

## PENGARUH ENERGI PEMADATAN BENDA UJI TERHADAP BESARAN MARSHALL CAMPURAN BERASPAL PANAS BERGRADASI SENJANG

Stevan Estevanus Rein Rumagit

Oscar H. Kaseke, Steve Ch. N. Palenewen

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: [stevanrumagit@gmail.com](mailto:stevanrumagit@gmail.com)

### ABSTRAK

*Pengujian mutu campuran beraspal panas yang digunakan untuk lapis perkerasan sampai saat ini masih menggunakan metode Marshall. Proses pemadatan benda uji Marshall di laboratorium merupakan interpretasi dari kondisi di lapangan yang dibuatkan dalam skala kecil. Di lapangan pemadatan dilakukan dengan mesin gilas, di laboratorium dilakukan pemadatan dengan cara menumbuk benda uji dalam cetakan.*

*Dalam spesifikasi Teknik Bina Marga telah ditetapkan batasan – batasan untuk kriteria Marshall pada pembuatan benda uji campuran bergradasi senjang. Pengaruh energi pemadatan benda uji terhadap kriteria Marshall yang akan diangkat dalam penelitian ini.*

*Benda uji yang akan dibuat bersumber dari desa Lolan Kabupaten Bolaang Mongondow serta menggunakan Aspal penetrasi 60/70 ex. Pertamina yang menjadi campuran aspal panas. Setelah mendapatkan komposisi kadar aspal terbaik lalu akan dibuat benda uji untuk variasi jumlah tumbukan per bidang yaitu 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 kemudian dianalisis hubungan antara variasi jumlah tumbukan terhadap besaran-besaran Marshall pada jenis campuran Hot Rolled Sheet (HRS). Jumlah tumbukan tersebut yang nantinya dikonversikan kedalam energi pemadatan dengan satuan  $\text{kJ/m}^3$ . Untuk  $1 \text{ ft-lb} = 0,0013558 \text{ kilojoule}$ , berat penumbuk yang dipakai  $10 \text{ lb}$ , tinggi jatuh  $18 \text{ inch} = 1,499 \text{ ft}$ , diameter cetakan  $4 \text{ inch} = 0,333 \text{ ft}$  serta tinggi benda uji  $2,5 \text{ inch} = 0,2083 \text{ ft}$  setara volume  $0,01817 \text{ ft}^3$  dan untuk  $1 \text{ ft}^3 = 0,028317 \text{ m}^3$ . Sehingga untuk 1 tumbukan per bidang didapat energi pemadatan  $79,047 \text{ kJ/m}^3$ .*

*Dari hasil pengujian menunjukkan kadar aspal terbaik pada campuran HRS-WC 7 % dan campuran HRS-Base 6,75 %. Pengaruh energi pemadatan untuk campuran HRS-WC ditentukan dari batasan nilai VIM dengan rentang batasan tumbukan 30-120 kali setara  $2371,434-9485,737 \text{ kJ/m}^3$ , serta untuk jenis campuran HRS-Base pengaruh energi pemadatan ditentukan dari nilai VIM dan VMA dengan rentang tumbukan 40-135 setara  $3161,912-11066,69 \text{ kJ/m}^3$ . Didapatkan hasil pemadatan terbaik dari campuran HRS-WC adalah 75 tumbukan dan campuran HRS-Base 87 tumbukan atau  $5928,586 \text{ kJ/m}^3$  untuk HRS-WC dan  $6877,159 \text{ kJ/m}^3$  untuk HRS-Base. Disarankan mestinya pada pemadatan campuran HRS-Base yang nantinya dilakukan di lapangan jumlah lintasan pemadatan harus lebih banyak dibandingkan dengan campuran HRS-WC karena hasil energi pemadatan yang didapat dalam penelitian untuk campuran HRS-Base 16 % lebih besar dari campuran HRS-WC.*

**Kata Kunci :** Energi Pemadatan, Besaran Marshall, HRS-WC, HRS-Base

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Konstruksi lapis perkerasan jalan khususnya lapis permukaan pada umumnya menggunakan campuran beraspal panas, dan pengujian mutu campuran beraspal panas yang digunakan untuk lapis perkerasan sampai saat ini masih menggunakan metode Marshall. Pengujian Marshall di laboratorium menyelidiki besaran-besaran yang dikenal sebagai kriteria Marshall meliputi *Stability*, *Flow*, serta analisis *Void in Mix*

(*VIM*), *Void in Mineral Agregat (VMA)*, dan *Void Filled Bitumen (VFB)*.

Proses pemadatan benda uji Marshall di laboratorium merupakan interpretasi dari kondisi di lapangan yang dibuatkan dalam skala kecil. Diharapkan apa yang dilakukan atau yang dibuat di laboratorium akan mewakili kondisi di lapangan; jika di lapangan pemadatan dilakukan dengan mesin gilas, di laboratorium dilakukan pemadatan dengan cara menumbuk benda uji dalam cetakan. Pemadatan benda uji yang dilakukan dalam laboratorium itu sama dengan

memberikan energi pemadatan pada benda uji tersebut.

Pada spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2010 revisi 3 untuk campuran HRS yang memikul beban lalu lintas berat jumlah tumbukan pemadatan standar adalah sebanyak 75 tumbukan dengan nilai *Stabilitas* min 800 kg, *Flow* min 3 mm, VIM min 4% max 6%, VMA min 18%, VFB min 68%.

Penelitian ini bermaksud untuk melihat pengaruh jumlah tumbukan yang dinyatakan dalam besaran energi pemadatan terhadap besaran-besaran *Marshall* yang telah ditetapkan dalam spesifikasi yaitu *Stabilitas* dan *Flow* serta pengaruhnya terhadap nilai-nilai volumetrik yaitu VIM, VMA, VFB terhadap salah satu jenis campuran bergradasi senjang.

### Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mencari hubungan pengaruh variasi jumlah tumbukan yang dinyatakan dalam besaran energi pemadatan terhadap besaran kriteria *Marshall*.
2. Memahami perubahan besarnya energi pemadatan antara campuran HRS – WC dan campuran HRS - Base.

### Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu dapat dijadikan acuan untuk perancangan pemadatan di laboratorium dan hubungan dengan pemadatan di lapangan.

### Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hanya dilakukan di laboratorium dengan menggunakan metode *Marshall Test*, dan tidak dilanjutkan pengujian di lapangan.
2. Dilakukan terhadap jenis campuran campuran beraspal panas bergradasi senjang Jenis Lapis Aus (*HRS-WC*) dan Jenis Lapis Pondasi (*HRS-Base*) berdasarkan Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2010 revisi 3 .
3. Material yang digunakan bersumber dari desa Lolan Kabupaten Bolaang Mongondow dan Aspal penetrasi 60/70 Ex. Pertamina serta Filler tambahan PC Tonasa.

### Metode Pengujian Campuran

Dalam melakukan perencanaan campuran metode *Marshall* adalah metode yang paling banyak digunakan dalam mendesain maupun mengevaluasi sifat-sifat campuran. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode *Marshall*. Metode *Marshall* pertama kali dirumuskan oleh Bruce Marshall (1939) yang kemudian disempurnakan oleh *U. S. Corps Of Engineers* (1950). Prosedur test *Marshall* telah distandarisasi oleh ASTM an AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76 atau AASHTO T-245-90. Metode *Marshall* dapat digunakan untuk perencanaan dan pengujian di laboratorium dan control campuran aspal panas di lapangan.

Prinsip dasar dari metode *Marshall* adalah pemeriksaan *stabilitas* dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Prosedur untuk metode *Marshall* dimulai dengan persiapan benda uji. Untuk persiapan benda uji, perlu diperhatikan :

- a) Material yang akan digunakan harus sesuai dengan spesifikasi rancangan
- b) Kombinasi campuran agregat harus sesuai spesifikasi gradasi dari rancangan

Metode *Marshall* menggunakan benda uji standart berbentuk silinder yang memiliki diameter 4 inci (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm). Benda uji yang akan digunakan tersebut disiapkan/dibuat dengan melalui suatu prosedur yaitu memanaskan, mencampur, dan pemadatan campuran aspal dan agregat. Dalam hal ini benda uji *Marshall* atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran tertentu, sesuai spesifikasi campuran. Setiap benda uji pada umumnya direncanakan memiliki berat  $\pm 1200$  gram.

Nilai *stabilitas* dari benda uji adalah maksimum beban yang dapat ditahan oleh campuran beraspal pada suhu 60°C sampai terjadi runtuh. Sedangkan nilai *flow* adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yaitu selama pengujian *stabilitas*, *flow* dinyatakan dalam 0.01 mm atau 0.01 inch tergantung satuan dari alat yang dipakai.

### Hot Rolled Sheet (HRS)

Menurut Spesifikasi Bina Marga terakhir tahun 2010 campuran beraspal panas jenis HRS (Lapis tipis aspal beton) terbagi atas 2 jenis yaitu *HRS-WC* dan *HRS-BASE*, yang susunan agregatnya bergradasi senjang atau pun semi

## TINJAUAN PUSTAKA

senjang. Yang dimaksud gradasi senjang adalah susunan ukuran butiran salah satu fraksi jumlahnya relatif sedikit dibandingkan dengan fraksi lain atau tidak ada.

Lapis tipis aspal beton mempunyai fungsi sebagai lapis penutup untuk mencegah masuknya air dari permukaan kedalam konstruksi perkerasan sehingga dapat mempertahankan kekuatan konstruksinya sampai tingkat tertentu. Keistimewaan lataston yaitu mempunyai keawetan tinggi (tahan terhadap pengaruh oksidasi) dan memiliki sifat elastis yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal lainnya.

HRS-WC dan HRS-Base adalah campuran beraspal panas yang bergradasi senjang, ukuran butir maksimum agregat adalah 19 mm. HRS-Base mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar dari pada HRS-WC.

Tabel 1. Sifat-sifat campuran HRS

| Sifat - Sifat Campuran   |      | Lataston  |      |               |      |
|--|------|-----------|------|---------------|------|
|  |      | Lapis Aus |      | Lapis Pondasi |      |
|  |      | Senjang   | Semi | Senjang       | Semi |
| Kadar aspal efektif (%)  | Min  | 5,9       | 5,9  | 5,5           | 5,5  |
| Penyerapan aspal (%)   | Maks | 1,7       |      |               |      |
| Jumlah tumbukan per bidang   |      | 75        |      |               |      |
| Rongga dalam campuran (%)  | Min  | 4,0       |      |               |      |
|  | Maks | 6,0       |      |               |      |
| Rongga dalam agregat (VMA) (%)                                       | Min  | 18        |      | 17            |      |
|  |      |           |      |               |      |
| Rongga terisi aspal (%)  | Min  | 68        |      |               |      |
| Stabilitas Marshall (kg)   | Min  | 800       |      |               |      |
| Pelehan (mm)   | Min  | 3         |      |               |      |
| Marshall Quotient (kg/mm)  | Min  | 250       |      |               |      |
| Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C | Min  | 90        |      |               |      |
| Rongga dalam campuran (%) Kepadatan membal (refusal)                 | Min  | 3         |      |               |      |

Tabel 2. Gradasi agregat gabungan HRS

| % Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran |                    |                 |          |  |
|--|--------------------|-----------------|----------|--|
| No. Saringan   | Ukuran Ayakan (mm) | Lataston (HRS)  |          |  |
|  |                    | Gradasi Senjang |          |  |
|  |                    | WC              | Base     |  |
| ¾"   | 19                 | 100             | 100      |  |
| ½"   | 12,5               | 90 – 100        | 90 – 100 |  |
| 3/8"   | 9,5                | 75 – 85         | 65 – 90  |  |
| No.4   | 4,75               | -               | -        |  |
| No.8   | 2,36               | 50 – 72         | 35 – 55  |  |
| No.16  | 1,18               | -               | -        |  |
| No.30  | 0,6                | 35 – 60         | 15 – 35  |  |
| No.50  | 0,3                | -               | -        |  |
| No.100   | 0,15               | -               | -        |  |
| No.200   | 0,075              | 6 – 10          | 2 – 9    |  |

### Penentuan Kadar Aspal Campuran

Penentuan metode untuk mencari kadar aspal menjadi suatu hal yang sangat spesifik dalam rancangan perkerasan bahan campuran aspal dan agregat. Untuk perkiraan awal kadar aspal optimum menggunakan pendekatan seperti dibawah ini :

$$Pb = 0,035CA + 0,045FA + 0,18FF + K$$

dimana :

CA = % agregat tertahan saringan no. 8

FA = % agregat lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200

FF = % agregat lolos saringan no. 200

K = kira-kira 0,5 - 1 untuk Laston dan 1 – 2 untuk Lataston

### Energi Pematatan

Kata energi berasal dari bahasa Yunani yakni *energia* yang artinya ialah kegiatan / aktivitas. Terdiri dari dua kata yaitu *en* (dalam) dan *ergon* (kerja). Jadi, Energi mempunyai arti umum yaitu kemampuan untuk melakukan sebuah pekerjaan atau usaha. Dengan satuan energi adalah Joule (J).

Braja M. Das (1995) menyebutkan energi yang dibutuhkan untuk pematatan pada uji standar yaitu :

$$EP = \frac{\left(\frac{\text{Jumlah tumbukan}}{\text{lapisan}}\right) \times \left(\frac{\text{Jumlah}}{\text{lapisan}}\right) \times \left(\frac{\text{Berat}}{\text{penumbuk}}\right) \times \left(\text{Tinggi jatuh penumbuk}\right)}{\text{Volume cetakan}}$$

Dengan satuan energi pematatan (E) = kJ/m<sup>3</sup>.

### Evaluasi Hasil Uji Marshall

Kriteria pengujian *Marshall* adalah kriteria yang paling umum digunakan dalam mendesain maupun mengevaluasi sifat-sifat campuran. Kriteria pengujian *Marshall* terdiri atas:

#### 1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadi deformasi permanen seperti gelombang, alur atau retak. Stabilitas dipengaruhi oleh jumlah pematatan, gradasi dan penguncian antar agregat, kekerasan agregat, kadar serta viskositas aspal, gesekan antar agregat, jumlah rongga antar agregat dan kohesi antar agregat. Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat tes *Marshall* dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi.

#### 2. Kelelahan (flow)

Kelelahan adalah suatu perubahan keadaan/bentuk suatu campuran yang terjadi akibat penambahan beban sampai terjadinya

keruntuhan. Secara umum terlihat nilai kelelahan (*flow*) meningkat seiring dengan adanya penambahan kadar aspal. Kelelahan menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis keras akibat beban yang diterimanya. Nilai *flow* yang tinggi menandakan campuran bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat adanya beban. Sebaliknya nilai *flow* yang rendah, campuran akan bersifat kaku dan getas dan biasanya durabilitas (keawetan) akan rendah juga. Nilai *flow* pada arloji dalam satuan inci maka harus dikonversi dalam satuan milimeter.

### 3. Marshall Quotient (MQ)

*Marshall Quotient* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Semakin besar nilai *MQ* maka campuran akan bersifat kaku sehingga perkerasan mudah mengalami perubahan bentuk jika mengalami beban lalu lintas, seperti potensial terhadap retak, begitupun sebaliknya semakin kecil nilai *MQ* maka lapisan bersifat lentur/plastis.

## Evaluasi Nilai Volumentrik Campuran Beraspal

Disamping oleh kekuatan (stabilitas dan *flow*), kinerja campuran beraspal sangat ditentukan oleh volumetrik campuran dalam keadaan padat yang terdiri atas *VMA*, *VIM*, *VFB*.

### 1. VMA (Void in Mineral Aggregate)

*VMA* adalah volume rongga udara diantara butir-butir agregat dalam campuran beraspal dalam kondisi padat. *VMA* meliputi volume rongga udara dalam campuran beraspal dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat).

Rongga diantara mineral atau struktur agregat (*Voids in Mineral Aggregate*, *VMA*) suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan adalah jumlah kandungan rongga (*VIM*) termasuk kadar aspal efektif, dinyatakan terhadap volume total benda uji. Ukuran gradasi agregat campuran dapat menentukan batas minimum *VMA* yang tergantung pada ukuran maksimum agregat yang digunakan. Hubungan antara kadar aspal dengan *VMA* pada umumnya membentuk cekungan dengan satu nilai ekstrim minimum, kemudian naik lagi dengan naiknya kadar aspal.

### 2. VIM (Void In Mix)

Rongga udara dalam campuran beraspal atau *VIM* adalah kantung-kantung udara diantara partikel agregat yang terselimuti

aspal. *VIM* dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran. Nilai *VIM* yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal berkurang kedekatan airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal. Sedangkan jika nilai *VIM* terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami bleeding jika temperatur meningkat. Tujuan perencanaan *VIM* adalah untuk membatasi penyesuaian kadar aspal rencana pada kondisi *VIM* mencapai tengah-tengah rentang spesifikasi.

### 3. VFB (Voids Filled Bitumen)

Rongga terisi aspal (*VFB*) adalah bagian dari *VMA* yang terisi oleh kandungan aspal efektif dan dinyatakan dalam perbandingan persen antara (*VMA-VIM*) terhadap *VMA*. Dengan demikian aspal yang mengisi *VFB* adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat didalam beton aspal padat, dengan kata lain *VFB* inilah yang merupakan presentase volume beton aspal padat yang menjadi selimuti aspal. *VFB* ini berfungsi untuk menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi batasan yang cukup.

*VFB* juga dapat membatasi kadar rongga campuran yang diijinkan yang memenuhi kriteria *VMA* minimum. Campuran rencana untuk lalu lintas rendah tidak akan memenuhi kriteria *VFB* bila kadar rongga relatif tinggi, walaupun rentang kadar rongga terpenuhi. Penyesuaian ini bertujuan mencegah berkurangnya keawetan campuran pada lalu lintas ringan.

## METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *research* di laboratorium dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan material bahan campuran beraspal panas yakni agregat dan aspal.
2. Melakukan pemeriksaan awal agregat yakni abrasi, impact test, kepipihan, dan kelonjongan.
3. Jika persyaratan bahan sebagai campuran beraspal panas dipenuhi berdasarkan persyaratan yang menjadi acuan yaitu Spesifikasi Teknik Bina Marga oleh Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2010 revisi 3 maka dilanjutkan dengan pemeriksaan bahan untuk data perancangan komposisi, dan analisis *Marshall*, yakni pemeriksaan gradasi

dan berat jenis serta resapan air agregat dan terhadap aspal diperiksa berat jenisnya.

4. Pembuatan benda uji *Marshall* jenis standard (75x tumbukan).
5. Dilakukan analisis *volumetric* dan pengujian *stability, flow* menurut *Marshall*.
6. Dibuat benda uji *Marshall* yang kemudian dilakukan pemadatan dengan jumlah tumbukan yang divariasikan mulai dari 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400.
7. Kemudian dianalisis hubungan antara variasi jumlah tumbukan yang dinyatakan dalam besaran energi pemadatan terhadap besaran kriteria *Marshall* jenis campuran *HRS-WC* dan *HRS-Base*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan kadar aspal terbaik maka dibuat komposisi agregat gabungan lalu dilakukan pembuatan benda uji dengan jumlah tumbukan yang divariasikan mulai dari 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 tumbukan setiap sisi dan di uji untuk mendapatkan hasil besaran – besaran *Marshall* kemudian dianalisis hubungan antara variasi jumlah tumbukan yang dinyatakan dalam besaran energi pemadatan.

Untuk 1 tumbukan per bidang didapat 79,047 kJ/m<sup>3</sup>. Jadi untuk variasi tumbukan energi diperoleh :

- 25 tumbukan = 1976,195 kJ/m<sup>3</sup>
- 50 tumbukan = 3952,39 kJ/m<sup>3</sup>
- 75 tumbukan = 5928,586 kJ/m<sup>3</sup>
- 100 tumbukan = 7904,781 kJ/m<sup>3</sup>
- 150 tumbukan = 11857,17 kJ/m<sup>3</sup>
- 200 tumbukan = 15809,56 kJ/m<sup>3</sup>
- 300 tumbukan = 23714,34 kJ/m<sup>3</sup>
- 400 tumbukan = 31619,12 kJ/m<sup>3</sup>

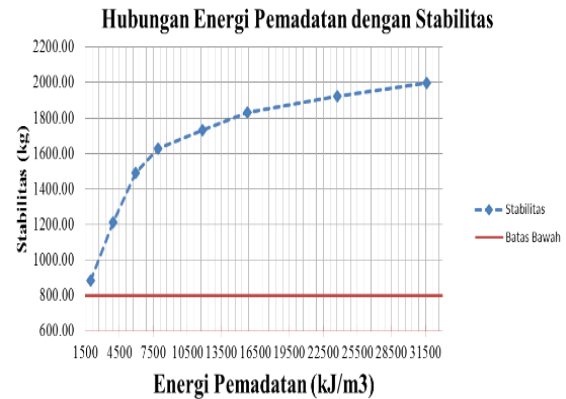
#### Pengaruh variasi energi pemadatan terhadap besaran *Marshall* HRS-WC

Hasil pengujian pengaruh variasi energi pemadatan dirangkum dalam bentuk table seperti pada tabel 3.

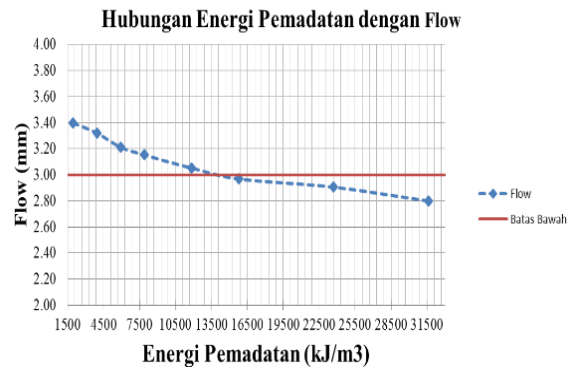
Tabel 3. Pengaruh variasi energi pemadatan terhadap besaran *Marshall* HRS-WC

| Energi Pemadatan (kJ/m <sup>3</sup> ) | Stabilitas | Flow   | MQ       | VIM  | VMA     | VFB     | Kepadatan |
|---------------------------------------|------------|--------|----------|------|---------|---------|-----------|
|                                       | (kg)       | (mm)   | (kg/mm)  | (%)  | (%)     | (%)     | -         |
|                                       | Min. 800   | Min. 3 | Min. 250 | 4-6  | Min. 18 | Min. 68 | -         |
| 1976,195                              | 885,47     | 3,4    | 260,54   | 6,12 | 20,32   | 69,88   | 2,445     |
| 3952,39                               | 1211,75    | 3,32   | 364,79   | 4,91 | 19,29   | 74,56   | 2,476     |
| 5928,586                              | 1489,12    | 3,21   | 463,43   | 4,36 | 18,82   | 76,83   | 2,491     |
| 7904,781                              | 1627,06    | 3,15   | 516,17   | 4,13 | 18,63   | 77,83   | 2,497     |
| 11857,17                              | 1732,9     | 3,05   | 567,6    | 3,84 | 18,38   | 79,13   | 2,504     |
| 15809,56                              | 1831,38    | 2,97   | 616,85   | 3,43 | 18,03   | 81,01   | 2,515     |
| 23714,34                              | 1924,03    | 2,91   | 662,11   | 3,15 | 17,79   | 82,35   | 2,522     |
| 31619,12                              | 1996,05    | 2,8    | 712,97   | 3,02 | 17,69   | 82,93   | 2,526     |

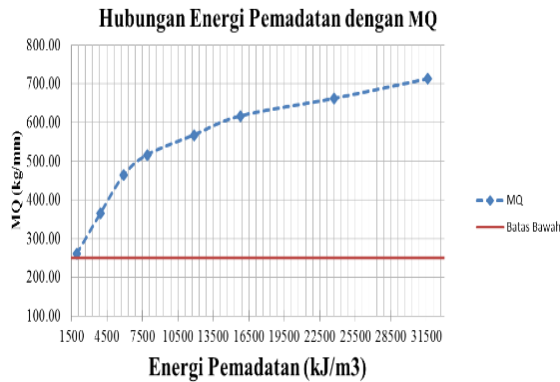
Hasil pengujian *Marshall* untuk campuran HRS-WC digambar ke dalam bentuk grafik hubungan antara energi pemadatan dengan besaran-besaran *Marshall*.



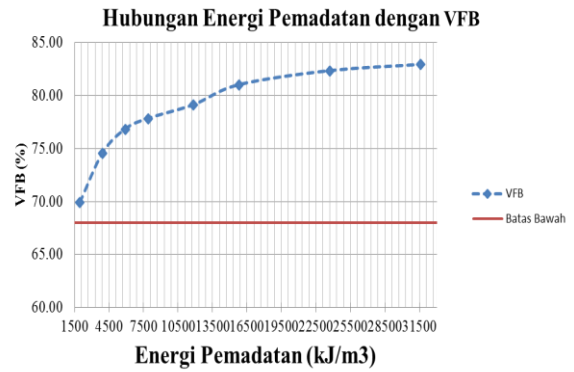
Gambar 1. Grafik hubungan antara variasi energi pemadatan dengan Stabilitas (HRS-WC)



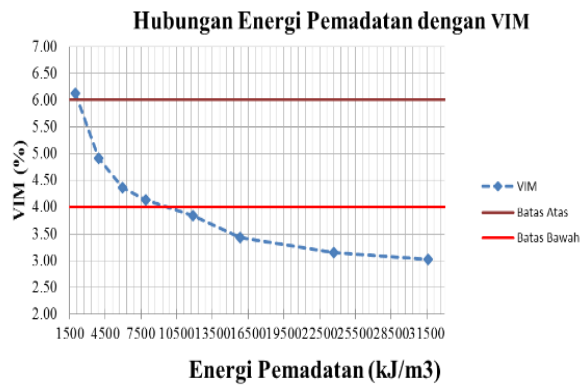
Gambar 2. Grafik hubungan antara variasi energi pemadatan dengan Flow (HRS-WC)



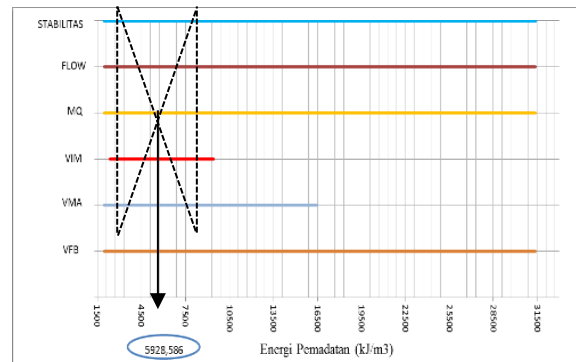
Gambar 3. Grafik hubungan antara variasi energi pematatan dengan MQ (HRS-WC)



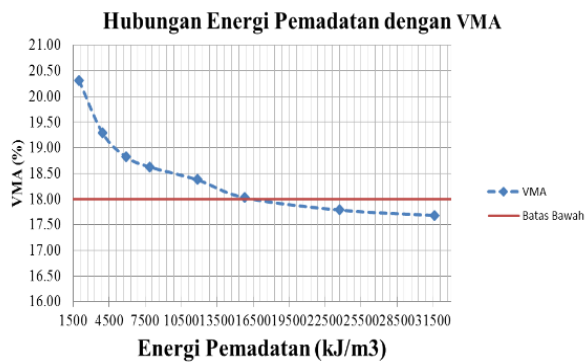
Gambar 6. Grafik hubungan antara variasi energi pematatan dengan VFB (HRS-WC)



Gambar 4. Grafik hubungan antara variasi energi pematatan dengan VIM (HRS-WC)



Gambar 7. Energi pematatan yang memenuhi spesifikasi HRS-WC



Gambar 5. Grafik hubungan antara variasi energi pematatan dengan VMA (HRS-WC)

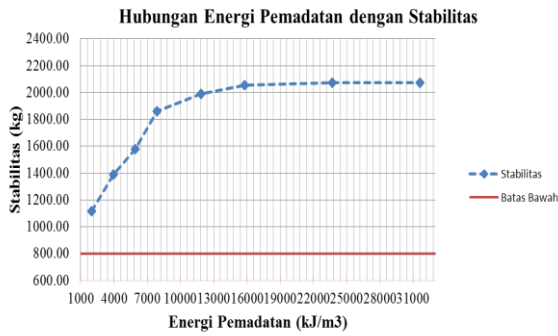
**Pengaruh variasi energi pematatan terhadap besaran Marshall HRS-Base**

Hasil pengujian pengaruh variasi energi pematatan dirangkum dalam bentuk tabel 4.

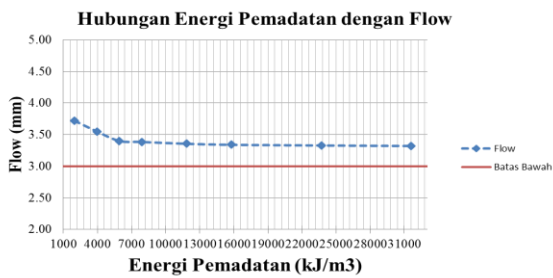
Tabel 4. Pengaruh variasi energi pematatan terhadap besaran Marshall HRS-Base

| Energi Pematatan (kJ/m3) | Stabilitas (kg) | Flow (mm) | MQ (kg/mm) | VIM (%) | VMA (%) | VFB (%) | Kepadatan (-) |
|--------------------------|-----------------|-----------|------------|---------|---------|---------|---------------|
|                          | Min. 800        | Min. 3    | Min. 250   | 4-6     | Min. 18 | Min. 68 |               |
| 1976,195                 | 1117,92         | 3,62      | 308,85     | 6,64    | 19,74   | 66,38   | 2,366         |
| 3952,39                  | 1389,42         | 3,54      | 392,8      | 5,58    | 18,84   | 70,36   | 2,392         |
| 5928,586                 | 1581,02         | 3,4       | 464,91     | 5,14    | 18,46   | 72,13   | 2,404         |
| 7904,781                 | 1862,33         | 3,36      | 554,54     | 4,95    | 18,3    | 72,92   | 2,408         |
| 11857,17                 | 1989,66         | 3,31      | 600,99     | 4,48    | 17,89   | 74,94   | 2,42          |
| 15809,56                 | 2054,72         | 3,26      | 629,43     | 4,16    | 17,62   | 76,37   | 2,428         |
| 23714,34                 | 2073,58         | 3,21      | 645,7      | 3,85    | 17,34   | 77,2    | 2,436         |
| 31619,12                 | 2074,02         | 3,16      | 657,31     | 3,64    | 17,17   | 78,78   | 2,442         |

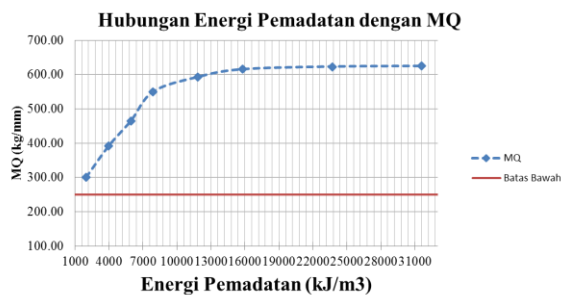
Hasil pengujian Marshall untuk campuran HRS-WC digambar ke dalam bentuk grafik hubungan antara energi pematatan dengan besaran-besaran Marshall.



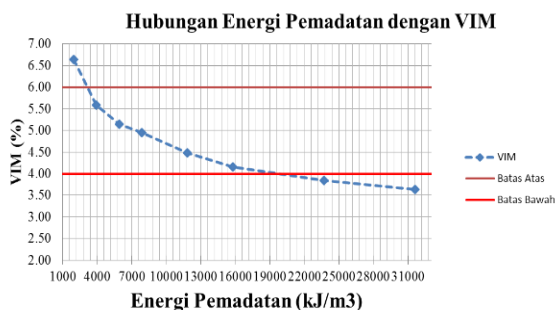
Gambar 8. Grafik hubungan antara variasi energi pematatan dengan Stabilitas (HRS-Base)



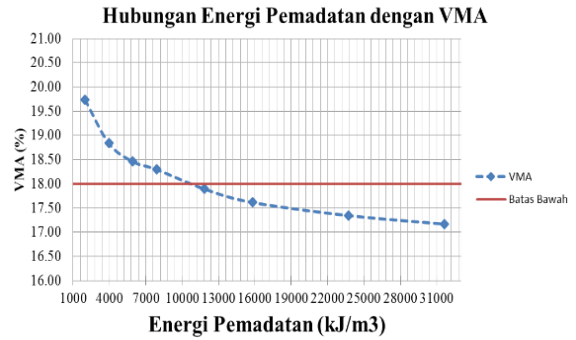
Gambar 9. Grafik hubungan antara variasi energi pematatan dengan Flow (HRS-Base)



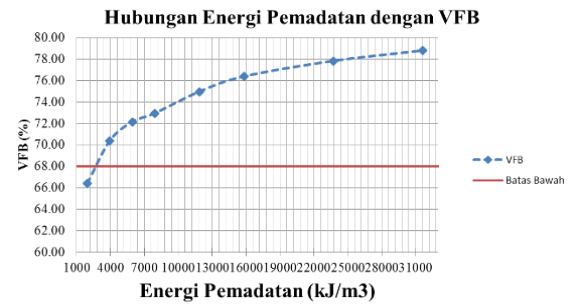
Gambar 10. Grafik hubungan antara variasi energi pematatan dengan MQ (HRS-Base)



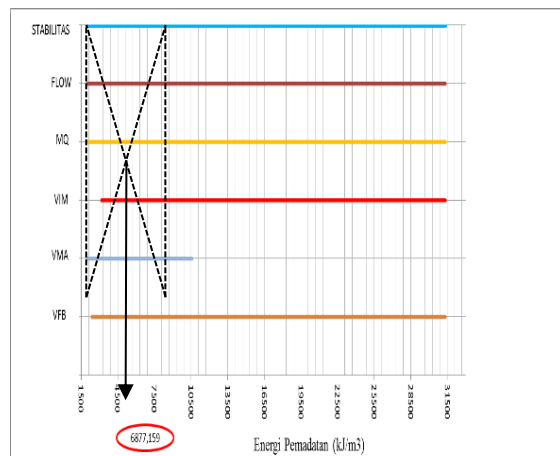
Gambar 11. Grafik hubungan antara variasi energi pematatan dengan VIM (HRS-Base)



Gambar 12. Grafik hubungan antara variasi energi pematatan dengan VMA (HRS-Base)



Gambar 13. Grafik hubungan antara variasi energi pematatan dengan VFB (HRS-Base)



Gambar 14. Energi pematatan yang memenuhi spesifikasi HRS-Base

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapat kesimpulan :

1. Dengan adanya perbedaan energi pematatan maka akan mempengaruhi nilai – nilai dari karakteristik *Marshall* yaitu nilai dari Stabilitas, Flow, Marshall Quotient, VFB semakin bertambah seiring bertambahnya



- energi pemadatan, sedangkan nilai VIM dan VMA semakin berkurang seiring bertambahnya energi pemadatan.
2. Campuran HRS-Base memiliki nilai energi pemadatan yang lebih besar dari campuran HRS-WC yaitu sebesar 16% . Karena pemadatan terbaik untuk campuran HRS-WC yaitu pada tumbukan ke 75 setara 5928,586 kJ/m<sup>3</sup> dan untuk campuran HRS-Base yaitu pada tumbukan ke 87 setara 6877,159 kJ/m<sup>3</sup>.

#### Saran

1. Karena pemadatan di lapangan lebih kompleks, dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan membandingkan energi pemadatan di lapangan dan energi pemadatan di laboratorium.
2. Disarankan untuk campuran HRS-Base pematatannya lebih banyak dibandingkan campuran HRS-WC.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ansor STH, N. 2001. *Pengaruh Usaha Pemadatan Pada Sifat-sifat Campuran Asphalt Concrete*.
- Braja M. Das, 1995. *Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*, Penerbit Erlangga..
- Cicilia, K. 2007. *Tinjauan Hubungan Usaha Pemadatan Campuran Beraspal Panas Yang Bergradasi Senjang dan Menerus*.
- Dicky, P. 2011. *Analisa Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Pada Proses Pemadatan Campuran Aspal Beton*.
- Giavanny, H. 2015. *Kajian Perbedaan kinerja Campuran Beraspal Panas Antara Jenis Lapis Tipis Aspal Beton - Lapis Aus (HRS-WC) Bergradasi Senjang Dengan Yang Bergradasi Semi Senjang*.
- Idam, S. 2007. *Pengaruh Pemadatan Terhadap VIM, VMA, VFB Pada Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus Mengikuti Lengkung Fuller*.
- Kaseke O. H., Bahan Mata Kuliah “Praktikum Perkerasan Jalan”
- Marthen, S. 2007. *Pengaruh Bentuk Agregat Kasar (Pipih dan Bulat) Terhadap Kriteria Hasil Pengujian Marshall Dari benda Uji*.
- RSNI M-01-2003 “Metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat Marshall”.
- Saondang, Hamirhan, 2005. *Perancangan Perkerasan Jalan Raya*. Penerbit Nova Bandung.
- Silvia Sukirman, 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova Bandung.
- Silvia Sukirman, 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*, Penerbit Nova Bandung.
- Spesifikasi Umum, 2010. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga revisi 3.