moch. Zaenuri (2019)

Penelitian Fauzie Nursandah, Moch. Zaenuri (2019) yang berjudul, “*Penelitian Penambahan Karet Alam (Lateks) pada Campuran Laston AC-WC terhadap Karakteristik Marshall*”. Penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai karakteristik pada laston AC-WC pada nilai KAO dengan penambahan variasi lateks 3%, 5%, 7%, 9%, dan 11% dari total berat aspal pada benda uji. Pengujian menggunakan alat uji Marshall didapat nilai KAO sebesar 6,20% dari campuran laston AC-WC dengan variasi lateks 7% terhadap total berat aspal pada benda uji dimana semua perhitungan dan penelitian menggunakan alat uji marshall memenuhi. Didapat nilaistabilitas 1349,63 kg, nilai *Flow* 3,49 mm, nilai MQ 397,78 kg/mm, nilai VIM 4,35 %, nilai VMA 16,39 %, nilai VFB 72,62.

2.2 Perkerasan Jalan

Menurut Saodang (2005), perkerasan jalan adalah lapisan konstruksi yang dipasang di atas tanah dasar badan jalan pada jalur lalu lintas yang bertujuan untuk menerima dan menahan beban langsung dari lalu lintas. Menurut Sukirman (1999), berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*sub base course*), lapisan tanah dasar (*subgrade*).
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

Keuntungan menggunakan perkerasan lentur (Sukirman 1999) adalah sebagai berikut:

1. Dapat digunakan pada daerah dengan perbedaan penurunan (*differential settlement*) terbatas;
2. Mudah diperbaiki;
3. Tambahan lapisan perkerasan dapat dilakukan kapan saja;
4. Memiliki tahanan geser yang baik;
5. Warna perkerasan memberikan kesan tidak silau bagi pemakai jalan;

6. Dapat dilaksanakan bertahap, terutama pada kondisi biaya pembangunan terbatas atau kurangnya data untuk perencanaan.

Kerugian menggunakan perkerasan lentur (Sukirman 1999) adalah sebagai berikut:

1. Tebal total struktur perkerasan lebih tebal dari pada perkerasan kaku;
2. Kelenturan dan sifat kohesi berkurang selama masa pelayanan;
3. Frekwensi pemeliharaan lebih sering daripada menggunakan perkerasan kaku;
4. Tidak baik digunakan jika sering digenangi air;
5. Membutuhkan agregat lebih banyak.

2.2.1 Struktur Perkerasan Lentur

Struktur dari perkerasan lentur ini terdiri dari beberapa lapisan. Lapisan itu sendiri terdiri dari yang paling atas lapisan permukaan (*surface course*) yaitu lapis aus dan lapis antara, setelah dilanjutkan dengan lapisan pondasi yaitu lapis pondasi atas (*base course*) dan lapis pondasi bawah (*subbase course*). Serta yang paling bawah yaitu tanah dasar (*subgrade*). Setiap lapisan mempunyai peran untuk memikul beban lalu lintas dimana beban lalu lintas yang terpusat disalurkan ke lapisan dibawahnya dengan menyebarkan dari beban itu sendiri.

1. Lapis Permukaan (*surface course*)

Menurut Sukirman (1999) Lapis permukaan merupakan lapisan yang paling atas dari struktur perkerasan lentur, yang mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a. Lapis penahan beban vertikal dari kendaraan, oleh karena itu lapisan harus memiliki stabilitas yang tinggi.
- b. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atas lapis permukaan tidak meresap ke lapis di bawahnya yang berakibat rusaknya struktur perkerasan jalan.
- c. Lapis yang menyebarkan beban ke lapis pondasi.
- d. Lapis aus (*wearing course*) lapisan yang langsung berhubungan dengan roda kendaraan sehingga menerima gesekan dan getaran roda dari kendaraan hingga mudah menjadi aus.

Menurut Sukirman (2010), lapis permukaan perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya sehingga menghasilkan lapis yang kedap air, berstabilitas tinggi, dan memiliki daya tahan selama masa pelayanan. Lapis permukaan ini terdiri dari lapis aus dan antara, perbedaan dari kedua lapis ini yaitu dikarenakan lapis aus (*wearing course*) berada dipaling atas maka mengakibatkan kontak langsung dengan roda kendaraan, hujan, dingin, dan panas sehingga lapis paling atas ini cepat menjadi rusak dan aus. Sedangkan lapis antara (*binder course*) berfungsi untuk memikul beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke lapis pondasi.

2. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas (*Base Course*). Lapis pondasi atas adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi bawah dan lapisan permukaan. Mempunyai fungsi sebagai:

- a. Bagian perkerasan yang menahan gaya dari beban roda dan menyebarkan ke lapisan bawahnya.
- b. Sebagai lapisan peresapan untuk pondasi bawah.
- c. Memberikan bantalan terhadap lapisan permukaan (pemikul beban horizontal dan vertikal).

3. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase*)

Lapis pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Mempunyai fungsi sebagai :

- a. Bagian dari konstruksi perkerasan menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
- b. Mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
- c. Efisiensi penggunaan material. Material pondasi bawah lebih relatif murah dibandingkan yang berada di atas.
- d. Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar ke lapis atas.
- e. Sebagai lapisan peresapan agar air tanah tidak mengumpul di pondasi maupun di tanah dasar.

- f. Sebagai lapisan pertama agar pelaksanaan pekerjaan dapat berjalan lancar.

4. Lapis Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan tanah setebal 50-100 cm yang terletak di bawah ketiga lapisan diatas merupakan lapis tanah dasar (*subgrade*). Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan. Jika tanah aslinya baik, tanah yang didatangkan dari daerah lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Pemadatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana. Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapis tanah dasar dibedakan atas:

- a. Lapisan tanah dasar, tanah galian.
- b. Lapisan tanah dasar, tanah timbunan.
- c. Lapisan tanah dasar, tanah asli.

2.3 Agregat

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. Menurut ASTM agregat merupakan suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Menurut Sukirman (2003) Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

2.3.1 Jenis Agregat

Menurut Sukirman (2016), agregat dapat dibedakan berdasarkan proses terjadinya, pengolahan, dan ukuran butirnya.

1. Berdasarkan proses terjadinya

a. Agregat Beku (*Igneous Rock*)

Agregat beku (*igneous rock*) adalah agregat yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Agregat beku dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- Agregat beku luar (*extusive igneous rock*) dibentuk dari magma yang keluar ke permukaan bumi di saat gunung berapi meletus, dan akibat pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku. Pada umumnya agregat beku luar berbutir halus seperti batu apung, *andesit, basalt, obsidian, pumice*.
- Agregat beku dalam (*intrusive igneous rock*) dibentuk dari magma yang tak dapat keluar ke permukaan bumi, mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan-lahan di dalam bumi, dapat ditemui di permukaan bumi karena proses erosi dan atau gerakan bumi. Agregat beku dalam umumnya bertekstur kasar seperti *gabbro, diorite, syenit*.

b. Agregat Sedimen (*Sedimentary Rock*)

Agregat sedimen (*sedimentary rock*) dapat berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan. Pada umumnya merupakan lapisan-lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut dan sebagainya. Ses mekanik, organis, dan kimiawi.

c. Agregat Metamorfik (*Metamorphic Rock*)

Agregat metamorfik (*metamorphic rock*) adalah agregat sedimen ataupun agregat beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperature kulit bumi. Berdasarkan strukturnya dapat dibedakan atas agregat metamorf yang masif seperti marmer, kwarsit dan agregat metamorf yang berfoliasi, berlapis seperti batu sabak, *filit, sekis*.

2. Berdasarkan Pengolahannya

a. Agregat Siap Pakai

Agregat siap pakai adalah agregat yang dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran sebagaimana

diperoleh di lokasi asalnya, atau dengan sedikit proses pengolahan. Agregat ini terbentuk melalui proses erosi dan degradasi. Agregat ini juga sering disebut sebagai agregat alam. Dua bentuk dan ukuran agregat alam yang sering dipergunakan sebagai material perkerasan jalan yaitu kerikil dan pasir.

b. Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai

Agregat ini merupakan agregat yang diperoleh di bukit-bukit, di gunung-gunung, ataupun di sungai-sungai. Agregat yang berasal dari gunung, bukit, sungai yang perlu melalui proses pengolahan terlebih dahulu di mesin pemecah batu, umumnya lebih baik sebagai material perkerasan jalan, karena mempunyai bidang pecahan, bertekstur kasar dan ukuran agregat sesuai yang diinginkan. Disamping itu terdapat pula agregat yang merupakan hasil olahan pabrik seperti semen dan kapur, atau limbah, atau limbah industri seperti abu terbang.

3. Berdasarkan ukuran butirnya

The Asphalt Institut dan *Deskrimpraswil* dalam *Spesifikasi Baru Campuran Panas, 2002* membedakan agregat menjadi:

- a. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No. 8 (2,36 mm).



Gambar 2.1 Agregat Kasar

- b. Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 8 (2,36 mm).



Gambar 2.2 Agregat Halus

- c. Bahan pengisi (*filler*), adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No. 30 (0,60 mm).



Gambar 2.3 *Filler*

Bina Marga membedakan agregat menjadi:

- a. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm).



Gambar 2.4 Agregat Kasar

- b. Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 4 (4,75 mm).



Gambar 2.5 Agregat Halus

2.3.2 Sifat Agregat sebagai Material Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (2003), sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Oleh karena itu perlu pemeriksaan yang teliti sebelum diputuskan apakah suatu agregat dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya ikat aspal dengan agregat.

Menurut Saodang (2005), Agregat di Indonesia umumnya mempunyai daya serap yang tinggi (misal absorpsi bitumen rata-rata sekitar 2% terhadap berat campuran aspal), demikian juga pasir bervariasi mulai dari pasir vulkanis yang sangat bear friksinya, pasir yang sukar dipadatkan dan pasir laut yang lembut mudah dipadatkan tapi campuran aspalnya relatif rendah kekuatannya.

Untuk memastikan bahwa campuran aspal dapat dibuat baik diperlukan serangkaian test untuk agregat dan campurannya, oleh karena itu perlu pemeriksaan yang teliti sebelum diputuskan suatu agregat dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan. Menurut Sukirman (2016), Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah sebagai berikut:

1. Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan. Gradasi adalah susunan butir

agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Satu set saringan umumnya terdiri dari beberapa ukuran saringan. Gradasi agregat dapat diperiksa dengan melakukan pengujian analisa saringan berdasarkan SNI ASTM C 1360-06-2012. Ukuran saringan dalam ukuran panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor saringan menunjukkan banyaknya bukaan dalam 1 inci panjang, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Ukuran Bukaan Saringan

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Ukuran Saringan	Bukaan (mm)
4 inch	100	3/8 inch	9,5
3 ½ inch	90	No. 4	4,75
3 inch	75	No. 8	2,36
2 ½ inch	63	No. 16	1,18
2 inch	50	No. 30	0,6
1 ½ inch	37,5	No. 50	0,3
1 inch	25	No. 100	0,15
¾ inch	19	No. 200	0,075
½ inch	12,5		

(Sumber : SNI 03-1968-1990)

Menurut Sukirman (2016), agregat bergradasi buruk tidak memenuhi persyaratan gradasi baik. Terdapat berbagai macam nama gradasi agregat yang dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi buruk, seperti:

- a. Agregat bergradasi seragam, adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Campuran agregat ini mempunyai rongga antar butir yang cukup besar, sehingga sering dinamakan juga agregat bergradasi terbuka. Rentang distribusi ukuran

butir yang ada pada agregat bergradasi seragam tersebar pada rentang yang sempit.

- b. Agregat bergradasi terbuka, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga rongga-rongganya tidak terisi dengan baik.
- c. Agregat bergradasi senjang adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali.

2. Ukuran Maksimum Agregat

Ukuran maksimum agregat adalah satu saringan atau ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum, dapat dinyatakan dengan:

- a. Ukuran Maksimum Agregat, menunjukkan ukuran saringan terkecil bilamana agregat yang lolos saringan tersebut sebanyak 100%.
- b. Ukuran Nominal Maksimum Agregat, menunjukkan ukuran saringan terbesar bilamana agregat tertahan tidak lebih dari 10%.

3. Kebersihan Agregat (*Cleanliness*)

Kebersihan agregat ditentukan dari banyaknya butir-butir halus yang lolos saringan No. 200, seperti adanya lempung, lanau, ataupun adanya tumbuh-tumbuhan pada campuran agregat.

4. Daya Tahan Agregat

Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat terhadap adanya penurunan mutu akibat proses mekanis dan kimiawi. Agregat dapat mengalami degradasi yaitu perubahan gradasi akibat pecahnya butir-butir agregat. Kehancuran agregat dapat disebabkan oleh proses mekanis, seperti gaya-gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan jalan, pelayanan terhadap beban lalu lintas, dan proses kimiawi, seperti pengaruh kelembaban, kepanasan dan perubahan suhu sepanjang hari. Ketahanan agregat terhadap degradasi diperiksa dengan pengujian abrasi menggunakan alat abrasi *Los Angeles*, sesuai dengan SNI- 2417-2008.

5. Bentuk dan Tekstur Agregat

Berdasarkan bentuknya, partikel atau butir agregat dikelompokkan menjadi berbentuk bulat, lonjong, pipih, kubus, tak beraturan, atau mempunyai bidang pecahan.

6. Berat Jenis Agregat dan Penyerapan

Di dalam perhitungan rancangan campuran dibutuhkan parameter penunjuk berat yaitu berat jenis agregat. Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Agregat dengan berat jenis kecil, mempunyai volume yang besar atau berat yang ringan. Terdapat beberapa jenis berat jenis agregat (*specific gravity*) yaitu sebagai berikut:

a. Berat Jenis Curah Kering (*Bulk Specific Gravity*)

Berat jenis yang merupakan perbandingan antara berat dari satuan volume agregat (termasuk rongga yang *impermeable* dan *permeable* di dalam butir partikel, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel) pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu.

b. Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan (*Saturated Surface Dry*)

Berat jenis yang merupakan perbandingan antara berat dari satuan volume agregat (termasuk berat air yang terdapat di dalam rongga akibat perendaman selama (24 ± 4) jam, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel) pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu.

c. Berat jenis semu *apparent* (*Apparent Specific Gravity*)

Berat jenis yang merupakan perbandingan antara berat dari satuan volume suatu bagian agregat yang impermiabel pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu.

d. Penyerapan Air (*Absorption*)

Penyerapan air adalah penambahan berat dari suatu agregat akibat air yang meresap ke dalam pori-pori, tetapi belum termasuk air yang

tertahan pada permukaan luar partikel, dinyatakan sebagai persentase dari berat keringnya; agregat dikatakan "kering" ketika telah dijaga pada suatu temperatur $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ dalam rentang waktu yang cukup untuk menghilangkan seluruh kandungan air yang ada (sampai beratnya tetap)

2.4 *Filler*

Menurut Risky Aynin Hamzah *et all* (2016), *filler* merupakan material pengisi dalam lapisan aspal. *Filler* dalam campuran beton aspal adalah bahan yang 100% lolos saringan No. 100 dan paling kurang 75% lolos saringan No. 200. Fungsi *filler* yaitu untuk mengisi rongga antar agregat halus dan kasar yang dapat diperoleh dari hasil pemecahan batuan secara alami maupun buatan. Macam bahan pengisi yang dapat digunakan ialah abu batu, kapur padam, *portland cement* (PC), debu *dolomite*, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya.

Bahan pengisi bertujuan untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Keuntungan lain dengan adanya bahan pengisi adalah karena banyak terserap dalam bahan bitumen maka akan menaikkan volumenya. Selain itu bahan pengisi (*filler*) dapat mengurangi volume pori-pori atau rongga sehingga dapat meningkatkan kepadatan dan dapat menurunkan permeabilitas campuran aspal. Berikut ini adalah Tabel 2.2 yang berisi tentang ketentuan mengenai bahan pengisi (*Filler*).

Tabel 2.2 Syarat gradasi bahan pengisi (*filler*)

Ukuran Saringan	% Lolos
No. 30 (0,59 mm)	100
No. 50 (0,279 mm)	95 – 100
No. 100 (0,149 mm)	90 – 100
No. 200 (0,075 mm)	65 – 100

(Sumber: Bina Marga, 1995)

2.5 Aspal

Menurut Hardiyatmo (2013) aspal didefinisikan material hasil penyaringan minyak mentah dan merupakan hasil dari industri perminyakan. Aspal merupakan

material untuk perekat, yang berwarna coklat gelap sampai hitam dengan unsur pokok yang dominan adalah bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun.

2.5.1 Jenis Aspal

Menurut Sukirman (2016), berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam yaitu aspal yang didapatkan di suatu tempat di alam dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu pengilangan minyak bumi.

1. Aspal Alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di Pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti di Trinidad. Aspal alam terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau (*Trinidad Lake Asphalt*). Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton, yang berupa aspal gunung, terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Batu Buton). Asbuton merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Karena asbuton merupakan mineral yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi.

Produk asbuton dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

- a. Produk asbuton yang masih mengandung material *filler*, seperti asbuton kasar, asbuton halus, asbuton mikro, dan *butonite mastic asphalt*.
- b. Produk asbuton yang telah dimurnikan menjadi aspal murni melalui proses ekstraksi atau proses kimiawi.

2. Aspal Minyak

Setiap minyak bumi yang menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *parafin base crude oil* yang banyak

mengandung parafin atau *mix base crude* yang banyak mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*. Jika di lihat bentuknya pada temperatur ruang, aspal minyak di bedakan atas:

a. Aspal padat

Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*).

b. Aspal cair

Aspal cair (*cutback asphalt*) yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar.

c. Aspal emulsi

Aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah suatu campuran aspal dengan air atau bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair daripada aspal cair. Di dalam aspal emulsi, butir-butir aspal larut dalam air. Untuk menghindari butiran aspal saling menarik membentuk butir-butir yang lebih besar maka butiran tersebut diberi muatan listrik.

2.5.2 Sifat Aspal

Menurut Sukirman (2003), aspal atau dalam istilah baku asphalt bitumen terdiri dari unsur carbon (C) sebagai komponen utama yaitu $\pm 80\%$. Aspal yang dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai;

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat itu sendiri.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.
3. Bahan pengikat antara lapisan pekerasan lama dengan lapis perkerasan baru.

Penggunaan aspal pada perkerasan jalan dapat melalui dicampurkan pada agregat sebelum dihamparkan (prahampar), seperti lapisan beton aspal atau disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan dan ditutupi oleh agregat-agregat yang lebih halus (pascahampar), seperti perkerasan penetrasi makadam atau pelaburan. Fungsi utama aspal untuk kedua jenis proses pembentukan perkerasan yaitu proses pencampuran prahampar, dan pascahampar itu berbeda. Pada proses prahampar aspal yang dicampurkan dengan agregat akan membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antar butir, dan meresap ke dalam pori masing-masing butir. Pada proses pascahampar, aspal disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan, lalu di atasnya ditaburi butiran agregat halus. Pada proses ini aspal akan meresap ke dalam pori-pori antar butir agregat dibawahnya. Fungsi utamanya adalah menghasilkan lapisan perkerasan bagian atas yang kedap air dan tidak mengikat agregat sampai ke bagian bawah.

Dalam artian lain berarti aspal haruslah mempunyai daya tahan (tidak cepat rapuh), tahan terhadap cuaca, mempunyai adhesi dan kohesi yang baik serta kekerasan aspal yang memberikan sifat elastis yang baik.

1. Daya Tahan (*Durability*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat aslinya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sift agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan, dan lain sebagainya. Meskipun demikian sifat ini dapat diperkirakan dari pemeriksaan *Thin Film Ovenest* (TFOT).

2. Adhesi dan Kohesi

Adhesi merupakan kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

3. Kepekaan terhadap Temperatur

Aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan

terhadap perubahan temperatur. Kepekaan terhadap temperatur dari setiap hail produksi aspal berbeda-beda tergantung dari asalnya walaupun aspal tersebut mempunyai jenis yang sama.

4. Kekerasan Aspal

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat dilapisi aspal atau aspa panas disiramkan ke permukaan agregat yang telah disiapkan pada proses pelaburan. Pada proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi gas (viskositas bertambah tinggi). Peristiwa perapuhan terus berlangsung setelah masa pelaksanaan selesai. Jadi selama masa pelayanan, aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi juga oleh ketebalan aspal yang meliputi agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi.

2.5.3 Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Pemeriksaan aspal perlu dilakukan untuk menentukan sifat fisik dan kimiawi aspal. Secara garis besar sesuai tujuannya pemeriksaan aspal dapat dikelompokkan menjadi 6 bagian pengujian, antara lain:

1. Pengujian untuk menentukan komposisi aspal.
2. Pengujian untuk mendapatkan data yang berguna bagi keselamatan bekerja.
3. Pengujian konsistensi aspal.
4. Pengujian durabilitas aspal.
5. Pengujian kemampuan aspal untuk mengikat agregat.
6. Pengujian berat jenis aspal yang dibutuhkan untuk merencanakan campuran aspal dengan agregat.

Dari pengelompokan tersebut maka dapat dilakukan beberapa pemeriksaan karakteristik aspal antara lain adalah sebagai berikut:

1. Berat Jenis Aspal

Salah satu jenis pengujian yang terdapat dalam persyaratan mutu aspal adalah berat jenis. Selain untuk memenuhi persyaratan aspal, berat jenis juga diperlukan pada saat pelaksanaan untuk konversi dari berat ke volume atau sebaliknya. Pengujian berat jenis aspal dilakukan dengan cara

membandingkan massa suatu bahan dengan massa air pada isi dan temperatur yang sama.

2. Daktilitas Aspal

Daktilitas aspal adalah sifat pemuluran aspal yang diukur pada saat putus. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat kohesi dan plastisitas aspal dengan cara memasukkan benda uji ke dalam bak perendam selama 85 menit sampai dengan 95 menit, lepaskan benda uji dari pelat dasar dan langsung pasang ke mesin uji dengan cara memasukkan lubang cetakan ke pemegang di mesin lalu jalankan mesin dan ukur pemuluran benda uji pada saat putus.

3. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk mengetahui kekerasan pada aspal yang mengacu dari kedalaman masuknya jarum penetrasi secara vertikal yang dinyatakan dalam satuan 0,1 mm pada kondisi beban, waktu dan temperatur yang diketahui.

4. Titik Lembek Aspal

Pengujian titik lembek dengan alat cincin dan bola bertujuan untuk menentukan angka titik lembek yang berkisar dari 30°C sampai dengan 157°C.

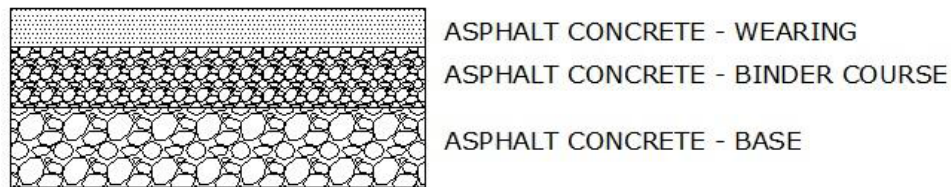
5. Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal ini bertujuan untuk mengetahui temperatur dimana aspal mulai menyala dan temperatur dimana aspal mulai terbakar. Informasi ini sangat penting diperlukan serta dibutuhkan untuk proses pencampuran demi keselamatan dalam bekerja.

2.6 Lapisan Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)

Lapisan AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural. Campuran ini terdiri atas agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Laston adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras

dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu. (Sukirman, 2003).



Gambar 2.6 Lapisan Aspal Beton AC-WC, AC-BC, dan AC-Base

Ada beberapa jenis beton aspal campuran panas, namun dalam penelitian ini jenis beton aspal campuran panas yang akan ditinjau adalah AC-WC. Laston sebagai lapis aus (*Wearing Course*) adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan dengan tebal nominal minimum 4 cm. Lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya kelapisan dibawahnya berupa muatan kendaraan (gaya vertikal), gaya rem (horizontal) dan pukulan roda kendaraan (getaran). Karena sifat penyebaran beban, maka beban yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin kebawah semakin besar. Lapisan yang paling atas disebut lapisan permukaan dimana lapisan permukaan ini harus mampu menerima seluruh jenis beban yang bekerja. Oleh karena itu lapisan permukaan mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. Lapis perkerasan penahan beban roda, harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
2. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan dibawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
3. Lapis aus, lapisan yang langsung menerima gesekan akibat gaya rem dari kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
4. Lapisan yang menyebarkan beban kelapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang ada di bawahnya. Untuk dapat memenuhi fungsi tersebut diatas, pada umumnya lapisan permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang

kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama. (Sukirman, 2003)

2.7 Lateks (Karet Alam)

Lateks adalah getah yang dikeluarkan oleh pohon karet dan merupakan larutan koloid dengan partikel karet dan bukan karet yang tersuspensi didalam suatu media yang banyak mengandung bermacam-macam zat (*substance*). Karet alam adalah hidrokarbon yang merupakan makro molekul *poliisoprene* (C₅ H₈). Rantai *poliisoprene* tersebut membentuk konfigurasi “Cis” dengan susunan ruang yang teratur, sehingga rumus kimianya 1,4 CIS *poliisoprene* mempunyai sifat kenyal (elastis). Sifat kenyal tersebut berhubungan dengan viskositas atau plastisitas karet (Iyan Irnandi Rahmawan 2019).

Lateks diperoleh dari getah beberapa jenis tumbuhan karet dengan cara melukai kulit pohon sehingga pohon akan memberikan respon yang menghasilkan lebih banyak pada suhu normal, karet tidak berbentuk (*amorfo*). Pada suhu rendah karet akan mengkristal. Dengan meningkatnya suhu, karet akan mengembang, Penurunan suhu akan mengembalikan keadaan mengembang ini. Inilah alasan mengapa karet bersifat elastis. Karet terdiri dari senyawa kimia yang disebut hidrokarbon. Hidrokarbon dari karet alam tersusun atas rantai-rantai panjang yang mengandung 1000-5000 unit *isoprene*. Rantai merupakan rantai *polyisoprene* (C₅H₈), Susunan ruang demikian membuat karet mempunyai sifat kenyal. Pada setiap ikatan *isoprene* terdapat ikatan rangkap gugus metilen, gugus ini merupakan gugus reaktif yang dapat menyebabkan reaksi oksidasi sehingga dapat merusak karet (Hofman, 1989).

Menurut Thomson PD (1964), penggunaan Lateks pekat yang diperoleh dengan cara pemusingan dapat mengandung karet mumi enam puluh persen dan sisanya sebanyak empat puluh persen adalah air dan amoniak. Ketmtungan cara ini adalah dapat terpisalnya bahan yang bukan karet, schingga diperoleh lateks pckat yang mengandtmg scdikit zat padat. Kadar protein rendah dan bebas kotoran serta bebas endapan jenis lateks ini dikenal dengan nama lateks KKK 60 (Kadar Karet Kering 60%).



Gambar 2.7 Karet Alam (Lateks)

2.8 Abu Terbang (*Fly ash*)

Fly ash merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan oleh industri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar untuk proses produksinya. Menurut Tahir, Anas (2009, p. 264), abu terbang/*fly ash* merupakan bahan organik sisa pembakaran batu bara dan terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran. Pada pembakaran batu bara dalam pembangkit tenaga listrik terbentuk dua jenis abu yakni abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). *Fly ash* memiliki sifat sebagai pozzolan, yaitu suatu bahan yang mengandung silika atau alumina silika yang tidak mempunyai sifat perekat (sementasi) pada dirinya sendiri tetapi dengan butirannya yang sangat halus bisa bereaksi secara kimia dengan kapur dan air membentuk bahan perekat pada temperatur normal. Berikut ini adalah hasil komposisi kimia abu terbang pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia pada Abu Terbang

No.	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji
1	SiO	%	48,51
2	Al ₂ O ₃	%	15,3
3	Fe ₂ O ₃	%	8,68
4	CaO	%	3,76
5	Na ₂ O	%	1,71
6	K ₂ O	%	1,05
7	MgO	%	2,21
8	H ₂ O	%	18,76

(Sumber: Anas Tahir, 2009 p. 269)



Gambar 2.8 *Fly ash/Abu Terbang*

2.9 Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi merupakan aspal keras yang dicampur dengan suatu bahan tambah yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja aspal yang diinginkan. Menurut Muhammad Hadid *et al* (2020), salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan nilai stabilitas pada campuran aspal sekaligus mengurangi kadar aspal dalam campuran antara lain dengan menambahkan bahan aditif pada campuran aspal, salah satu bahan aditif yang dapat ditambahkan adalah polimer. Plastik merupakan salah satu polimer yang didapat dari turunan minyak bumi sama halnya seperti aspal maka dari itu keduanya menjadi satu kesatuan.

2.10 Karakteristik *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan pada campuran *asphalt concrete wearing course* (AC-WC) untuk mencari data dari persyaratan campuran dan memperoleh hasil perhitungan akhir dari sifat-sifat *Marshall*, seperti:

1. Volume Pori Beton Aspal Padat (*Void In Mix = VIM*)

VIM adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. VIM juga mempunyai arti banyak pori di antara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VIM 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. VIM yang terlalu besar mengakibatkan beton aspal padat kurang kedapannya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan

menurunkan sifat durabilitas beton aspal. VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat. Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dan VIM akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum. Menurut spesifikasi Binamarga 2018 Revisi 2, nilai VIM yang memenuhi standar adalah 3-5 %.

2. Volume Pori Di Antara Butir Agregat Campuran (*Void In The Mineral Aggregate = VMA*)

VMA merupakan volume pori di dalam beton aspal padat jika seluruh selimut aspal ditiadakan. Tidak termasuk di dalam VMA volume pori di dalam pori masing-masing butir agregat. VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka. Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dan VMA akan turun sampai mencapai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya kadar aspal. Menurut spesifikasi Binamarga 2018 Revisi 2, nilai VMA yang memenuhi standar adalah >15%

3. Volume Pori Beton Aspal Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*Volume Of Voids Filled With Asphalt = VFA*)

Banyaknya pori di antara butir agregat di dalam beton aspal padat, yang terisi oleh aspal dinyatakan sebagai VMA. Persentase pori antara butir agregat yang terisi aspal dinamakan VFA. Jadi, VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk di dalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Dengan demikian, aspal yang mengisi VFA adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat atau dengan kata lain VFA inilah yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal. Menurut spesifikasi Binamarga 2018 Revisi 2, nilai VIM yang memenuhi standar adalah >65%.

4. Stabilitas

Pengujian nilai stabilitas adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Pemeriksaan stabilitas

diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukuran yang dikalikan dengan nilai kalibrasi *proving ring* dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji. Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dan stabilitas akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum dan setelah itu nilai stabilitas akan menurun. Menurut spesifikasi Binamarga 2018 Revisi 2, nilai stabilitas yang memenuhi standar adalah >800 kg.

5. Kelelahan (*Flow*)

Pengujian kelelahan adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan. *Flowmeter* mengukur besarnya deformasi yang terjadi akibat beban. Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dan *flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal. Menurut spesifikasi Binamarga 2018 Revisi 2, nilai *flow* yang memenuhi standar adalah 2-4 mm.

6. Marshall Quotient

Marshall Quotient merupakan hasil bagi Marshall dengan *flow*. Nilai *flow* menggambarkan nilai fleksibilitas dari campuran. Semakin besar nilai MQ berarti campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil nilai MQ, maka campuran semakin lentur. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil bagi Marshall yaitu nilai stabilitas dan *flow*, penetrasi, viscositas aspal, kadar aspal campuran, bentuk dan tekstur permukaan agregat, gradasi agregat.

2.11 Pengujian Marshall

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall yang dikembangkan pertama kali oleh *Burce Marshall* dan dilanjutkan oleh *U.S. Corps Engineer*. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 22,2 KN (=5000lbf) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, sedangkan *flowmeter*

digunakan untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji untuk pengujian Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci (=10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (=6,35 cm). Secara garis besar pengujian Marshall meliputi persiapan benda uji, penentuan berat jenis *bulk* dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*, dan perhitungan sifat volumetrik benda uji.