

KETAHANAN DEFORMASI CAMPURAN BERASPAL HANGAT ASPAL MODIFIKASI DENGAN BAHAN ADITIF ZEOLIT ALAM

Ani Tjitra Handayani
Jurusan Teknik Sipil
STTNAS Yogyakarta
Jl. Babarsari, Depok
Yogyakarta
Ani.citra90@yahoo.co.id

Bagus Hario Setiaji
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro
Jl. Hayam Wuruk
Semarang
bhsetiadji@yahoo.com

Sri Prabandiyani R.W
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro
Jl. Hayam Wuruk
Semarang
Wardani_spr@yahoo.com

Abstrak

Bahan pengikat aspal polimer menjadi lebih populer di banyak penelitian dan praktik saat ini karena potensinya untuk meningkatkan ketahanan retak pada suhu rendah dan juga menyediakan *rutting resistance* pada suhu tinggi pada campuran aspal. Aspal modifikasi polimer (PMA) juga dapat dikembangkan menggunakan teknologi campuran hangat dengan menambahkan campuran menggunakan bahan aditif sintetis atau alami. Campuran ini dapat meningkatkan ketahanan deformasi dengan suhu yang lebih rendah dalam proses pencampuran dan pemadatan. Penelitian ini mengusulkan pengembangan campuran hangat PMA dengan zeolit alam, yaitu aditif alami dari Bayat (Jawa Tengah) dan kinerja campuran, dalam hal volumetrik dan sifat mekanik, dan ketahanan deformasi, yang dievaluasi menggunakan metode Marshall dan uji *wheel tracking*.. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PMA dengan 1% zeolit alam memiliki stabilitas Marshall lebih besar dari PMA tanpa zeolit. Pengujian *wheel tracking* pada suhu 60°C, PMA dengan 1% zeolit alam menunjukkan kinerja yang lebih baik dari PMA tanpa zeolit, seperti yang ditunjukkan pada nilai stabilitas dinamis 2.127,4 lintasan/menit dan 1.431,8 lintasan / menit dan kecepatan deformasi 0,0193 mm/menit dan 0,0293 mm / menit (untuk masing-masing PMA dengan zeolit dan campuran PMA tanpa zeolit).

Kata-kata Kunci: Ketahanan Deformasi, Campuran Beraspal Hangat, Aspal Modifikasi Polimer, Zeolit Alam

Abstract

Polymer asphalt binder became more popular in many researches and practices today due to its potential to improve cracking resistance at low temperature and also provide rutting resistance at high temperature on asphalt mixtures. Polymer modified asphalt (PMA) also can be developed by means of warm mix technology by mixing the mixtures with synthetic or natural additives. This mixture can improve pavement deformation resistance with lower temperature in its mixing and compaction process. This research proposed a development of warm PMA mixture with natural zeolit, i.e. natural additive from Bayat (Central Java) and the performance of the mixture, in the terms of volumetric and mechanical properties, and deformation resistance, was evaluated using Marshall method and wheel tracking test, respectively. The results showed that PMA with 1% natural zeolite had greater Marshall stability than that without zeolite. Under wheel tracking test at temperature of 60 ° C, PMA with 1% natural zeolite showed better performance than that without zeolit, as indicated by dynamic stability of 2127.4 and 1431.8 repetition/minute and deformation speed of 0.0193 and 0.0293 mm/minute (for PMA with zeolit and mixture without zeolite, respectively).

Keywords: Deformation Resistance, Warm Mix Asphalt, Polymer Modified Asphalt, Natural Zeolite

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Dalam bidang konstruksi perkerasan lentur jalan raya, kemampuan layan merupakan hal yang signifikan untuk diperhatikan. Salah satu penyebab utama dan memburuknya kemampuan layan adalah rendahnya daya tahan lapisan perkerasan dalam menerima beban lalu lintas berat yang sering dihubungkan dengan ketahanan terhadap deformasi permanen.

Penggunaan campuran polimer aspal merupakan *trend* yang semakin meningkat, untuk mendapatkan kualitas aspal yang lebih baik dan memperpanjang masa layan perkerasan. Jew dan Woodhams (1986) menyatakan bahwa polimer elastomer adalah pengubah berpotensi untuk meningkatkan ketahanan retak pada suhu rendah pada campuran beton aspal, dan juga dapat memberikan tambahan stabilitas perkerasan pada temperatur tinggi sehingga dapat meminimalkan *rutting*. Beberapa penelitian tentang penggunaan aspal polimer elastomer telah banyak dilakukan, akan tetapi penelitian yang ada selama ini hanya dilakukan dengan menggunakan teknologi *Hot Mix Aspal*, memerlukan suhu pemanasan sekitar 160°C. Angka ini cukup besar, yang berarti diperlukan bahan bakar yang cukup banyak sehingga dihasilkan emisi buang yang besar dan memerlukan biaya tinggi.

Menurut Hurley dan Prowell (2006) serta Gandhi dan Amirkhainan (2007), *Warm Mix Aspal* mengacu pada teknologi yang memungkinkan penurunan yang signifikan dari suhu pencampuran dan suhu pemadatan campuran aspal, menambahkan bahan aditif. Teknologi WMA diharapkan dapat menurunkan viskositas aspal yang pada akhirnya berdampak pada penurunan suhu pencampuran dan pemadatan yang secara otomatis akan ada penurunan terhadap jumlah bahan bakar yang digunakan dan penurunan energi yang digunakan.

Indonesia adalah salah satu Negara dengan cadangan zeolit alam terbesar didunia dan tersebar hampir di setiap daerah terutama pulau Jawa (Distamben Jabar, 2002 dan Sugih, 2008). Zeolit alam sebagai bahan tambah dikarenakan disamping kompetitif dari segi biaya jika dibanding dengan zeolit sintesis yang hanya diproduksi di luar negeri, juga dikarenakan deposit zeolit alam di Indonesia sebesar 400 juta ton.

Berdasarkan alasan tersebut di atas, perlu adanya penelitian membuat campuran aspal modifikasi polimer menggunakan teknologi campuran beraspal hangat dengan bahan aditif zeolit alam. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan deformasi akibat bahan aditif zeolit alam pada campuran beraspal hangat menggunakan aspal modifikasi serangkaian pengujian di laboratorium.

Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mengevaluasi pengaruh temperature terhadap campuran beraspal hangat yang menggunakan aspal modifikasi polimer dan bahan aditif zeolit alam Bayat. Secara rinci tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Mendapatkan suhu pencampuran dan suhu pemadatan minimal pada campuran beraspal hangat menggunakan bahan ikat aspal polimer dengan bahan aditif zeolit alam.
- b. Membandingkan dan menganalisis kinerja ketahanan deformasi campuran beraspal hangat Lapis Aus (ACWC) memakai aspal polimer dan bahan aditif zeolit alam menggunakan *Wheel Tracking Test*.

2. Metodologi Penelitian

Bahan

Material yang digunakan dalam penelitian adalah :

- a. Agregat berasal dari Subang, Jawa Barat
- b. Aspal polimer yang digunakan E-55
- c. Zeolit alam berasal dari Bayat, Jawa Tengah bentuk powder lolos saringan no. 400.
- d. Cairan HCl digunakan untuk melarutkan senyawa pengotor yang terdapat didalam zeolit alam sebelum proses aktivasi.
- e. Aqua D'Mineral merupakan cairan untuk membersihkan zeolit alam dari senyawa pengotor yang digunakan bersamaan dengan cairan HCl, sebelum proses aktivasi.

Pengujian

Pengujian didasarkan pada standar Spesifikasi Campuran Aspal Panas yang diterbitkan Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2010 dan jika prosedur pengujiannya belum terdapat pada SNI maka mengacu kepada ASTM (American Society for Testing and Material), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Perencanaan campuran beraspal hangat menggunakan metode Marshall dan pendekatan kepadatan mutlak untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO). Pengujian laboratorium ketahanan Deformasi menggunakan alat Wheel Tracking pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO). Benda uji mempunyai dimensi 30 x 30 x 5 cm, yang dipadatkan dengan alat pemadat yang sesuai. Kepadatan benda uji harus memenuhi kepadatan yang diperoleh dari analisa Marshall, dengan toleransi $\pm 2\%$. Pengujian dilakukan dengan tekanan permukaan sebesar $6,4 \pm 0,15$ kg/cm², yang setara dengan beban sumbu tunggal roda ganda 8,16 ton. Masing-masing benda uji diuji dengan 1.260 siklus roda dalam satu jam, yaitu dengan 21 siklus (42 lintasan) per menit. Pengujian dilakukan pada temperatur 60°C yang dimaksudkan untuk lebih melihat pengaruh temperatur terhadap kinerja campuran.

3. Hasil dan Analisis

Hasil Pengujian Agregat

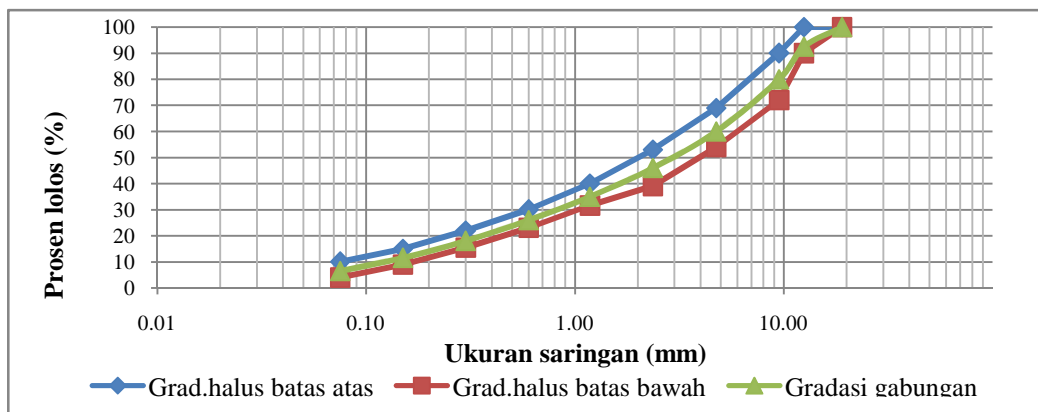
Pengujian Agregat dilakukan pada agregat kasar, agregat halus dan gradasi, yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Gambar 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian Mutu Agregat Kasar

| No | Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Hasil | Spesifikasi | Satuan |
|----|----------------------------|------------------|-----------|-------------|--------|
| 1. | Abrasi | SNI 03-2417-2008 | 17,5 | ≤ 40 | % |
| 2. | Berat Jenis | | | | |
| | <i>Bulk</i> | SNI 03-1969-2008 | 2,647 | > 2,5 | - |
| | <i>SSD</i> | & | 2,688 | 2,5 | - |
| | <i>Apparent</i> | SNI 03-1970-2008 | 2,760 | < 3 | - |
| 3. | Penyerapan | SNI 03-1969-2008 | 1,543 | ≤ 3 | % |
| 4. | Angularitas Agregat Kasar | ASTM D 4791-2005 | 99,9/99,6 | ≥ 95/90 | % |
| 5. | Partikel Pipih dan Lonjong | ASTM D 4791-2005 | 1,0 | ≤ 10 | % |
| 6. | Pelapukan | SNI 03-3407-1994 | 0,3 | ≤ 12 | % |
| 7. | Lolos Saringan No. 200 | SNI 03-4142-1996 | 0,47 | ≤ 1 | % |

Tabel 2 Hasil Pengujian Mutu Agregat Halus

| No | Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Hasil | Spesifikasi | Satuan |
|----|---------------------------|------------------|-------|-------------|--------|
| 1. | Setara Pasir | SNI 03-4428-1997 | 61,0 | ≥ 60 | % |
| 2. | Berat Jenis | | | | |
| | <i>Bulk</i> | SNI 03-1969-2008 | 2,658 | > 2,5 | - |
| | <i>SSD</i> | & | 2,691 | 2,5 | - |
| | <i>Apparent</i> | SNI 03-1970-2008 | 2,748 | < 3 | - |
| 3. | Penyerapan | SNI 03-1969-2008 | 1,235 | ≤ 3 | % |
| 4. | Angularitas Agregat Halus | SNI 03-6877-2002 | 48,50 | ≥ 45 | % |
| 5. | Pelapukan | SNI 03-3407-1994 | 1,8 | ≤ 12 | % |
| 6. | Gumpalan lempung | SNI 03-4141-1996 | 0,40 | ≤ 1 | % |



Gambar 1 Grafik Gradasi Gabungan Campuran

Berdasarkan Tabel 1 hasil pengujian agregat kasar dan Tabel 2 hasil pengujian agregat halus serta Gambar 1 hasil pengujian gradasi, diperoleh hasil bahwa ketiga pengujian agregat yang digunakan untuk membuat campuran beraspal hangat sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010.

Hasil Pengujian Aspal Modifikasi Polimer

Hasil Pengujian aspal modifikasi polimer dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Mutu Aspal Modifikasi Polimer

| No. | Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Hasil Pengujian | Spesifikasi | Satuan |
|-----|-------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------|--------|
| 1. | Penetrasi pada 25 °C, 100 g, 5 detik | SNI 06-2456 : 2011 | 61 | 50 – 70 | 0,1 mm |
| 2. | Viskositas pada 135°C | SNI 06-6441-2000 | 818 | ≤2000 | cSt |
| 3. | Titik lembek | SNI 06 2434 : 2011 | 53,5 | - | °C |
| 4. | Daktalitas pada 25 °C, 5 cm / menit | SNI 06-2432 : 2011 | > 140 | ≥100 | Cm |
| 5. | Titik nyala (COC) | SNI 06-2433 : 2011 | 332 | ≥232 | °C |
| 6. | Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ | SNI 06-2438-1991 | 99,8663 | Min. 99 | % |
| 7. | Berat jenis | SNI 06-2441 : 2011 | 1,036 | ≥1,0 | gr/cc |
| 8. | Kehilangan berat (TFOT) | SNI 06-2440-1991 | 0,0145 | ≤2,2 | % |
| 9. | Perbedaan titik lembek | ASTM D 5976 part. 6.1 | 0,2 | ≤0,8 | °C |
| 10. | Penetrasi setelah TFOT | SNI 06-2456 : 2011 | 85,2 | ≥54 | % |
| 11. | Titik lembek setelah TFOT | SNI 06-2434 : 2011 | 55,5 | - | °C |
| 12. | Daktalitas setelah TFOT | SNI 06-2432 : 2011 | > 140 | ≥50 | Cm |
| 13. | Perkiraan suhu pencampuran | AASHTO-72-1990 | 173 – 179 | | °C |
| 14. | Perkiraan suhu pematangan | AASHTO-72-1990 | 159 - 165 | | °C |

Berdasarkan Tabel 3 hasil pengujian mutu aspal modifikasi polimer diperoleh hasil bahwa aspal modifikasi polimer dapat digunakan sebagai bahan campuran beraspal hangat, sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010. Suhu pencampuran

Hasil Pengujian Komposisi Kimia Zeolit Alam

Komposisi kimia zeolit dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Komposisi Kimia Zeolit Alam Bayat

| Unsur Kimia | Lokasi | |
|--------------------------------|---------------------|---------|
| | Zeolit pada umumnya | Bayat |
| SiO ₂ | 61,5 – 73,09 | 63,9676 |
| Al ₂ O ₃ | 9,28 – 13,22 | 12,4938 |
| CaO | 0,96 – 2,96 | 1,2754 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,55 – 4,11 | 2,0549 |
| K ₂ O | 0,24 – 6,17 | 0,6320 |
| P ₂ O ₅ | 0,01 – 0,11 | ttd |
| TiO ₂ | 0,55 – 4,11 | 0,0698 |
| H ₂ O | - | 3,67 |

Catatan : ttd = tidak terdeteksi / dibawah batas deteksi alat.

Berdasarkan Tabel 5.dari pengujian komposisi kimia, terlihat bahwa zeolit yang bersumber dari Bayat mempunyai kandungan Oksida Silika / SiO₂ sebesar 63,9676 Sedangkan kandungan Alumina/Al pada zeolit Bayat sebesar12,4938. Hal ini mengindikasikan bahwa zeolit Bayat mempunyai rongga yang besar dan dapat menahan serta melepaskan air

dengan cepat tanpa merusak struktur kristalnya (Saputra, 2006). Kandungan air sebelum dilakukan aktivasi pada zeolit Bayat sebesar 3,67%.

Hasil Pengujian Aktivasi Zeolit Alam

Hasil pengolahan zeolit dengan aktivasi dapat dilihat pada Tabel 6.

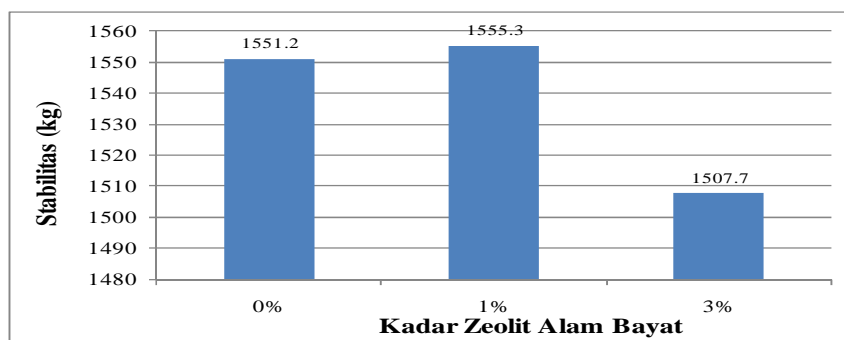
Tabel 6 Kadar Air Zeolit Berdasarkan Aktivasi Fisika dan Kimia

| No. | Jenis Pengujian | Hasil Pengujian | Satuan |
|-----|------------------------------|-----------------|--------|
| 1. | Aktifasi fisika (pemanasan) | | |
| | Lolos saringan no. 400 | 9,29 | % |
| 2. | Aktifasi kimia (larutan HCl) | | |
| | Lolos saringan no. 400 | 18,99 | % |

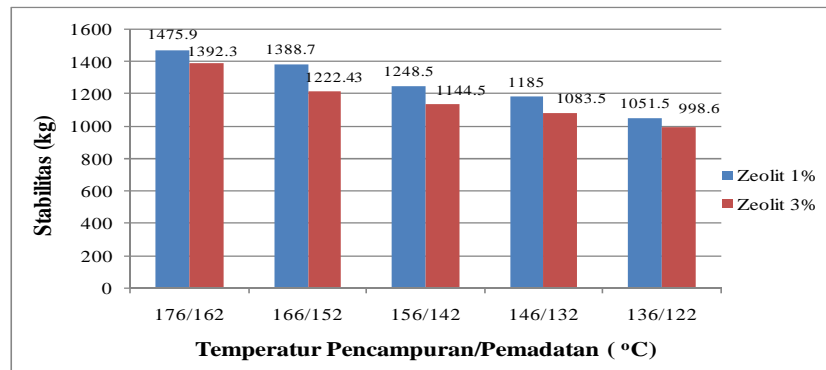
Pada Tabel 6 terlihat bahwa pengujian menggunakan aktivasi kimia memberikan nilai 18,99%, mendekati nilai kadar air pada zeolit sintetis (20%). Untuk penelitian digunakan aktivasi kimia.

Analisis Hasil Pengujian Marshall

Stabilitas merupakan parameter empiris untuk mengukur kemampuan dari campuran aspal untuk menahan deformasi yang disebabkan oleh suatu pembebanan pada suhu terendah pada proses pencampuran/pemadatan. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas diantaranya adalah gradasi agregat dan kadar aspal. Selain itu stabilitas dipengaruhi oleh *interlocking*, kohesi, adhesi dan *internal friction*. Jenis agregat dan gradasi sama maka yang berpengaruh berarti jenis aspal. Jenis aspal sangat berkaitan dengan viskositas dan viskositas berpengaruh terhadap kohesi. Nilai stabilitas berdasarkan kadar zeolit dapat dilihat pada Gambar 1 dan nilai stabilitas berdasarkan temperature pencampuran /pemadatan dapat dilihat pada Gambar 2.



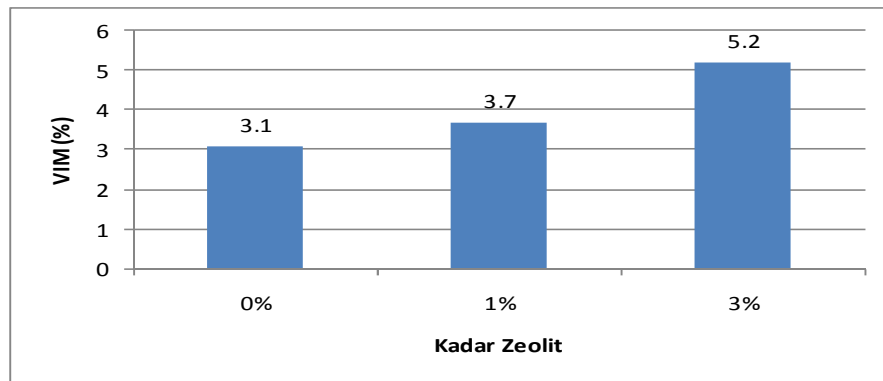
Gambar 1 Nilai Stabilitas Berdasarkan Kadar Zeolit Alam



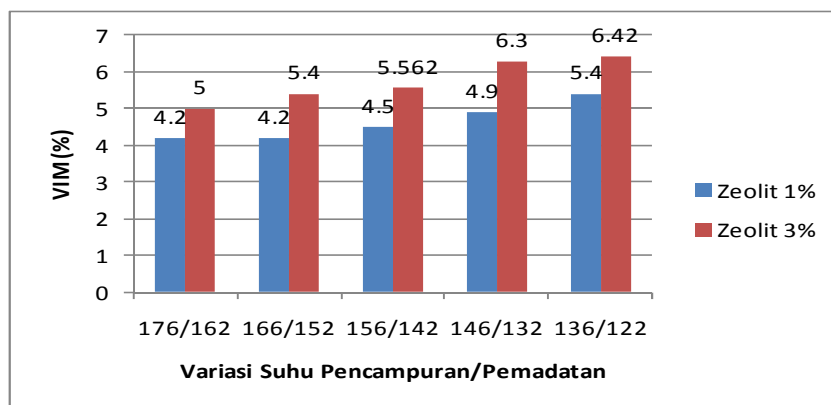
Gambar 2 Nilai Stabilitas Berdasarkan Temperatur Pencampuran/Pemadatan

Berdasarkan Gambar 1 memperlihatkan nilai stabilitas terbesar pada campuran aspal polimer terdapat pada kadar zeolit 1% dengan nilai sebesar 1555,3 kg, dimana nilai tersebut lebih besar dari nilai stabilitas campuran tanpa zeolit alam. Peningkatan stabilitas dapat terjadi diakibatkan volume pada campuran yang sama, penambahan kadar zeolit akan membuat butir-butir agregat saling mengunci akibat adanya gesekan antar butir dan adanya penambahan volume penyelimutan aspal yang diberikan oleh fungsi zeolit pada saat pemanasan proses pencampuran. Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa nilai stabilitas berdasarkan variasi suhu pencampuran dan pemadatan sampai dengan suhu pencampuran/pemadatan 146 °C dan 132 °C saja yang masih memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010.

Nilai *Voids in The Mix (VIM)* yang umumnya dikaitkan dengan durabilitas atau keawetan campuran, menunjukkan persentase rongga udara antar butir agregat terbungkus aspal. Nilai suatu persentase dari VIM sangat diperlukan campuran untuk memberikan cukup ruang untuk pemadatan akibat beban lalu lintas dan juga pengaruh peningkatan temperatur. Gambar 3 dan Gambar 4 Nilai VIM tertinggi yang memenuhi spesifikasi Bina Marga adalah campuran dengan kadar zeolit 1% dengan suhu pencampuran dan pemadatan 146 °C dan 132 °C. Peningkatan VIM juga terjadi dikarenakan adanya pelepasan air dari zeolit pada saat pencampuran. Zeolit yang ditambahkan ke campuran bersamaan dengan aspal yang telah dipanaskan sampai pada suhu tertentu. Aspal dan agregat pada suhu tinggi akan menyebabkan zeolit seketika melepaskan kandungan air. Air yang terlepas menyebabkan volume aspal bertambah dengan adanya busa aspal. Busa aspal tersebut menandakan viskositas aspal menurun dengan cepat dan volume aspal berkembang mencapai 30% kali lebih besar. Sehingga untuk campuran beraspal hangat pada penelitian ini menggunakan campuran menggunakan kadar zeolit alam 1% dengan suhu pencampuran /pemadatan sebesar 146 °C/132 °C.



Gambar 3 Nilai VIM Berdasarkan Kadar Zeolit Alam Bayat

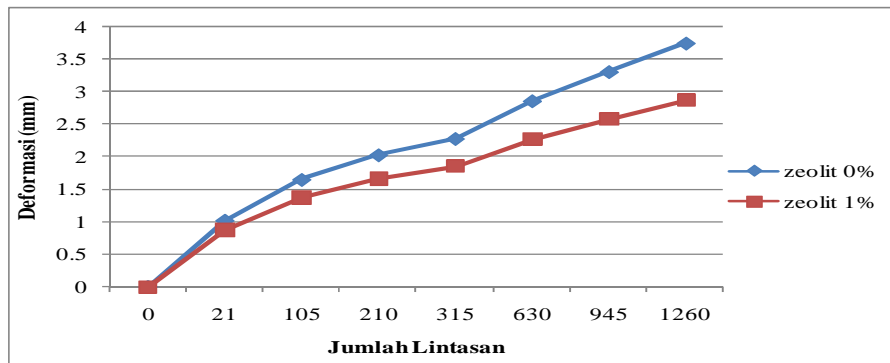


Gambar 4 Nilai VIM Berdasarkan Variasi Temperatur Pencampuran/Pemadatan

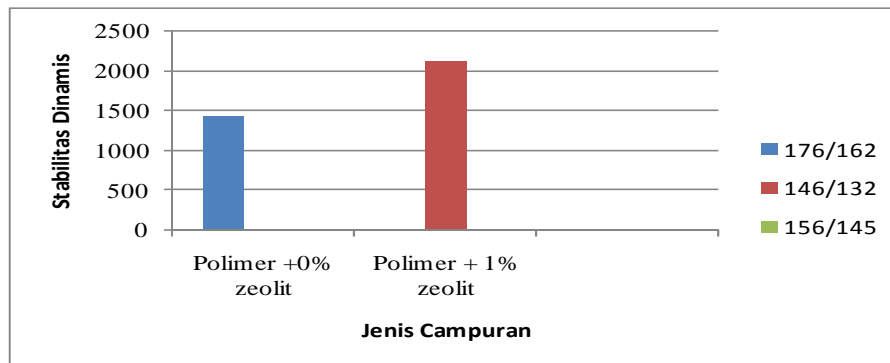
Analisis Hasil Pengujian *Wheel Tracking*

Pengujian deformasi dengan *Wheel Tracking* ditujukan untuk menstimulasi deformasi yang terjadi akibat lintasan kendaraan. Berdasarkan Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 dapat dilihat hasil perbandingan kecepatan deformasi terhadap dua jenis campuran yaitu campuran tanpa zeolit yang diproses pada suhu pencampuran/pemadatan sebesar 176°C/162°C, campuran aspal polimer dengan kadar zeolit alam 1% yang diproses pada suhu pencampuran/pemadatan 146°C/132°C

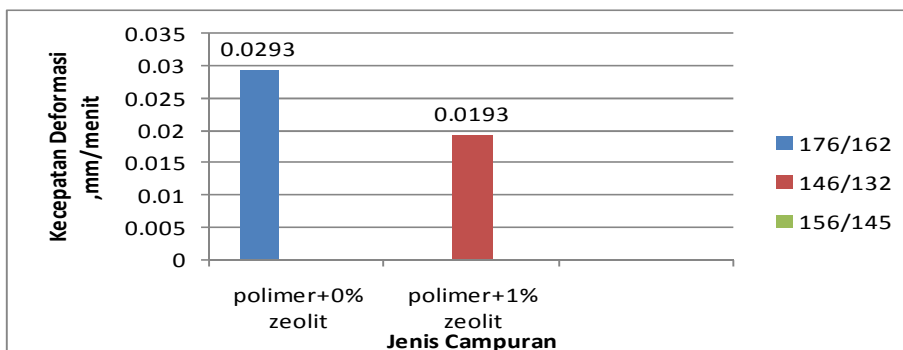
Hasil pengujian *Wheel Tracking* terhadap dua campuran menunjukkan bahwa campuran yang mengandung zeolit alam mengalami stabilitas dinamis 2127,4 lintasan/mm lebih besar dengan nilai kecepatan deformasi paling kecil sebesar 0,0193 mm/menit. Hal ini disebabkan karena kandungan zeolit alam didalam campuran dapat meningkatkan stabilitas Marshall yang pada akhirnya juga akan menyebabkan sedikit terjadinya deformasi. Sedangkan campuran tanpa zeolit alam mengalami hal sebaliknya, campuran memiliki stabilitas dinamis 1431,8 lintasan/mm dengan nilai kecepatan deformasi sebesar 0,0293 mm/menit.



Gambar 3 Grafik Ketahanan Deformasi Hasil Pengujian menggunakan WTM



Gambar 4 Perbandingan Nilai Stabilitas Dinamis Masing-Masing Campuran



Gambar 5 Perbandingan Kecepatan Deformasi Masing-Masing Campuran

4. Kesimpulan

- Zeolit alam Bayat mempunyai potensi sebagai bahan aditif pada campuran beraspal hangat, dapat menurunkan suhu pencampuran dan pematangan sebesar 30°C lebih rendah dari campuran beraspal panas.
- Campuran aspal polimer dengan zeolit 1% untuk suhu 60 °C memiliki stabilitas dinamis 2127,4 lintasan/mm dengan nilai kecepatan deformasi paling kecil sebesar 0,0193 mm/menit. Hal ini dipengaruhi oleh kadar aspal yang sedikit sehingga mampu menahan repetisi beban. Sedangkan campuran tanpa zeolit alam memiliki stabilitas dinamis 1431,8 lintasan/mm dengan nilai kecepatan deformasi sebesar 0,0293 mm/menit

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO T321. 2004, *Determining the Fatigue Life of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending Standard Specification for Transportation Material and Methods of Sampling and Test*, AASHTO Standards, Washington, D.C

AASHTO T283-03. 2004, *Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage Standard Specifications for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing*, AASHTO Standards, Washington, D.C.

ASTM D 1075-94. 2003, *Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures*, Tech. Rep. ASTM D 6927, American Society for Testing and Material.

ASTM D 7064-04. 2003, *Standar Practice for Open-Graded Friction Course (OGFC) Mix Design*, American Society for Testing and Material.

ASTM D 4123-82. 2003, *Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilien Modulus of Bituminous Mixtures*, American Society for Testing and Material.

Balitbang (Badan Penelitian dan Pengembangan) Departemen Pekerjaan Umum (PU), 2010, *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*, Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Bandung.

Gandhi, T., and Amirkhainan, S. 2007, Laboratory Investigation of Warm Asphalt Binder Properties – A Preliminary Investigation, *MAIREPAV 5 Proceedings*, Vol. 5, pp 475-480, Park City, Utah.

Hurley, G. C. and Prowell, B. D. 2009, *Evaluation of Aspha-Min Zeolite for Use in Warm-mix Asphalt*, NCAT Report 05-04, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Auburn, Alabama.

Hurley, G. and Prowell, B.D. 2006, Evaluation of Potential Processes for Use in Warm Mix Asphalt, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. Proceedings of the Technical Sessions*, 2006 Annual Meeting. Vol.75, pp. 41-90.

Distamben Jawa Barat, 2002, *Sebaran Zeolit Di Jawa Barat*, Data Statistik.