

## **ZEOLIT ALAM SEBAGAI *FILLER* PADA CAMPURAN LASTON (AC) DENGAN ASPAL PEN 60/70 DAN ASBUTON (BNA) *BLEND* 75:25**

### **Latif Budi Suparma**

Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas teknik, UGM  
Jl. Grafika No.2, Kampus UGM  
Yogyakarta 55281  
Telp: (0274) 902245  
suparma@yahoo.com

### **Muhammad Andrian**

Magister Sistem dan Teknik Transportasi, UGM  
Jl. Grafika No.2, Kampus UGM  
Yogyakarta 55281  
Telp: (0274) 902245  
adrian\_muh99@yahoo.com

### **Wahyu Purnomo**

Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, UGM  
Jl. Grafika No.2, Kampus UGM  
Yogyakarta 55281  
Telp: (0274) 902245  
w\_purnomo88@yahoo.com

### **Alfian Saleh**

Magister Sistem dan Teknik Transportasi, UGM  
Jl. Grafika No.2, Kampus UGM  
Yogyakarta 55281  
Telp: (0274) 902245  
alfian.saleh@gmail.com

### **Abstract**

General use asphalt mixture in Indonesia is Asphalt Pen 60/70 and rarely utilized Buton Natural Asphalt Blend 75:25. In Indonesia, natural zeolite cannot be utilized optimally as pavement and lower prices of stone dust. The purpose of this study was to determine, looking for the best mixture using zeolite. Testing was conducted by Marshall Method. In this study, variation of natural zeolite in the mixture used 25%, 50%, 75% and 100%. Marshall test results (stability) mixtures using zeolite has a value above which use a mixture of stone dust. The ability to resist deformation in the mix by using natural zeolite has a better value than a mixture of stone dust. Based on the test can be concluded that the natural zeolite can be used as a substitute for the stone dust filler in the mix pavement Asphalt Concrete (AC), with the percentage of natural zeolite optimally between 25% at Pen bitumen 60/70 and 50% at BNA Blend 75:25. Asphalt Concrete (AC) mixture by using natural zeolite has a value of weight-bearing (stability), durability, and flexibility is better than mix with stone dust.

**Keywords:** *Natural zeolite, Asphalt Pen 60/70, Asbuton, Marshall testing.*

### **Abstrak**

Campuran aspal yang digunakan di Indonesia pada umumnya menggunakan aspal Pen 60/70 dan jarang yang memanfaatkan Asbuton (BNA) Blend 75:25. Di Indonesia zeolit alam yang belum dapat dimanfaatkan maksimal sebagai perkerasan dan memiliki harga yang lebih rendah dari abu batu. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui, mencari campuran yang terbaik dengan menggunakan zeolit. Pengujian dilakukan dengan metode Marshall. Pada penelitian ini menggunakan variasi zeolit alam dalam campuran, sebesar 25 %, 50 %, 75 % dan 100 %. Hasil pengujian Marshall (stabilitas) campuran yang menggunakan zeolit memiliki nilai di atas campuran yang menggunakan abu batu. Kemampuan untuk menahan deformasi dalam campuran dengan menggunakan zeolit alam memiliki nilai yang lebih baik dari campuran abu batu. Berdasarkan pengujian dapat diambil kesimpulan bahwa zeolit alam dapat digunakan sebagai pengganti debu batu pada *filler* dalam campuran perkerasan laston (AC), dengan persentase zeolit alam optimal antara 25 % pada aspal Pen 60/70 dan 50 % pada Asbuton Blend 75:25. Campuran laston (AC) dengan menggunakan zeolit alam memiliki nilai menahan beban (stabilitas), durabilitas, dan fleksibilitas lebih baik dari campuran dengan abu batu.

**Kata kunci:** *Zeolit alam, Aspal Pen 60/70, Asbuton, pengujian Marshall.*

## **PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang**

Perkerasan lentur di Indonesia pada saat ini sebagian besar menggunakan aspal minyak Pen 60/70. Kebutuhan aspal sebagai perkerasan jalan semakin meningkat, sedang aspal

minyak produksi dan jumlahnya masih terbatas, maka di kembangkan aspal yang berasal dari aspal alami (Buton) yang di olah dengan aspal minyak. Jumlah aspal Buton yang belum banyak dimanfaatkan dapat menjadi alternatif mencukupi kebutuhan aspal perkerasan aspal perkerasan. Aspal Buton dengan *Blend 75:25* memiliki keunggulan tahan terhadap deformasi dari aspal minyak (Fatmawati, 2012).

Zeolit di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal dan hanya terbatas pada pengolahan limbah. Karakter zeolit pada suhu  $> 100$  °C yang mengeluarkan air yang tersimpan dari rongga batuan dapat membatu proses pencampuran aspal dalam campuran perkerasan. Zeolit alam dengan komposisi 0,3% dari berat campuran merupakan aditif yang memiliki stabilitas terbaik dalam campuran aspal dengan temperatur campuran 120°C (Vaitcus, et al., 2009). Secara umum *filler* dengan menggunakan abu batu atau semen memiliki nilai ekonomis yang tinggi, karena cara memperolehnya dari proses crusher. Zeolit yang diperoleh dari tambang terbuka memiliki nilai ekonomis yang lebih rendah.

Keunggulan zeolit alam yang dipadukan dengan aspal Pen 60/70 dan Asbuton (BNA) Blend 75:25, berdasarkan hal tersebut akan memiliki perkerasan lentur yang lebih baik dalam menahan beban lalu lintas, fleksibel dan tahan lama.

### **Maksud dan Tujuan**

Maksud dari penelitian ini adalah (1) untuk mengetahui karakteristik campuran perkerasan dengan zeolit alam sebagai *filler*; serta (2) untuk mengetahui persentase optimum zeolit alam dalam campuran perkerasan laston (AC) dengan aspal minyak dan aspal buton *blend 75:25* yang sesuai dengan standar dan persyaratan yang berlaku. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh zeolit alam sebagai bahan pengisi (*filler*) campuran perkerasan laston (AC) dengan aspal minyak dan aspal buton *blend 75:25* terhadap beban lalu lintas.

### **Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini, antara lain: (1) memanfaatkan zeolit alam sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran perkerasan laston (AC); (2) memanfaatkan zeolit alam agar lebih bermanfaat dengan nilai ekonomis yang lebih rendah dari abu batu atau semen; (3) sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya, perencanaan, dan pelaksanaan di lapangan.

### **Hipotesis**

Hipotesis dalam penelitian ini, antara lain: (1) Persentase zeolit alam dalam campuran laston (AC) sebanding dengan meningkatnya kebutuhan aspal dalam campuran; serta (2) meningkatnya zeolit alam dalam campuran laston (AC) sebanding dengan kekuatan campuran dalam menahan beban lalu lintas.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Perkerasan Jalan**

Perkerasan jalan merupakan lapisan antara beban lalu lintas dengan tanah dasar, yang berfungsi sebagai penerus beban lalu lintas ke tanah dasar, melindungi lapisan di bawahnya yang memiliki kelemahan dalam mendukung beban lalu lintas.

### **Karakteristik Campuran Aspal Perkerasan**

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah sebagai berikut: (1) stabilitas; (2) durabilitas (keawetan/daya tahan); (3) fleksibilitas (kelenturan); (4) *skid resistance* (kekesatan); (5) *fatigue resistance* (ketahanan kelelahan); serta (5) *workability* (kemudahan pelaksanaan).

### **Agregat**

Agregat adalah suatu bahan yang terdiri dari mineral padat dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran agregat aspal yang berupa berbagai jenis butiran-butiran atau pecahan yang termasuk di dalamnya antara lain; pasir, kerikil, batu pecah atau kombinasi material lain yang digunakan dalam campuran aspal buatan.

### **Bahan Pengisi (Filler)**

*Filler* adalah material yang lolos saringan no.200 (0,075 mm) dan termasuk kapur hidrat, abu terbang, Portland semen dan abu batu. *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran.

### **Aspal**

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat, yang terdiri dari *hydrocarbons* atau turunannya, terlarut dalam *trichloro-ethylene* dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal berwarna hitam, material keras (bersifat semen) yang memiliki konsistensi dari pada menuju ke semi pada pada temperatur normal. (MS-22, *Asphalt Institute*, 1989).

### **Aspal Minyak**

Aspal yang merupakan hasil residu destilasi minyak bumi yang bersifat viscoelastic (Rev. SNI 03-1737-1989). Aspal minyak diproses secara ekonomis untuk dapat menghasilkan produk-produk yang dapat beragam dan dapat dijual.

### **Aspal Alami Buton (BNA) blend 75:25**

Aspal Buton Alami / *Buton Natural Asphalt* (BNA) blend 75/25 merupakan aspal blend (campuran) dari aspal buton dan aspal minyak Pertamina 60/70. BNA blend 75:25 termasuk ke dalam jenis aspal modifikasi.

### **Zeolit Alam**

Zeolit merupakan suatu kelompok mineral yang dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa. Zeolit merupakan kristal alumina silikat dengan rumus empiris  $Mx/n.(AlO_2)_x.(SiO_2)_y.xH_2O$ . Zeolit alam ataupun zeolit sintesis memiliki jumlah yang berbeda dalam mengikat air dan melepaskannya. Penambahan zeolit pada aspal campuran panas pada temperatur campuran 100 °C hingga 200 °C, mengakibatkan lepasnya kandungan air yang ada di dalamnya (Devivere, M. Von, et al, 2010).

### **Campuran Perkerasan Lapis Aspal Beton (Laston/AC)**

Lapis Aspal Beton (Laston / Asphalt Concrete) merupakan lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural. Campuran ini terdiri dari agregat bergradasi menerus (*dense graded*) dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Laston merupakan campuran yang memiliki nilai struktural (Pedoman Teknik No.025/T/BM/1999).

### **Pengujian Marshall**

Pengujian *Marshall* meliputi pengujian stabilitas dan kelelahan pada benda uji campuran aspal yang telah dipadatkan, untuk mengetahui karakteristik campuran.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

### **Tahapan Pelaksanaan Penelitian**

Tahapan pelaksanaan penelitian akan dilakukan dengan 3 tahapan, yaitu:

1. Tahapan Pengumpulan Data yang dilakukan pada tahap ini, adalah mengkaji data sekunder dari berbagai literatur dan standar pada Spesifikasi Umum (Bina Marga, 2010);
2. Tahapan Pengujian Laboratorium yang dilakukan pada tahap ini, adalah melakukan kegiatan menguji mutu bahan campuran, merancang campuran rencana, dan menguji campuran perkerasan laston (AC); serta
3. Tahapan Analisis dan Kesimpulan yang dilakukan pada tahap ini, adalah memberikan analisis dari hasil pengujian dengan membandingkan persyaratan yang terdapat dalam Spesifikasi Umum (Bina Marga, 2010), kemudian memberikan kesimpulan, saran dari penelitian yang dilakukan dan memberikan rekomendasi terhadap penggunaan zeolit alam sebagai pengganti abu batu / semen pada *filler* dalam skala besar.

### **Pelaksanaan Pengujian Laboratorium**

Pada tahap pengujian dilakukan 3 proses. Proses awal melakukan kegiatan persiapan alat dan bahan, serta pengujian mutu bahan campuran. Spesifikasi Aspal Pen 60/70 dan Asbuton berdasarkan Spesifikasi Umum (Bina Marga, 2010). Pada proses selanjutnya melakukan kegiatan perancangan campuran rencana untuk memperoleh KAO dan membuat benda uji campuran berdasarkan nilai KAO dan persentase maksimum zeolit alam pada campuran. Penentuan suhu aspal Pen 60/70 dan Asbuton pada campuran menggunakan viskositas pada saat nilai 0,2 Pa.s (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2010). Pada proses akhir menitik beratkan pada pengujian Marshall. Pelaksanaan pengujian berdasarkan RSNI M-01-2003 (metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat Marshall).

### **Parameter Campuran Aspal (Karakteristik Marshall)**

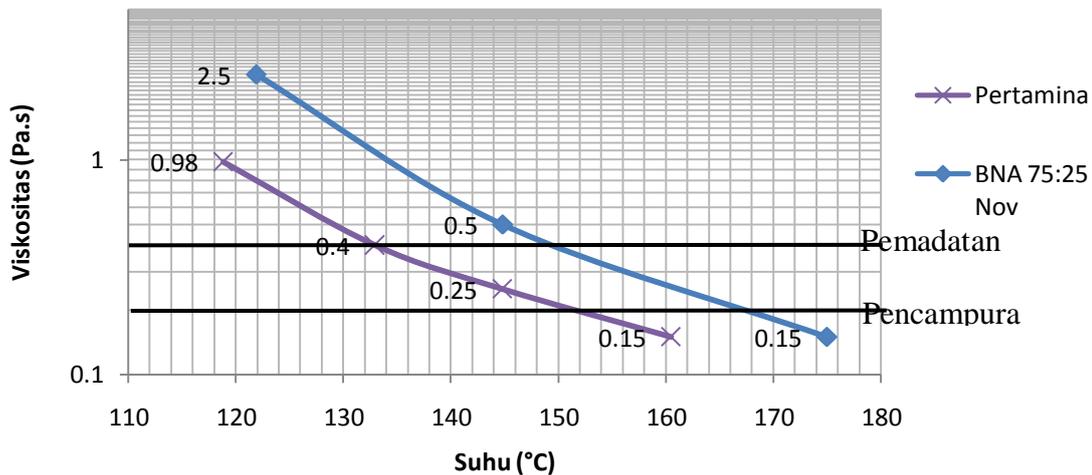
Parameter yang digunakan dalam mengukur kinerja campuran aspal yang bergantung pada karakteristik Marshall, antara lain: stabilitas, kepadatan, rongga di dalam agregat mineral (*voids in the mineral aggregate*, VMA), rongga dalam campuran (*voids in the mix*, VITM), rongga terisi aspal (*voids filled with asphalt*, VFWA), kelelahan (*flow*) dan *Marshall Quotient*. Standar yang digunakan dalam pengujian sesuai dengan Spesifikasi Umum (Bina Marga, 2010), dan Revisi SNI 03-1737-1989 (Pelaksanaan lapis campuran beraspal panas). Campuran yang di gunakan dalam pengujian ini adalah lapis antara laston (AC-BC).

## **HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil Pengujian Bahan Campuran**

Campuran beraspal terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi dan aspal. Pada studi penelitian ini menggunakan agregat dari Clereng dan bahan pengisi dari debu batu

dari PT. Perwita Karya, serta aspal berasal dari Pertamina AC Pen 60/70. Zeolit alam sebagai *filler* berasal dari Klaten dengan ukuran lolos saringan No.200 (0,075 mm). Pengujian berat jenis zeolit alam sesuai dengan SNI 15-2531-1991. Berdasarkan hasil pengujian bahan yang akan digunakan telah memenuhi persyaratan yang sesuai standar. Hasil pengujian viskositas aspal terdapat pada Gambar 1 dan pengujian mutu aspal terdapat pada Tabel 1. Suhu pencampuran Aspal Pen 60/70 pada suhu 151 °C dan Asbuton *Blend* 75:25 pada suhu 167 °C.



**Gambar 1** Hasil pengujian viskositas Aspal Pertamina dan Asbuton (BNA) *Blend* 75:25

### Perancangan Campuran Rencana, Pengujian KAO dan Pengujian Marshall

Persentase yang digunakan dalam perancangan campuran perkerasan lapis antara laston (AC-BC) adalah 25 %, 50 %, 75 % dan 100 %. Kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik campuran diperlukan penentuan kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum bertujuan untuk mengetahui suatu campuran memiliki kekuatan/persyaratan teknis yang baik dengan nilai ekonomis yang baik/rendah.

Hasil pengujian Marshall yang telah dilakukan, menghasilkan kebutuhan kadar aspal optimum untuk masing-masing persentase zeolit alam terdapat pada Gambar2 dan Tabel 4. Semakin besar persentase zeolit alam semakin tinggi kebutuhan aspal dalam campuran. Secara teknis hal ini, disebabkan karena berat jenis zeolit alam di bawah debu batu, dan fungsi *filler* dalam lapis antara laston berfungsi sebagai nilai struktural pengisi rongga di sela-sela agregat kasar dan halus, sehingga volume kebutuhan bahan pengisi lebih rendah yang berakibat pada semakin banyak aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga pada campuran.

**Tabel 1** Hasil Pengujian Mutu Aspal Pen 60/70 dan Asbuton (BNA) *Blend* 75:25

| Jenis Pengujian   | Satuan | Pen 60/70   |           | Asbuton     |           |
|-------------------|--------|-------------|-----------|-------------|-----------|
|                   |        | Pesyaratan* | Pengujian | Pesyaratan* | Pengujian |
| Penetrasi 25 °C   | 0,1 mm | 60-70       | 60,6      | ≥ 50        | 55        |
| Viskositas 135 °C | cSt    | ≥ 300       | 346       | 385 - 2000  | 828,88    |
| Titik Lembek      | °C     | ≥ 48        | 48,75     | ≥ 53        | 53,25     |
| Titik Nyala       | °C     | ≥ 200       | 331       | ≥ 225       | 320       |
| Daktalitas 25 °C  | cm     | ≥ 100       | ≥ 100     | ≥ 50        | 48        |

|                                    |        |       |       |      |       |
|------------------------------------|--------|-------|-------|------|-------|
| Kelarutan dalam TCE                | %      | ≥ 99  | 99,66 | ≥ 90 | 84,52 |
| Berat yang hilang                  | %      | ≤ 0,8 | 0,048 | ≤ 2  | 0,078 |
| Penetrasi setelah kehilangan berat | 0,1 mm | ≥ 54  | 95,05 | ≥ 50 | 94,65 |

\* Sumber: Spesifikasi Umum 2010 (Bina Marga, 2010), Revisi SNI 03-1737-1989

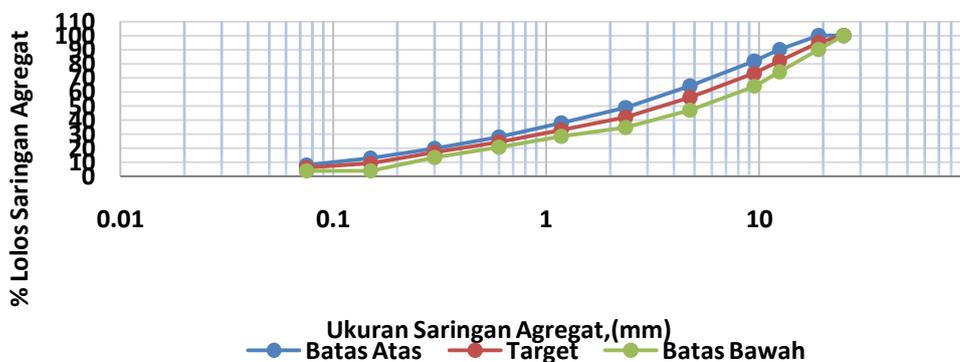
### Gradasi Campuran

Campuran perkerasan lapis antara laston (AC-BC) dengan menggunakan zeolit alam sebagai *filler* menggunakan rencana gradasi yang terdapat dalam Gambar 2 yang berdasarkan pada Spesifikasi Umum 2010, Bina Marga.

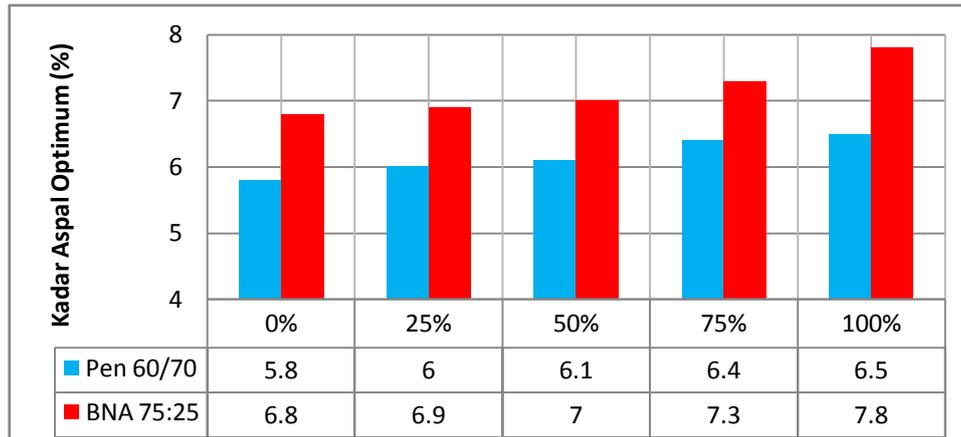
### Hasil Pengujian dan Analisis Karakteristik Marshall

Pengujian Marshall bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran beraspal. Hasil pengujian Marshall terdapat pada Tabel 2. Kebutuhan aspal dalam campuran perkerasan lapis antara laston (AC-BC) semakin meningkat sesuai dengan meningkatnya persentase zeolit alam dalam campuran tersebut. Hal ini di tunjukkan dalam Gambar 2. Hal ini, dapat disebabkan luas permukaan yang diselimuti oleh aspal semakin meningkat sejalan dengan meningkat jumlah luas permukaan zeolit alam dan abu batu dalam campuran. Selain itu, tingkat penyerapan zeolit yang tinggi juga berpengaruh terhadap meningkatnya kebutuhan aspal.

Gambar 3 menunjukkan nilai stabilitas zeolit alam pada campuran aspal perkerasan, memiliki nilai lebih besar dari campuran perkerasan dengan abu batu. Hal ini, berakibat meningkatnya stabilitas sehingga kekuatan campuran aspal untuk menahan beban lalu lintas naik dan lebih baik. Hal ini, dapat disebabkan berat jenis zeolit alam di bawah berat jenis debu batu sehingga jumlah butiran semakin banyak dan dapat mengisi rongga diantara agregat. Selain itu, terjadinya pelepasan air membantu aspal untuk dapat menyelimuti agregat dan masuk di rongga antar agregat lebih baik dari abu batu. Akan tetapi, semakin banyak zeolit alam yang menggantikan abu batu akan mengalami penurunan stabilitas. Hal ini, lebih disebabkan pada berat jenis zeolit alam yang lebih rendah dari abu batu, sehingga semakin banyak stabilitasnya semakin menurun. Oleh karena itu perlu dicari nilai optimal zeolit alam sebagai *filler*. Dari data yang ada, persentase zeolit alam yang memiliki stabilitas di atas kontrol dan lebih tinggi dari variasi zeolit alam lainnya adalah 25 % (30 menit = 2178 kg; 24 jam = 1936 kg; dan stabilitas sisa 88,89 %) untuk Asbuton BNA Blend 75:25, dan 50 % (30 menit = 1365 kg; 24 jam = 1223 kg; dan stabilitas sisa 89,64 %).



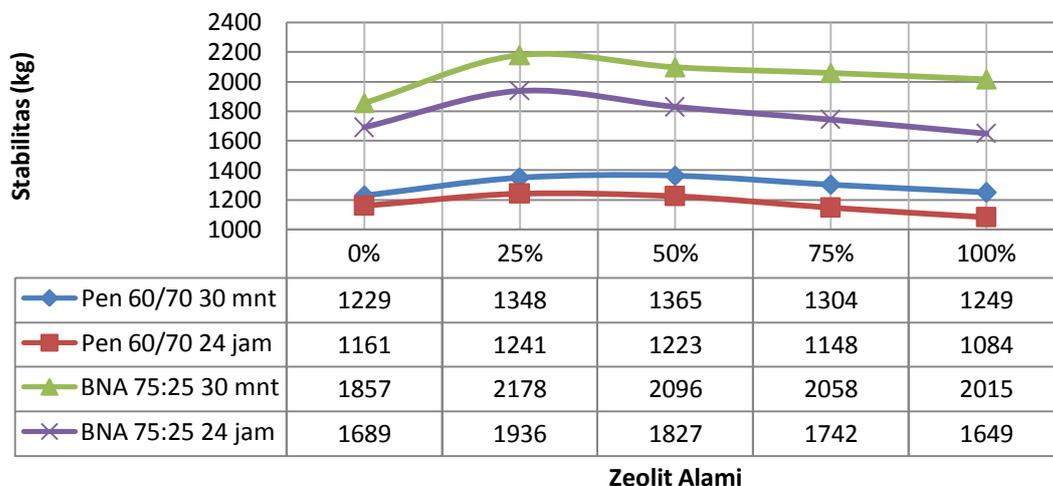
Gambar 2 Gradasi Lapis Antara Aspal Beton (Laston/AC-BC)



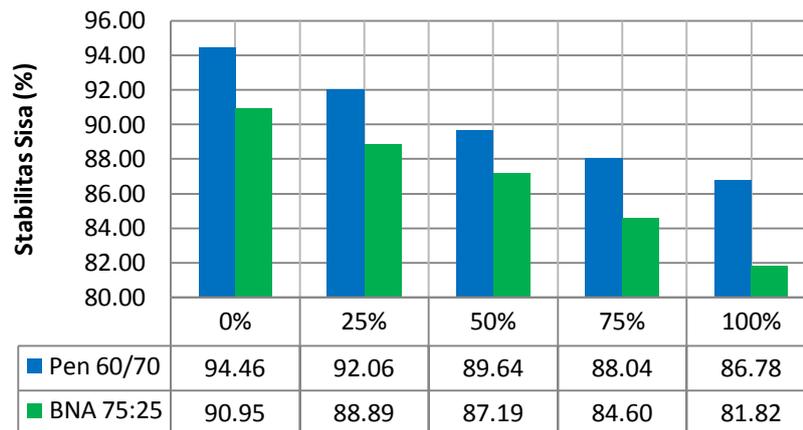
**Gambar 3** Kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan persentase zeolit alam

Gambar 3 menunjukkan bahwa aspal dengan menggunakan Asbuton (BNA) *Blend* 75:25 memiliki stabilitas yang tinggi dari aspal Pen 60/70. Hal ini, menunjukkan bahwa kemampuan Asbuton (BNA) *Blend* 75:25 dalam menahan beban lalu lintas lebih baik dari aspal Pen 60/70.

Daya tahan (durabilitas) campuran perkerasan dipengaruhi oleh nilai VFA. Berdasarkan Tabel 2. Nilai VFA untuk aspal Asbuton (BNA) *Blend* 75:25 secara umum mengalami kenaikan, sehingga zeolit alam dalam campuran tersebut dapat meningkatkan durabilitas campuran, tetapi aspal Pen 60/70 mengalami penurunan sehingga durabilitas belum sebaik campuran perkerasan dengan abu batu. Fleksibilitas campuran dapat dilihat dari menurunnya nilai VITM/VIM. Campuran perkerasan dengan menggunakan aspal Pen 60/70 memiliki fleksibilitas yang lebih baik dari campuran perkerasan dengan menggunakan Asbuton (BNA) *Blend* 75:25. Hal ini, disebabkan adanya butiran mineral dalam Asbuton yang belum larut dalam campuran, sehingga menambah *filler* ataupun agregat halus dalam campuran yang akan mempengaruhi nilai karakteristik Marshall. Nilai VMA dalam campuran mempengaruhi nilai fleksibilitas. Secara umum VMA dalam campuran perkerasan dengan menggunakan Aspal Pen 60/70 dan Asbuton (BNA) *Blend* 60/70 meningkat, tetapi nilai fleksibilitas yang terbaik adalah dengan menggunakan Aspal Pen 60/70.



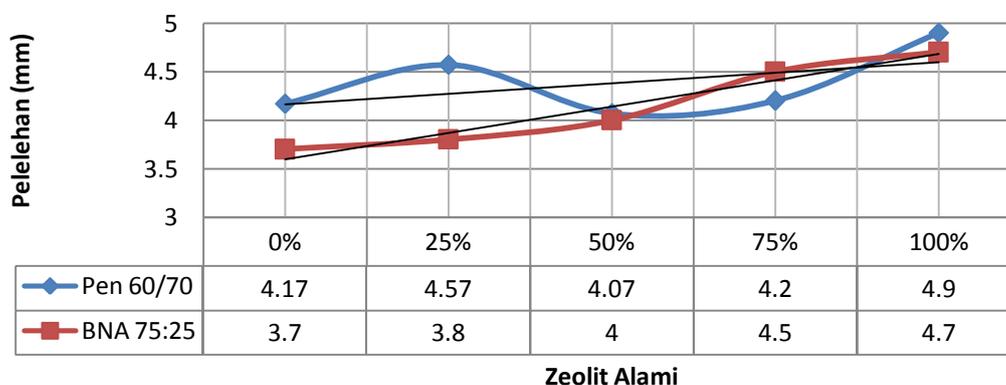
**Gambar 4** Stabilitas Campuran dengan menggunakan Zeolit alam



**Gambar 5** Stabilitas sisa dengan menggunakan zeolit alam dalam campuran HRS-WC

Stabilitas sisa pada Gambar 5 dalam pengujian menunjukkan adanya penurunan pada campuran dengan zeolit alam. Hal ini membuktikan bahwa durabilitas campuran dengan zeolit alam sebagai *filler* masih di bawah dari campuran konvensional atau campuran lapis antara laston (AC) dan secara umum telah memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Umum 2010.

Nilai pelelehan semakin besar, maka fleksibilitas dan kemampuan menahan beban untuk terjadinya deformasi semakin baik. Jika nilai pelelehan semakin kecil, maka campuran akan cepat terjadinya kelelahan yang berakibat semakin cepat getas. Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan nilai pelelehan secara linear sebanding dengan kenaikan persentase zeolit alam. Hal ini, menunjukkan fleksibilitas dari campuran perkerasan dengan menggunakan zeolit alam lebih baik dari campuran perkerasan konvensional.



**Gambar 5** Pelelehan dengan menggunakan zeolit alam dalam campuran perkerasan lapis antara Laston (AC)

### Persentase Zeolit alam yang Optimal dalam Campuran HRS-WC

Secara umum hasil pengujian karakteristik Marshall telah memenuhi standar yang ditetapkan Bina Marga. Berdasarkan hasil dan pembahasan, zeolit alam sebagai *filler* memiliki karakteristik Marshall yang baik dan lebih baik dari campuran perkerasan. Nilai perbandingan tersebut terdapat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Perbandingan nilai karakteristik Marshall

| Pengujian    |                    | Persyaratan | Kontrol (0 % Zeolit) |           | 25 % Zeolit |           | 50 % Zeolit |           | 75 % Zeolite |           | 100 % Zeolit |           |
|--------------|--------------------|-------------|----------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
|              |                    |             | Pen 60/70            | BNA 75:25 | Pen 60/70   | BNA 75:25 | Pen 60/70   | BNA 75:25 | Pen 60/70    | BNA 75:25 | Pen 60/70    | BNA 75:25 |
| KAO          | %                  | ≥ 4,0       | 5,8                  | 6,8       | 6           | 6,9       | 6,1         | 7         | 6,4          | 7,3       | 6,5          | 7,8       |
| VITM         | %                  | 3,5 - 5,5   | 4,76                 | 3,72      | 4,65        | 3,52      | 4,81        | 3,49      | 4,99         | 3,36      | 5,43         | 3,17      |
| VMA          | %                  | ≥ 14        | 16,66                | 14,68     | 16,34       | 14,18     | 16,87       | 14,44     | 17,42        | 14,72     | 16,74        | 14,93     |
| VFA          | %                  | ≥ 63        | 69,17                | 74,82     | 65,29       | 75,78     | 68,07       | 75,84     | 66,16        | 77,19     | 63,04        | 78,79     |
| Stab. 30 mnt | kg                 | 1000        | 1229                 | 1857      | 1348        | 2178      | 1365        | 2096      | 1304         | 2058      | 1249         | 2015      |
| Stab. 24 jam | kg                 | -           | 1161                 | 1689      | 1241        | 1936      | 1223        | 1827      | 1148         | 1742      | 1084         | 1649      |
| Stab. Sisa   | %                  | 80          | 94,5                 | 91,0      | 92,1        | 88,9      | 89,6        | 87,2      | 88,0         | 84,6      | 86,8         | 81,8      |
| Pelelehan    | mm                 | ≥ 3,0       | 4,17                 | 3,7       | 4,57        | 3,8       | 4,07        | 4         | 4,2          | 4,5       | 4,9          | 4,7       |
| MQ           | kg/mm              | 300         | 294,7                | 501,9     | 295,1       | 573,1     | 335,3       | 524,0     | 310,5        | 457,4     | 254,8        | 428,8     |
| Berat Jenis  | gt/cm <sup>3</sup> | -           | 2,356                | 2,354     | 2,395       | 2,356     | 2,362       | 2,354     | 2,327        | 2,347     | 2,335        | 2,341     |

Pelaksanaan di lapangan sebaiknya menggunakan campuran dengan zeolit alam antara 25 % pada aspal Pen 60/70 dan 50 % pada aspal Asbuton (BNA) *Blend* 75:25. Hal ini, disebabkan dalam beberapa hasil pengujian Marshall memiliki nilai yang lebih baik dari kontrol atau campuran perkerasan lapis antara laston (AC-BC) konvensional.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini, antara lain:

1. Pada karakteristik Marshall yang telah ditentukan pada Revisi SNI 03-1737-1989 dan Spesifikasi Umum 2010, campuran perkerasan laston (AC) dengan menggunakan zeolit alam sebagai *filler* telah memenuhi spesifikasi dan persyaratan tersebut.
2. Pada campuran perkerasan laston (AC) dengan aspal Pen 60/70 dan zeolit alam memiliki fungsi yang baik dalam fleksibilitas dan tahan terhadap kelelahan.
3. Campuran campuran perkerasan laston (AC) dengan Asbuton (BNA) *Blend* 75:25 dan menggunakan zeolit alam memiliki ketahanan (durabilitas) dan stabilitas lebih baik dari campuran perkerasan konvensional yang menggunakan aspal Pen 60/70.
4. Persentase zeolit alam sebagai bahan pengganti debu batu pada bahan pengisi campuran perkerasan laston (AC) yang memberikan hasil optimal adalah campuran dengan persentase zeolit alam sebesar 25 % pada aspal Pen 60/70 dan 50 % pada Asbuton (BNA) *Blend* 75:25.

## **Saran**

Saran yang diperlukan adalah:

1. Perlu ada penelitian dengan skala 1 : 1, untuk menguji efektivitas pada hasil pengujian laboratorium, serta
2. Perlu adanya kajian nilai ekonomis, sehingga ada gambaran jika dilaksanakan dalam skala sebenarnya dan membandingkan dengan kondisi campuran perkerasan yang konvensional.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Asphalt Institute. 2001. Construction of Hot Mix Asphalt Pavement, Manual Series No.22 (MS-22). Second Edition. Lexington, Kentucky. USA.
- Ditjen Bina Marga. 2010. Spesifikasi Umum Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Deviver, M. von, et al. 2010. Warm Asphalt Mixes by Adding Aspha-mina Synthetic Zeolite. Jerman: Eurovia.
- R-SNI M-01-2003. 2003. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall. Bandung: Pustran-Balitbang, Dep. PU.
- Rev-SNI 03-1737-1989. 2006. Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston). Bandung: Balitbang, Dep. PU.
- Suparma, L. B. 2011. Bahan Konstruksi. Bahan Kuliah MSTT. Yogyakarta: Penerbit MSTT, Universitas Gadjah Mada.
- Vaitkus, Audrius, et al. 2009. Analysis and Evaluation of Possibilities for the Use of Warm Mix Asphalt in Lithuania. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*.