

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Hasil Uji Pendahuluan

4.1.1 Pengujian *Filler*

Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah serbuk batu marmer dari UD. Anak Agung, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur yang sudah melewati uji berat jenis dan analisa saringan. Hasil pengujian berat jenis dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Bahan Pengisi

| Jenis | Standar | Persyaratan | | Hasil | Lampiran |
|---------------------------|------------------|-------------|------|-------|----------|
| | | Min | Maks | | |
| Limbah serbuk batu marmer | | | | | |
| Berat jenis | SNI 15-2049-2004 | 2.5 | | 2,79 | 13 |

Untuk analisa saringan *filler* limbah serbuk batu marmer dapat dilihat pada tabel perbandingan analisa saringan *filler* limbah serbuk batu marmer dan semen di bawah ini:

Tabel 4.2 Analisa Saringan *Filler* Limbah Serbuk Batu Marmer dan Semen

| Ukuran Ayakan (mm) | Gradasi Limbah Serbuk Batu Marmer | | | Gradasi Semen PC | | |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | Berat (gr) | Prosen Tertahan(%) | Prosen Lolos (%) | Berat (gr) | Prosen Tertahan(%) | Prosen Lolos (%) |
| 19 | 0 | | 100.00 | | | 100 |
| 12.5 | | | 100 | | | 100 |
| 9.5 | | | 100 | | | 100 |
| 4.75 | | | 100 | | | 100 |
| 2.36 | | | 100 | | | 100 |
| 0.6 | | | 100 | | | 100 |
| 0.3 | | | 100 | 0 | 0 | 100 |
| 0.074 | 8.30 | 3.30 | 96.70 | 12.20 | 4.00 | 96.00 |
| Pan | 243.40 | 96.70 | | 1.50 | 96.00 | |

Dari tabel perbandingan di atas dapat dilihat bahwa persentase lolos *filler* limbah serbuk batu marmer lebih besar 0,7% dari persentase lolos *filler* semen.

4.1.2 Pengujian Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal keras yang berasal dari Cilacap, Jawa Tengah yang sudah tersedia di Laboratorium Jalan Balai Irigasi Bekasi. Hasil uji pendahuluan untuk aspal dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Pendahuluan Aspal

| Jenis Pemeriksaan | Standar uji | Persyaratan Pen 80 | | Hasil Pengujian | Satuan | Lampiran |
|------------------------------------|------------------|--------------------|-----|-----------------|--------|----------|
| | | min | max | | | |
| 1. Berat jenis (25°C) | SNI 06-2488-1991 | 1 | - | 1,04965 | - | 4 |
| 2. Daktilitas (25°C, 5 cm / | SNI 06-2432-1991 | 100 | - | 125 | Cm | 5 |
| 3. Titik Lembek | SNI 06-2434-1991 | 46 | 54 | 46 | °C | 8 |
| 4. Penetrasi (25°C, 5 detik) | SNI 06-2456-1991 | 80 | 99 | 85,75 | 0,1 mm | 6 |
| 5. Titik Nyala (clev. open cup) | SNI 06-2433-1991 | 225 | - | 340 | °C | 7 |

4.1.3 Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan merupakan batu pecah yang sudah tersedia di Laboratorium Jalan Balai Irigasi. Tabel 4.4 berikut menunjukkan hasil uji pendahuluan terhadap agregat kasar. Untuk hasil analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada lampiran 15.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Agregat Kasar

| Jenis | Standar | Persyaratan | | Hasil Pengujian | Lampiran |
|----------------------|------------------|-------------|------|-----------------|----------|
| | | Min | Maks | | |
| Agregat Kasar | | | | | |
| Penyerapan | SNI-03-1969-2008 | - | 3% | 2,4146% | 9 |
| Berat Jenis | SNI-03-1969-2008 | 2,5 | - | 2,60 | 9 |
| Keausan Agregat | SNI-03-2417-1991 | - | 40% | 26,8% | 10 |

Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi syarat sebagai bahan penyusun lapis perkerasan.

4.1.4 Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir gunung yang sudah disediakan oleh pihak laboratorium. Untuk hasil uji analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada lampiran 15. Sedangkan hasil pengujian penyerapan air, berat jenis, dan kadar lumpur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini:

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Agregat Halus

| Jenis | Standar | Persyaratan | | Hasil | Lampiran |
|----------------------|------------------|-------------|------|-------|----------|
| | | Min | Maks | | |
| Agregat Halus | | | | | |
| Penyerapan air | SNI-03-1970-2008 | | 3% | 2,07% | 11 |
| Berat jenis | SNI-03-1970-2008 | 2.5 | | 2,56 | 11 |
| Kadar Lumpur | SNI 3423-2008 | | 5% | 3,76% | 12 |

4.2 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji meliputi perencanaan campuran, pencampuran bahan pembuatan benda uji, pemadatan benda uji, dan perendaman benda uji. Setelah itu barulah kita dapat melakukan pengujian *Marshall*.

4.2.1 Perencanaan Campuran

Hasil dari proporsi campuran AC-WC secara lengkap bisa dilihat pada lampiran 16. Kesimpulan dari perhitungan proporsi masing-masing bahan penyusun AC-WC dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini:

Tabel 4.6 Proporsi Bahan Campuran

| Kadar Aspal | Jumlah (gram) | | | | |
|-------------|---------------|------------------|------------------|-------------|-------|
| | Aspal | Agg. Kasar (51%) | Agg. Halus (42%) | Filler (7%) | Total |
| 4% | 288 | 3525,12 | 2903,04 | 483,84 | 7200 |
| 5% | 360 | 3488,4 | 2872,8 | 478,8 | 7200 |
| 6% | 432 | 3451,68 | 2842,56 | 473,76 | 7200 |
| 7% | 504 | 3414,96 | 2812,32 | 468,72 | 7200 |
| 8% | 576 | 3378,24 | 2782,08 | 463,68 | 7200 |

4.2.2 Pencampuran Bahan Pembuatan Benda Uji

Setelah proporsi bahan campuran didapatkan, seluruh bahan pembuatan benda uji ditakar sesuai proporsi. Selanjutnya dilakukan pencampuran seluruh bahan tersebut dengan cara mengaduknya dengan menggunakan alat *asphalt mixer*. Masukkan seluruh agregat yang telah dioven ke dalam *asphalt mixer* yang telah mencapai suhu 100° kemudian aduk hingga rata, dan tuang aspal lalu aduk hingga agregat terlapis merata oleh aspal.



Gambar 4.1 Pengadukan Benda Uji

1.2.3 Pematatan Benda Uji

Setelah tercampur sempurna campuran aspal tersebut dimasukkan ke dalam cetakan benda uji lalu ditumbuk dengan alat kompaksi (*compact machine*) sebanyak 75 kali untuk kedua sisi cetakan sehingga didapat bentuk akhir benda uji silinder.



Gambar 4.2 Pematatan Benda Uji

1.2.4 Perendaman Benda Uji

Benda uji yang telah berbentuk silinder kemudian didiamkan selama 24 jam pada suhu ruangan dan selanjutnya direndam di dalam *water bath* bersuhu 60° selama 30 menit. Pengujian *Marshall* dilakukan setelah benda uji selesai direndam.



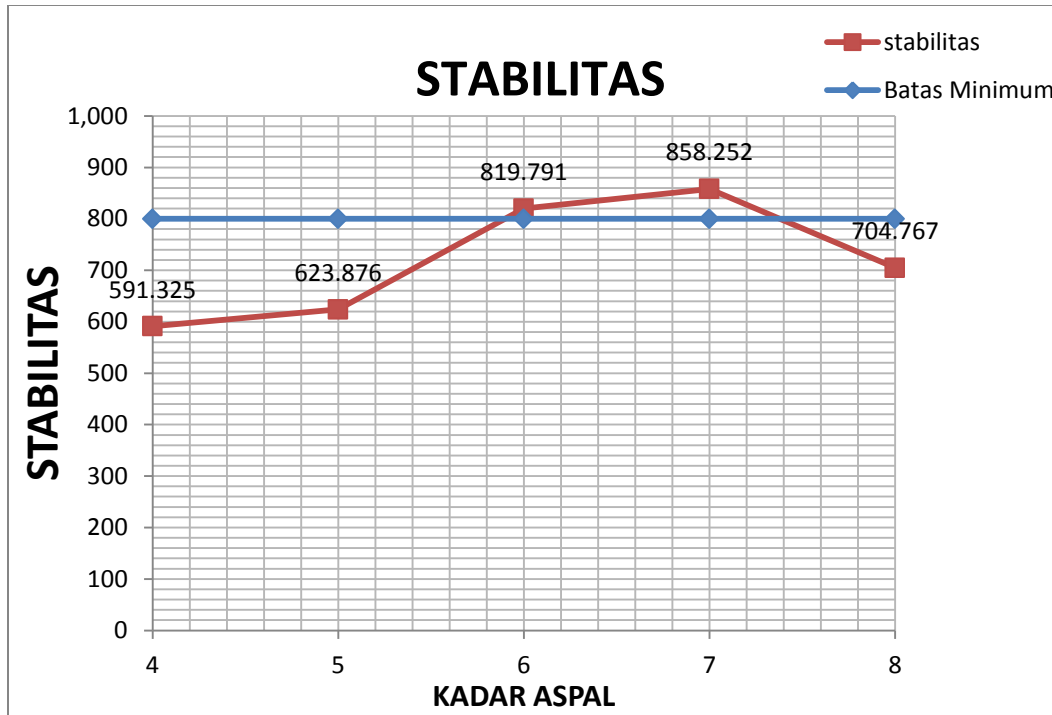
Gambar 4.3 Perendaman Benda Uji

4.3 Deskripsi Hasil Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk mencari parameter *Marshall* pada benda uji dengan kondisi standar lalu-lintas berat yaitu 2 x 75 tumbukan. Parameter *Marshall* tersebut adalah nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), *marshall quotient* (MQ), *Void in Mineral Aggregates* (VMA), *Void Filled with Bitumen* (VFB), dan *Void In the Mix* (VIM) sebagai berikut :

4.3.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur atau *bleeding*. Spesifikasi umum 2010 menurut Bina Marga menetapkan bahwa stabilitas minimum yang disyaratkan adalah 800 kg. Hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini :



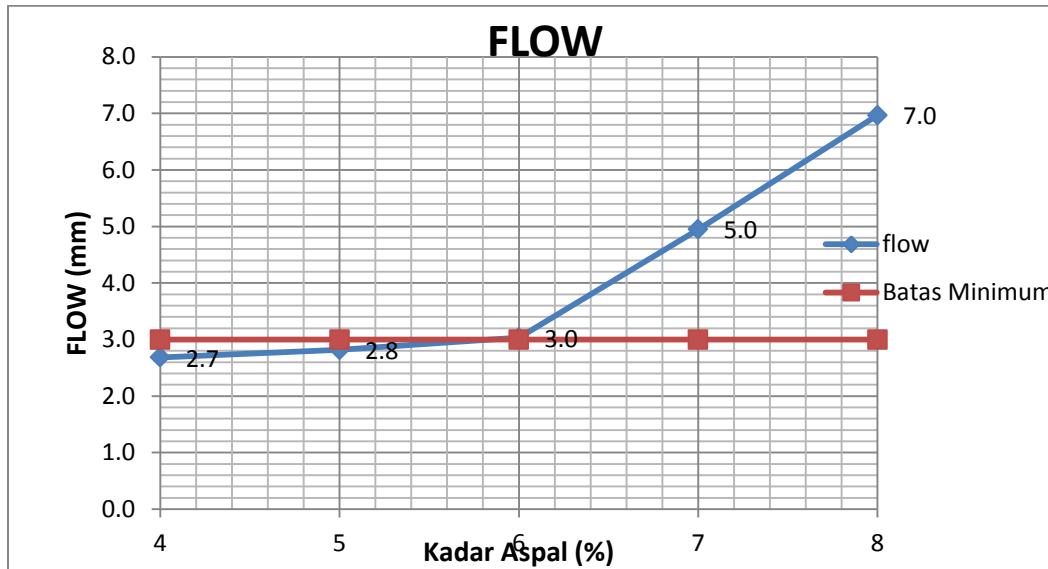
Gambar 4.4 Grafik Stabilitas dengan Kadar Aspal

Dari Gambar 4.4 di atas terlihat bahwa nilai stabilitas yang memenuhi persyaratan lalu-lintas berat berada pada kadar 6% dan 7%. Pada kadar 4% nilai stabilitas naik sampai kadar 7%. Selanjutnya stabilitas turun pada kadar 8% yang menunjukkan bahwa lapisan aspal yang menyelimuti agregat terlalu tebal, sehingga stabilitas menjadi turun.

4.3.2 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan muai menurun. Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi pada benda uji, campuran yang mempunyai nilai *flow* tinggi cenderung menghasilkan campuran yang plastis sehingga akan mudah berubah bentuk (deformasi plastis) apabila terkena beban lalu-lintas tinggi dan berat. Sebaliknya, apabila campuran memiliki *flow* terlalu rendah

maka campuran akan bersifat kaku dan getas, hingga mudah retak akibat beban lalu-lintas yang tinggi dan berat. Hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini :



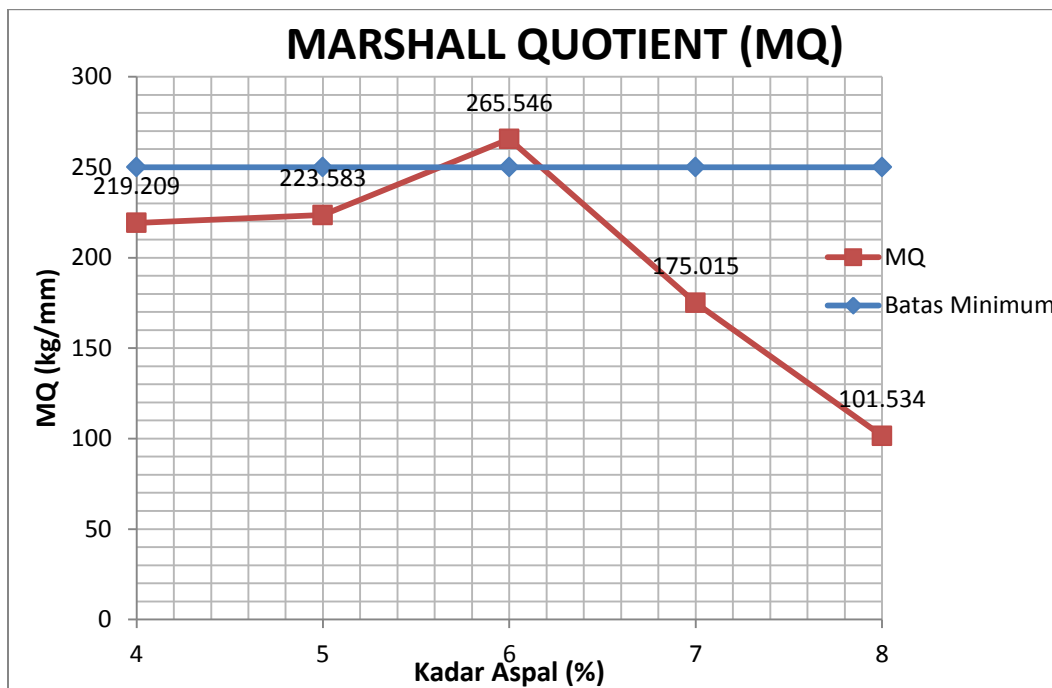
Gambar 4.5 Grafik Flow dengan Kadar Aspal

Dari gambar di atas terlihat bahwa nilai *flow* yang sesuai dengan spesifikasi lalu lintas berat terdapat pada kadar aspal yang nilainya di atas 6%. Semakin kadar aspal bertambah maka nilai *flow* juga semakin naik, hal ini disebabkan dengan bertambahnya aspal maka campuran akan semakin plastis.

4.3.3 Marshall Quotient (MQ)

MQ mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran aspal beton. Campuran yang memiliki nilai MQ rendah akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami deformasi pada saat menerima beban lalu-lintas yang tinggi dan berat. Sedangkan campuran yang memiliki nilai MQ tinggi akan bersifat

kaku dan getas. Hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai *marshall quotient* dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini:

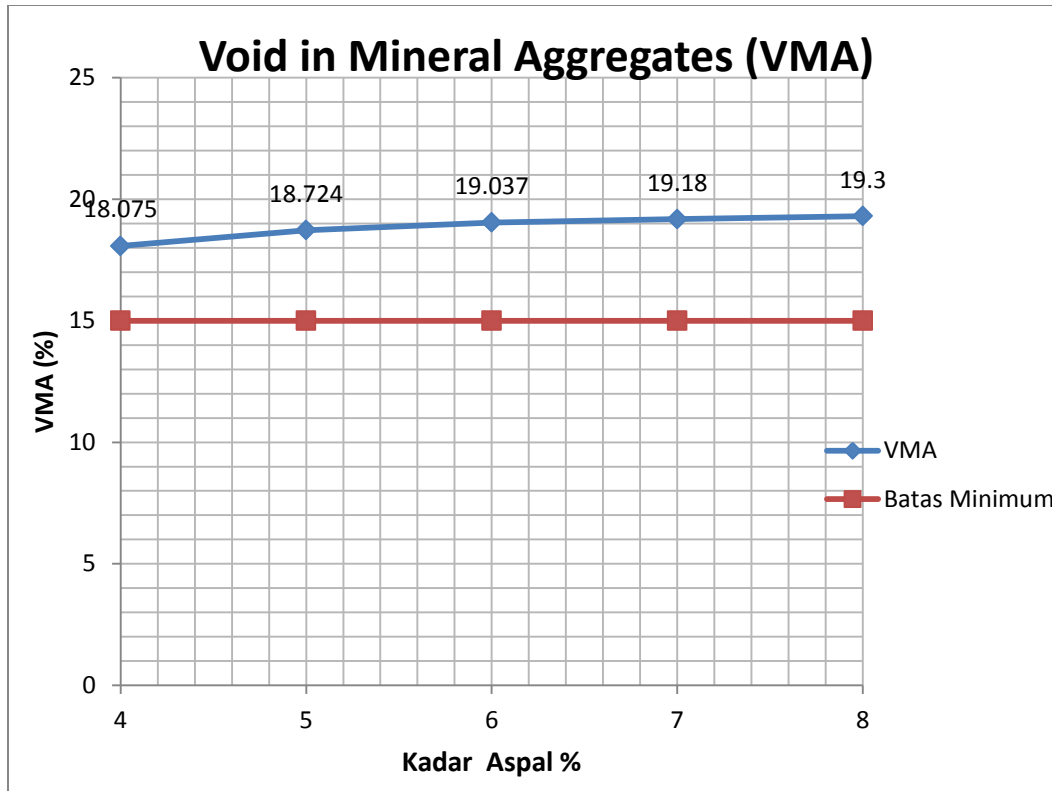


Gambar 4.6 Grafik MQ dengan Kadar Aspal

Dari Gambar 4.6 di atas terlihat bahwa nilai MQ yang memenuhi persyaratan minimal 250 kg/mm untuk lalu lintas berat terletak pada kadar aspal 6%

4.3.4 Void in Mineral Aggregates (VMA)

Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, energi pemadatan, dan kadar filler. Hubungan antara kadar aspal dengan VMA dapat dilihat pada Gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.7 Grafik VMA dengan Kadar Aspal

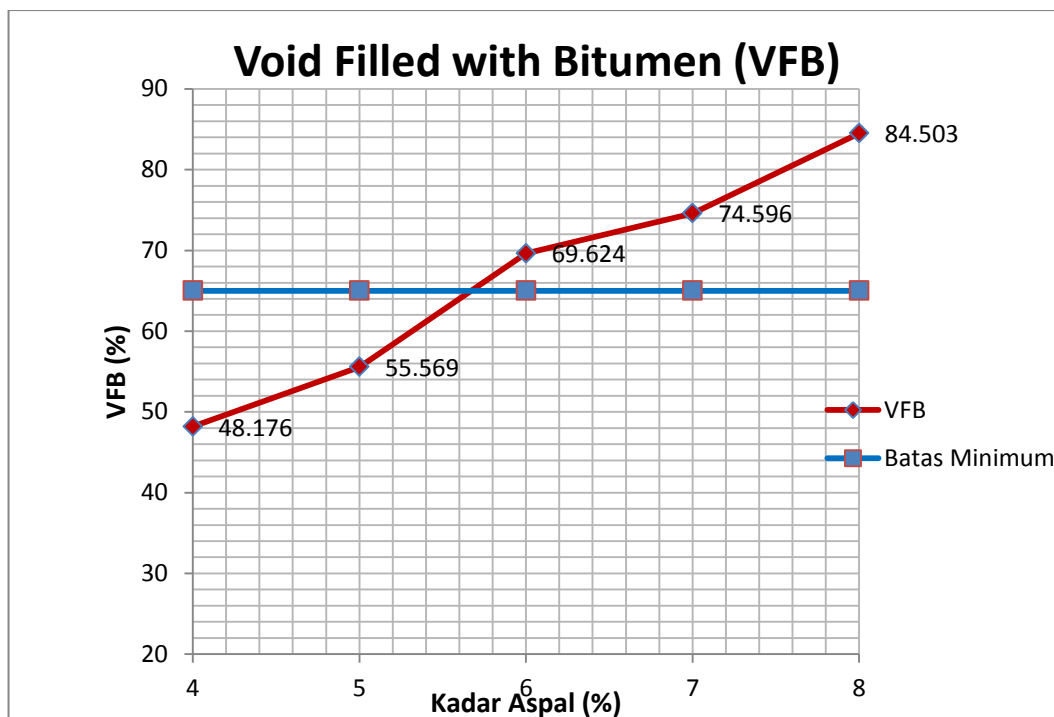
Dari Gambar 4.7 di atas terlihat bahwa nilai VMA optimum berada pada kadar aspal 8%. Namun Nilai VMA untuk semua kadar aspal memenuhi persyaratan minimum 15% untuk Laston AC-WC.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal dapat meningkatkan ruang untuk menampung aspal dan volume rongga yang mengakibatkan butiran dalam campuran tidak mudah lepas, campuran tidak kaku, sehingga umur tahun rencana campuran lebih lama.

4.3.5 Void Filled with Bitumen (VFB)

VFB atau disebut juga sebagai rongga terisi aspal, menunjukkan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai VFB maka akan semakin kecil nilai VIM yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran AC-WC akan semakin awet.

Begitu sebaliknya, apabila VFB terlalu kecil, maka rongga yang terisi aspal akan semakin sedikit sehingga agregat yang terselimuti aspal akan semakin tipis yang menyebabkan campuran beton aspal tidak awet. Hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai VFB dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah ini :

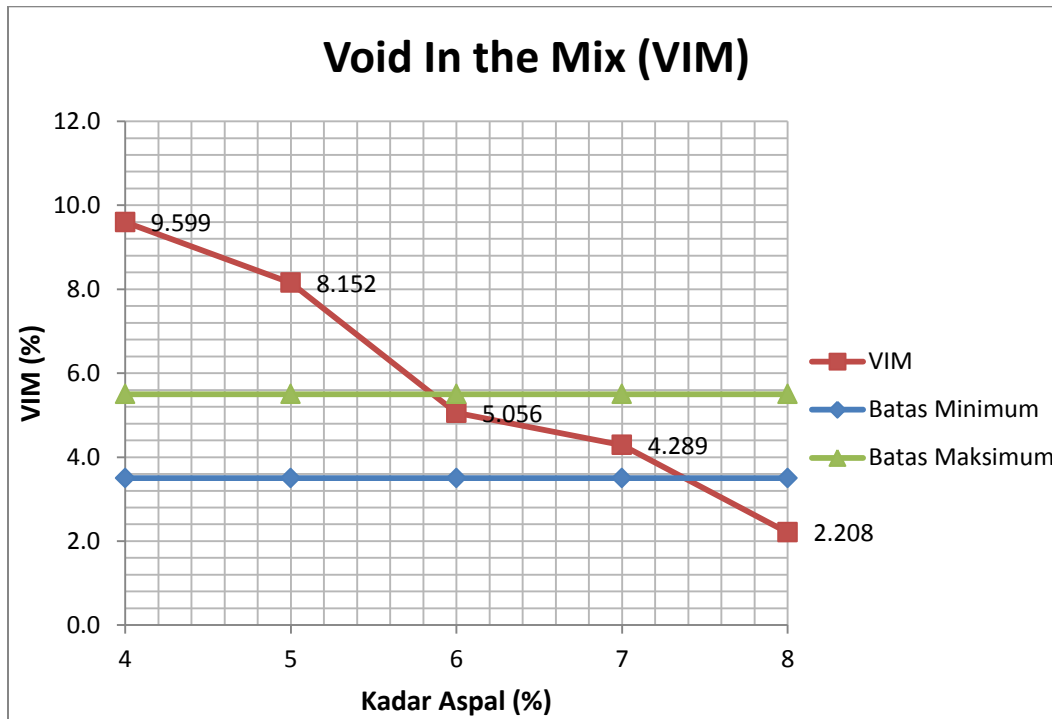


Gambar 4.8 Grafik VFB dengan Kadar Aspal

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai VFB naik seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai VFB yang memenuhi syarat parameter *Marshall* terdapat pada kadar aspal 6% sampai 8% yang nilainya di atas standar Laston AC-WC yaitu sebesar 65%.

4.3.6 Void In the Mix (VIM)

VIM disebut juga sebagai rongga dalam campuran. Semakin besar nilai VIM, maka semakin berkurang kekedapan airnya, sehingga dapat mempercepat penuaan aspal. Sedangkan semakin kecil nilai VIM akan menyebabkan perkerasan mengalami *bleeding*. Hubungan antara kadar limbah serbuk batu marmer dengan nilai VIM dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini :



Gambar 4.9 Grafik VIM dengan Kadar Aspal

Dilihat dari nilai VIM pada gambar di atas, semakin besar kadar aspal maka nilai VIM akan semakin menurun. Setelah mengetahui nilai VIM masing-masing sampel dari hasil pengujian *marshall*, dapat disimpulkan bahwa nilai VIM yang memenuhi persyaratan minimal Laston AC-WC dengan rentan 3,5%-5,5% adalah pada kadar aspal 6% dan 7%.

4.4 Pengujian Hipotesis

Untuk mengetahui diterima atau ditolaknya H_0 , dilakukan uji *Mann-Whitney (Whitney U Test)* dengan *software* statistik yaitu *IBM SPSS Data Statistics 20*. Uji *Mann-Whitney* (non parametrik) ini dilakukan karena data-data dari hasil pengujian tidak memenuhi syarat menggunakan statistik parametrik (tidak terdistribusi normal dan tidak homogen). Dalam uji *Mann-Whitney*, dibandingkan hasil terbaik dari pengujian dengan hasil dari aspal konvensional. Pengujian ini menggunakan taraf signifikansi (α) 0,05, dengan dasar keputusan sebagai berikut :

1. Jika Sig lebih dari 0,05 maka H_0 diterima (tidak signifikan atau tidak ada perbedaan)
2. Jika Sig kurang dari 0,05 maka H_0 ditolak (signifikan atau terdapat perbedaan)

Setelah data diolah dengan *software*, didapatkan hasil uji *Mann-Whitney* seperti di bawah ini :

| | Parameter |
|--------------------------------|-------------------|
| Mann-Whitney U | 15.000 |
| Wilcoxon W | 36.000 |
| Z | -.480 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | .631 |
| Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | .699 ^b |

a. Grouping Variable: Kadar

b. Not corrected for ties.

Dari hasil uji *Mann-Whitney* di atas, nilai signifikansi yang didapat adalah 0,631 yang artinya $> 0,05$. Maka dari itu, hasil uji tidak signifikan secara statistik. Dengan demikian H_0 diterima.

4.5 Pembahasan

Pada tabel 4.7 dapat dilihat bahwa kadar aspal optimum yang menggunakan *filler* limbah serbuk batu marmer terdapat pada kadar 6% dikarenakan nilai stabilitas, kelelahan, MQ, VMA, VFB dan VIM nya memenuhi persyaratan parameter *Marshall*.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Marshall

| No | Karakteristik | Syarat | Presentase Kadar Aspal (%) | | | | | |
|----|-----------------|---------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| | | | 4% | 5% | 6% | 7% | 8% | 6% (Konv) |
| 1 | Stabilitas (kg) | Min 800 | 591.325 | 623.876 | 819.791 | 858.252 | 704.767 | 1037.434 |
| 2 | Kelelehan (mm) | Min 3 | 2.7 | 2.8 | 3 | 5 | 7 | 4.1 |
| 3 | MQ (kg/mm) | Min 250 | 219.209 | 223.583 | 265.546 | 175.015 | 101.534 | 291.304 |
| 4 | VMA (%) | Min 15 | 18.075 | 18.724 | 19.037 | 19.18 | 19.3 | 20.282 |
| 5 | VFB (%) | Min 65 | 48.176 | 55.569 | 69.624 | 74.596 | 84.503 | 70.073 |
| 6 | VIM (%) | 3,5-5,5 | 9.599 | 8.152 | 5.056 | 4.289 | 2.208 | 5.33 |

4.6 Keterbatasan Penelitian

1. Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah serbuk batu marmer yang hanya bisa didapatkan dari daerah tertentu (persebarannya tidak merata di seluruh wilayah di Indonesia).
2. Dalam penelitian ini, limbah serbuk batu marmer diperoleh dari Tulungagung, Jawa Timur.
3. Penelitian ini menggunakan alat timbangan manual sehingga memungkinkan terjadinya kesalahan pengukuran karena keterbatasan pembacaan.
4. Dalam penelitian ini terdapat kesalahan pada tahap perencanaan proporsi bahan campuran (*mix design*).