

PENGARUH METODE AKTIVASI ZEOLIT ALAM SEBAGAI BAHAN PENURUN TEMPERATUR CAMPURAN BERASPAL HANGAT (THE ACTIVATION METHOD INFLUENCE OF NATURAL ZEOLIT ON DECREASING TEMPERATURE OF WARM-MIX ASPHALT)

Furqon Affandi¹⁾, Hendri Hadisi²⁾

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

Jl. AH. Nasution No. 264 Bandung 40294

E-mail: furqon_a@yahoo.com¹⁾, hhadisi@yahoo.com²⁾

Diterima : 17 Januari 2011; Disetujui : 06 April 2011

ABSTRAK

Masalah lingkungan hidup tengah mendapat perhatian dunia, yang salah satunya ditunjukkan oleh protokol Kyoto dalam mengurangi emisi gas buang. Pada produksi campuran beraspal panas, upaya pengurangan emisi gas buang bisa dilakukan dengan menurunkan temperatur pencampuran di AMP, sehingga bisa dihasilkan campuran yang disebut campuran beraspal hangat. Dalam upaya tersebut, telah dilakukan penelitian guna mendapatkan bahan penurun temperatur campuran beraspal yang berasal dari bahan zeolit alam yang banyak terdapat di Indonesia, tanpa menurunkan sifat-sifat teknis campuran beraspalnya. Metode penelitian berupa metode *experimental* di laboratorium, dengan tiga jenis teknik aktivasi yaitu aktivasi secara fisika, aktivasi secara kimia dan aktivasi secara kimia-fisika. Dari hasil percobaan didapat bahwa metode aktivasi kimia tanpa pemanasan, telah menghasilkan cara yang paling baik, yang ditunjukkan dengan penyerapan kadar air pada zeolit bias mencapai 13,77%, yaitu dua kali lebih besar dari penyerapan air maksimum yang dilakukan oleh metode aktivasi lainnya. Dengan metode aktivasi secara kimia ini, bisa didapat bahan zeolit yang mempunyai kemampuan efektif dan efisien dalam menurunkan temperatur campuran guna mendapatkan campuran beraspal hangat.

Kata Kunci : Campuran beraspal panas, campuran beraspal hangat, aktivasi, zeolit alam, kadar air, penurunan temperatur pencampuran

ABSTRACT

Environmental problem is becoming world attention, as shown by Kyoto protocol in reducing emission. In producing hot mix asphalt, the effort of emission reduction can be conducted by lowering mix temperature at AMP, which called warm mix asphalt. Research has been conducted to find out material for lowering mix temperature using natural zeolite that much available in Indonesia, without lowering asphalt mixture properties. Laboratory experiment is adopted in the research with three kinds of activation techniques i.e. physical, chemical and physical-chemical activation. Result indicated that chemical activation method without heating showed the best result, which indicated by absorption of water content in zeolite can reach 13,77% two times greater than maximum water content absorption by other methods. By chemical activation method, it can be proved that zeolite is effective and efficient in lowering mix temperature to obtain warm mix asphalt.

Keywords : Hot mix asphalt, warm mix asphalt, activation, natural zeolite, water content, reducing mix temperature

PENDAHULUAN

Tingkat kesadaran akan lingkungan hidup di dunia semakin meningkat, hal ini terlihat pada protokol Kyoto yang menekankan untuk pengurangan emisi CO₂ dunia. Dalam pelaksanaan perkerasan (*pavement*) jalan khususnya pembuatan campuran beraspal panas (*Hot Mix Asphalt*), upaya pengurangan emisi gas buang adalah dengan mengurangi temperatur pada saat produksi campuran beraspal yang memerlukan panas tertentu dalam produksi dan pelaksanaan dilapangan, untuk mendapatkan hasil yang baik.

Pemanasan ini mempunyai dampak yang cukup besar terhadap lingkungan dan penggunaan bahan bakar. Panas yang digunakan dalam produksi campuran beraspal panas (*HMA*) adalah salah satu target utama untuk mengurangi energi dan dampak lingkungan. Temperatur rendah pada campuran menunjukkan penghematan energi yang cukup besar dan terkait mitigasi emisi. Hal ini mencakup pada campuran beraspal dingin (*Cold Mix Asphalt*), setengah campuran beraspal hangat (*Half Warm Mix Asphalt*) dan campuran beraspal hangat (*WMA*). Semua proses ini menjanjikan dalam menurunkan pemakaian energi, emisi dan penggunaan sumber daya alam, meskipun informasi lebih lanjut dibutuhkan untuk menarik kesimpulan pasti tentang penggunaan teknologi ini dari perspektif kinerja perkerasan (Timothy dan Bahia 2009).

Banyak jenis bahan yang telah dipatenkan dan digunakan sebagai penurun temperatur, seperti Aspha-Min[®], WAM-Foam[®], Sasobit[®], Evotherm[®], Advera[®], dan Asphaltan B[®]. Advera[®] adalah sejenis Sodium Alumina Silikat yang merupakan zeolit sintetis. Air dapat terperangkap dalam struktur zeolit ini sebesar 18-21% dari berat zeolit (FHWA 2011). Air yang terperangkap tersebut dapat menguap pada proses pencampuran aspal di *Asphalt Mixing Plan (AMP)*, dan uap air tersebut akan membentuk *foam* dengan aspal, sehingga nilai viskositas aspal dapat tercapai pada temperatur lebih rendah dari temperatur campuran beraspal panas.

Zeolit merupakan salah satu bahan kekayaan alam yang sangat bermanfaat bagi industri kimia di Indonesia. Zeolit ada dua macam yaitu zeolit alam dan sintetis. Zeolit alam sudah banyak dimanfaatkan, umumnya zeolit alam digunakan untuk pupuk, penjernihan air, dan diaktifkan untuk dimanfaatkan sebagai katalis dan adsorbent (Eli, Yasnur dan Istiadi 2006).

Indonesia mempunyai sumberdaya alam zeolit cukup banyak dan tersebar hampir di setiap daerah, terutama di Pulau Jawa (Sri, Suryadi dan Irawan 2009). Potensi sumber daya alam yang memiliki prospek untuk dapat dikelola dan dikembangkan di dalam mendukung sektor industri dan perkebunan yang bahan baku berasal dari sumber daya alam di daerah adalah zeolite, bentonit, kaolin, batu gamping, dolomite, batu fosfat, *feldspaf*, pasir kuarsa dan batu dimensi (Sugih 2008).

Tujuan penelitian ini adalah, untuk mengoptimalisasi kadar air pada zeolit alam sehingga didapatkan nilai bahan dan proses yang efisien.

KAJIAN PUSTAKA

Teknologi campuran aspal hangat (*WMA*) memungkinkan pencampuran, peghamparan, dan pemadatan campuran beraspal pada temperatur jauh lebih rendah dibandingkan dengan campuran aspal panas (*HMA*). Campuran *WMA* dapat diproduksi pada suhu 120°C atau lebih rendah (Prithvi 2010).

Produksi campuran aspal hangat (*WMA*) dapat mengurangi emisi berbahaya:

- Pengurangan CO₂ sebesar 30-40%;
- Pengurangan SO₂ sebesar 35%;
- Pengurangan *Volatile Organic Component (VOC)*

Pengurangan emisi sebesar 50% dapat mempengaruhi;

- Pengurangan CO sebesar 10-30%;
- Pengurangan NO_x sebesar 60-70%;
- Pengurangan debu sebesar 20-25%.

Mengurangi konsumsi bahan bakar adalah keuntungan lain *WMA*. Pengurangan

bahan bakar ini bisa menimbulkan penghematan sebesar 40%, jika dibandingkan dengan *HMA*. Pengurangan biaya bahan bakar secara langsung tergantung pada suhu produksi *WMA*. Besarnya keuntungan ini tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan dalam proses produksi dan harga bahan bakar (Audrius, dkk 2009).

Rekomendasi jumlah optimum beberapa jenis aditif yang memungkinkan untuk mengurangi temperatur pada proses produksi aspal dan pemadatan adalah: Iterlow T dan Cecabase RT Bio - 0,3% massa aspal; Aspha-min zeolit dan zeolit alam - 0,3% dari berat campuran aspal. Dengan penggunaan jumlah aditif tersebut, maka stabilitas terbaik pada campuran beraspal yang dihasilkan pada 120°C dapat diidentifikasi. Berdasarkan penelitian laboratorium, dapat dikatakan bahwa *WMA* yang dihasilkan pada temperatur 120°C dengan aditif Iterlow T. Cecabase RT Bio. Aspha-min zeolit dan zeolit alam memiliki kestabilan yang lebih rendah pada uji Marshall dan rongga udara (*void*) yang lebih tinggi dari rongga udara *HMA* dari jenis yang sama (Audrius, dkk 2009).

Proses dan produk baru bahan aditif sudah tersedia yang memiliki kemampuan untuk mengurangi temperatur dalam campuran beraspal panas pada saat dicampur dan dipadatkan tanpa mengurangi kinerja perkerasan, produk baru tersebut dapat menurunkan temperatur produksi sampai 40% (Graham dan Prowell 2006).

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi (Gustam 2009). Zeolit alam Banten (Bayah), Tasikmalaya, dan Lampung mengandung unsur kimia Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, dan S. Dari analisis luas permukaan diperoleh bahwa zeolit dari Lampung mempunyai luas permukaan 10,0477 m², jari-jari pori 16,0653 Å, dan absorpsi 24,500 ml/g sedangkan zeolit dari Tasikmalaya luas permukaannya sebesar 6,3319 m², jari-jari pori 16,2350 Å, dan absorpsi 13,2500 ml/g, dan zeolit dari Banten (Bayah) sebesar luas permukaan 8,3528 m², jari-jari pori 16,2350 Å, dan absorpsi 13,250 ml/g. Dari karakterisasi

sifat termal diketahui bahwa ketiga zeolit tersebut mengalami pengurangan berat sebesar 5,93% hingga 8,33% yang menyebabkan terjadinya perubahan fase baru yang ditunjukkan oleh reaksi endotermik pada temperatur 150°C hingga 600°C dan 850°C hingga 1000°C (Aslina, dkk 2007).

Zeolit mempunyai kapasitas yang tinggi sebagai penyerap. Hal ini disebabkan karena zeolit dapat memisahkan molekul-molekul berdasarkan ukuran dan konfigurasi dari molekul. Mekanisme absorpsi yang mungkin terjadi adalah absorpsi fisika (melibatkan gaya Van der Waals), absorpsi kimia (melibatkan gaya elektrostatis), ikatan hidrogen dan pembentukan kompleks koordinasi (Andreas dan Masduqi 2004).

Untuk memaksimalkan ukuran pori-pori zeolit maka zeolit perlu diaktivasi. Aktivasi zeolit melalui cara fisika dilakukan dengan pemanasan (kalsinasi) (Sri, Suryadi dan Irawan 2009). Pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga jumlah pori dan luas permukaan spesifiknya bertambah (Agus, dkk 2010).

Kadar air yang terkandung dalam zeolite setelah proses pengkondisian merupakan kadar air yang digunakan untuk digunakan pada proses di campuran beraspal hangat. Pada suhu tinggi antara 100°C dan 200°C, zeolit melepaskan sejumlah kecil air, menciptakan efek berbuisa terkontrol yang mengarah pada sedikit peningkatan dalam volume pengikat dan mengurangi viskositas binder (Brent and Forfylow 2009). Proses pembuisan dilakukan dengan menambahkan sejumlah kecil air untuk binder. Air kemudian berubah menjadi uap dan mengembang. Hal ini menghasilkan pengurangan viskositas sebagai akibat dari ekspansi pengikat aspal cair (Jason, Hand and Rausch 2009).

HIPOTESIS

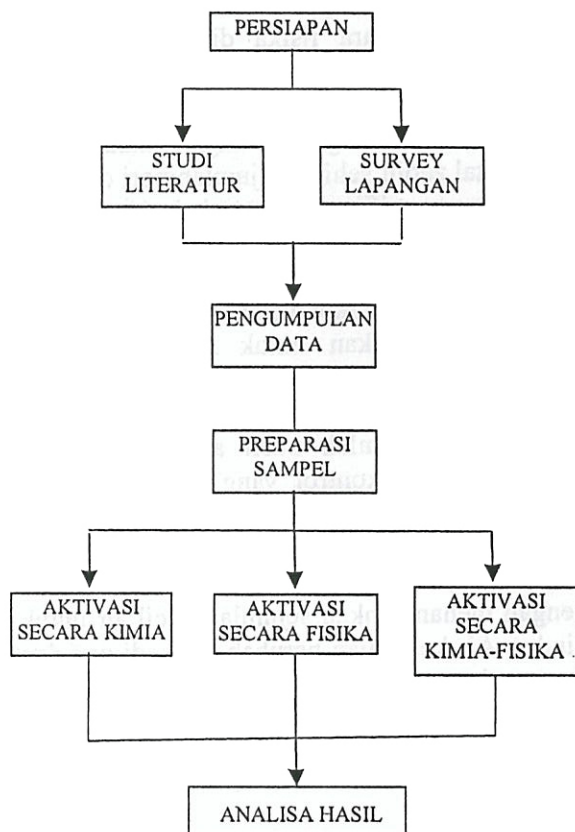
Proses aktivasi zeolit alam cara kimia akan menghasilkan penyerapan kadar air yang optimal.

METODOLOGI

Metode penelitian berupa metoda eksperimental yang dilakukan di laboratorium, melalui beberapa cara aktivasi dengan berbagai bahan serta pengamatan visual. Disamping itu juga dilakukan pengumpulan data lapangan dan data sekunder, lihat Gambar 1.

Proses di laboratorium dimulai dengan melakukan proses preparasi sampel. Preparasi terdiri antara tahap peremukan, sampai penghalusan. Sintesis partikel berukuran nano secara langsung dilakukan dengan memperkecil material yang besar dengan cara penggerusan (Agus, dkk 2010).

Proses aktivasi zeolit alam dilakukan melalui ke dalam tiga cara, yaitu aktivasi secara fisika, kimia dan aktivasi secara kimia-fisika.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Pengujian

Proses aktivasi secara fisika dilakukan dengan cara pemanasan baik secara kontak langsung maupun tak langsung dengan tujuan

menguapkan air kristal yang terperangkap di dalam pori-pori zeolit sehingga luas permukaan internal pori meningkat (Iis 2000).

Proses aktivasi secara fisika dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 300-400°C selama 6 jam. Setelah diproses kalsinasi kemudian zeolit dikondisikan untuk penyerapan uap air dari udara selama 24 jam. Setelah di kondisikan zeolit di uji kadar air.

Aktivasi secara kimia bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan. Prinsip aktivasi secara kimiawi ini adalah penambahan pereaksi tertentu sehingga didapatkan pori-pori zeolit yang bersih (aktif). Pada proses ini aktivasi dengan cara kimia ini dicoba beberapa bahan kimia, seperti HCl, natrium sulfat, natrium hidroksida, dimana dalam proses ini setiap aktivasi bahan kimia dilakukan juga pemanasan pada temperature 105°C.

Setelah proses aktivasi selesai dilanjutkan dengan proses pencucian zeolit dengan menggunakan *aqua DM (aqua demineral)*, dan dilakukan uji identifikasi ion pelarut (contoh: ion Cl⁻). Proses pembilasan ini cukup lama dikarenakan zeolit harus benar-benar bebas dari ion klorida, karena jika ion klorida masih terdapat pada zeolit dalam proses pencampuran dengan aspal akan terjadi proses oksidasi-reduksi yang mengakibatkan aspal tersebut akan berubah karakteristiknya dan mengakibatkan proses *aging* aspal menjadi cepat.

Proses dilanjutkan dengan pengkondisian zeolit, untuk proses pengkondisian dengan pemanasan setelah proses pencucian, zeolit di oven pada temperatur 105°C selama 24 jam kemudian disimpan pada temperatur 25°C selama 24 jam dan dilakukan kembali pemanasan dengan oven untuk mengetahui berat asli zeolit., dan penyaringan dengan saringan no. 200 (0,075 mm). Setelah disaring zeolit diuji kadar air dengan cara penimbangan setiap interval waktu 60 menit dalam temperatur 25°C, kemudian zeolit dioven pada temperatur 105°C selama 24 jam untuk mengetahui berat asli zeolit tanpa airnya.

Proses aktivasi secara kimia-fisika dengan menggabungkan cara kimia dengan fisika, zeolit setelah proses aktivasi kemudian dikalsinasi. Setelah diproses kalsinasi kemudian zeolit dikondisikan untuk penyerapan uap air dari udara selama 24 jam. Setelah di kondisikan zeolit di uji kadar air.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil aktivasi baik secara fisika, kimia maupun kimia-fisika disajikan dalam Tabel 1. Dimana, terlihat bahwa baik kadar air tertinggi maupun terendah diperoleh pada perlakuan dengan metode kimiawi.

Metode aktivasi secara fisika, pada proses kalsinasi memberikan nilai rata-rata sebesar 6,04%, proses ini hanya menguapkan seluruh kandungan molekul air dalam pori-pori zeolit dan sebagian kecil senyawa pengotor yang mudah menguap, sehingga pengkondisian

penyerapan kadar air kembali ke dalam pori-pori zeolit hampir sama dengan awal zeolit sebelum dikalsinasi dikarenakan ukuran volume pori-pori zeolit hampir tidak berubah. Penyerapan kembali molekul air di udara dikarenakan, zeolit merupakan zat pengabsorpsi (Yayat, Birawidha, dan Sumardi 2011). Nilai terendah sebesar 0,69% melalui pencucian dengan HCl dan di panaskan pada temperatur 105°C, hasil ini memberikan nilai signifikan terendah dari metode aktivasi secara kimia dan keseluruhan metode aktivasi, dikarenakan adanya pembentukan Brønsted dan situs asam Lewis pada pemanasan kurang dari 299,85°C (Pieta, Ishaq, Wells dan Anderson 2010), sehingga senyawa-senyawa sebagai pengotor dalam zeolit yang tidak terlarutkan oleh HCl, akan saling mengikat oleh ion Cl⁻ dan memperkecil ukuran pori-pori zeolit, sehingga molekul air yang terdapat di udara tidak dapat masuk ke dalam pori-pori zeolit.

Tabel 1. Kadar Air Optimum dengan Berbagai Metode Aktivasi

Metode Aktivasi	Kadar Air Optimum (%)			Kadar Air Optimum Rata-rata (%)	
	Contoh ke-1	Contoh ke-2	Contoh ke-3		
Secara Fisika	Kalsinasi	5,81	6,18	6,14	6,04
Secara Kimia	Pencucian dengan HCl dan Pemanasan pada Temperatur 105°C	0,67	0,71	0,69	0,69
	Pencucian dengan Natrium Sulfat dan Pemanasan pada Temperatur 105°C	3,37	3,35	3,42	3,38
	Pencucian dengan NaOH dan Pemanasan pada Temperatur 105°C	4,37	5,05	5,09	5,03
	Hcl	13,77	13,75	13,79	13,77
Secara Kimia - Fisika	Dua kali pencucian dengan HCl dan Kalsinasi	5,78	5,72	5,83	5,78
	Dua kali pencucian dengan HCl dan dua kali Kalsinasi	6,57	6,62	6,51	6,57
	Pencucian dengan NaOH dan Kalsinasi	5,28	5,26	5,19	5,24
	Dua kali pencucian dengan NaOH dan dua kali Kalsinasi	3,30	3,39	3,35	3,35
	Pencucian dengan HCl dan NaOH dan Kalsinasi	3,60	3,75	3,64	3,66
	Dua kali pencucian dengan HCl, dua kali pencucian dengan aqua DM dan dua kali kalsinasi	7,34	7,36	7,44	7,38

Nilai rata-rata yang ditunjukkan secara pencucian dengan natrium sulfat dan pemanasan pada temperatur 105°C sebesar 3,38%, hal ini dikarenakan tidak maksimal proses pencucian senyawa pengotor dikarenakan natrium sulfat merupakan suatu garam. Cara pencucian dengan HCl, NaOH dan pemanasan pada temperatur 105°C memberikan nilai rata-rata kadar air sebesar 4,39%. Proses ini juga tidak maksimal proses pencuciannya karena HCl dan NaOH yang tertinggal di zeolit membentuk suatu garam dan menutupi pori-pori zeolit. Sedangkan cara pencucian dengan NaOH dan pemanasan pada temperatur 105°C memberikan nilai rata-rata kadar air sebesar 5,03%, ini disebabkan masih adanya ion Na^+ yang tertinggal dan berikatan dengan sisa senyawa pengotor lain dalam pori-pori zeolit dan menghalangi pori-pori zeolit.

Kadar air optimum menggunakan metode aktivasi secara kimia didapat rata-rata nilai tertinggi sebesar 13,77% melalui pencucian dengan HCl, tanpa pemanasan pada temperatur 105°C dalam masa dipengondisian. Penggunaan cara pengondisian dengan didiamkan dalam temperatur 25°C dilakukan, karena pada temperatur tersebut laju penguapan air lambat (Lee, K.L., et.al 2008).

Metode aktivasi kimia-fisika menghasilkan nilai rata-rata kadar air terendah sebesar 3,35% yang didapatkan secara pencucian dengan NaOH dan kalsinasi, hal ini disebabkan karena masih adanya senyawa pengotor dan NaOH yang masih tertinggal di permukaan/dalam pori-pori zeolit. Hal ini menyebabkan sebagian pori tertutup sehingga mempengaruhi kinerja zeolit (Melia, Dewi dan Geronica 2004).

Sedangkan nilai rata-rata kadar air yang paling tinggi didapat secara dua kali pencucian dengan HCl, dua kali pencucian dengan *Aqua DM* dan dua kali kalsinasi sebesar 7,38%, karena senyawa pengotor tidak terlarutkan sempurna dan NaOH hampir larut dalam pembilasan oleh *aqua DM* dan menguap pada proses kalsinasi. Sedangkan nilai sebesar 6,57% dengan dua kali pencucian dengan HCl dan dua kali kalsinasi, dan rata-rata nilai sebesar 5,78% melalui dua kali pencucian

dengan HCl dan kalsinasi. Hal tersebut dikarenakan ion Cl^- yang masih tertinggal pada zeolit menghalangi sebagian dari pori-pori zeolit, sehingga pada saat pengondisian penyerapan kembali molekul air dari udara terhalang dan air tidak dapat menempati ruang pada pori-pori zeolit secara maksimal.

Nilai rata-rata kadar air secara pencucian dengan NaOH dan kalsinasi sebesar 5,24% memberikan hasil kurang maksimal, hal ini dikarenakan ukuran pori-pori menjadi kecil oleh senyawa pengotor yang membentuk ikatan dengan NaOH dan menghalangi molekul air yang akan masuk ke dalam pori-pori zeolit. Sedangkan pencucian dengan HCl, NaOH dan kalsinasi memberikan nilai rata-rata sebesar 3,66% hal ini dikarenakan sisa HCl dan NaOH yang masih tertinggal membentuk senyawa garam dan menghalangi sebagian pori-pori, sehingga molekul air yang akan masuk ke dalam pori-pori terhalang.

Hasil ini merupakan hasil tertinggi yang signifikan, baik dibandingkan dalam metode aktivasi secara kimia maupun keseluruhan metode aktivasi, hal ini dikarenakan seluruh senyawa pengotor yang larut dalam HCl terbuang habis melalui pencucian dengan *aqua DM*, begitu juga dengan HCl pelarutnya, sehingga ukuran pori-pori menjadi lebih besar dari ukuran sebelum aktivasi, dan langsung diisi dengan air yang didapat pada proses pencucian tanpa pemanasan. Pada proses pencucian, sisa dari pembilasan mempunyai laju penguapan yang lambat sehingga dapat dikontrol, sampai kadar air pada zeolit mencapai titik optimum.

Kandungan air yang terperangkap dalam rongga zeolit biasanya berkisar 10-50 % (Herry 2000).

PEMBAHASAN

Pada metode aktivasi secara kimia hasil yang didapat mempunyai kadar air dengan nilai yang signifikan dari nilai minimum sebesar 0,69% sampai nilai optimum sebesar 13,77%. Zeolit dengan metode aktivasi secara fisika menghasilkan kadar air dengan nilai rata-rata 6,04%. Sedangkan zeolit dengan metode

aktivasi kimia fisika menghasilkan kadar air dengan nilai yang signifikan dari nilai minimum sebesar 3,35% dan maksimum sebesar 7,38%.

Hasil kadar air optimum zeolit alam yang sangat signifikan ditunjukkan oleh metode aktivasi secara kimia, hasil tersebut merupakan pengembangan dari metode aktivasi kimia secara prinsip dasar/standar. Pengembangan tersebut dilakukan dengan cara pencucian dengan air dan tidak dilakukan pemanasan setelah pencucian, sehingga kadar air setelah pencucian dapat mencapai nilai optimum, dimana rongga pori-pori zeolit hanya mengandung unsur air (H₂O) tanpa pengotor lainnya. Kandungan air dalam zeolit tersebut merupakan media untuk menambah nilai viskositas aspal pada temperatur 120°C sehingga nilai viskositas aspal dapat tercapai sesuai dengan standar.

KESIMPULAN

Metode aktivasi zeolit alam untuk bahan penurun temperatur campuran beraspal hangat lebih baik menggunakan metode aktivasi secara kimia dan tanpa dipanaskan pada proses pengkondisian, yang ditunjukkan dengan penyerapan kadar air yang paling tinggi.

SARAN

Perlu dilakukan penyempurnaan teknik pencucian pada masing cara sehingga larutan pencuci dan pengotor yang masih tertinggal dalam pori-pori dapat hilang seluruhnya dari zeolit.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, W. dkk. 2010. Sintesis Nanopartikel Zeolit Secara Top Down Menggunakan Planetary, Ball Mill Dan Ultra Sonikator. *M & E* 8, No. 10: 32-36. <http://jurnal.pdii.lipi.go.id/admin/jurnal/> (diakses 24 Mei 2010).
- Andreas, D.P. dan Masduqi A. 2004. Penurunan Kadar Besi Oleh Media Zeolit Alam Ponorogo Secara Kontinyu. *Jurnal Purifikasi* 5, No.4. www.its.ac.id/personal/files/pub2091-ali-masduqi-zeolit-ponorogo. (diakses 19 Mei 2010).
- Aslina, B.G. dkk.2007. Karakterisasi Komposisi Kimia, Luas Permukaan Pori Dan Sifat Termal Dari Zeolit Bayah, Tasikmalaya dan Lampung. *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir* 3, No.1:1-48. http://www.batan.go.id/ptbn/php/pdf/publikasi/jurnal_digital. (diakses 10 Agustus 2010).
- Audrius, V.dkk. 2009. Analysis and Evaluation Of Possibilities For The Use Of Warm Mix Asphalt in Lithuania. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 4, No. 2:80-86. <http://info.vgtu/upload/leidkonf/vaitkus/> (diakses 5 Juli 2010).
- Brent, M. and R.W. Forfyflow 2006. Evaluation Of Warm-Mix Asphalt Produced With The Double Barrel Green Process Asphalt Pavement Material. *Journal of the Transportation Research Board* No 2126. <http://trb.metapress.com/content/g873708r388g5001/fulltext.pdf>. (accessed July 4, 2010).
- Eli, M.U. Yasnur F.A. dan Istiadi. Optimasi Pembuatan Katalis Zeolit X Dari Tawas, Naoh Dan Water Glass Dengan Response Surface Methodology. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis* 1 No.3. <http://www.scibd.com/doc/9209819/zeolit> (diakses 10 Agustus 2010).
- Federal Highway Administration. 2011. *Warm Mix Asphalt Technologist and Research*. Virginia: FHWA. <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/wma.cfm> (accessed May 18, 2010).
- Graham, C.H. and B.D. Prowell. 2006. Evaluation Of Potential Process For Use In Warm Asphalt Mixes. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologist* 75: 41-85.

- <http://www.warmixasphalt.com/submissions/> (Accessed August 19, 2010).
- Gustam, L. 2009. Kajian Peningkatan Pengusahaan Sumber Daya Alam Sector Pertambangan di Sumatera Utara. *Media Litbang Provinsi Sumatera Utara* 6, No.3:168-177. <http://jurnal.pdii.lipi.go.id/admin/jurnal/> (Diakses 24 Mei 2010).
- Herry, R.E. 2000. Potensi dan Pemanfaatan Zeolit di Provinsi Jawa Barat dan Banten. *Buletin PSDG Badan Geologi ESDM 2008*. <http://psdg.bgl.esdm.go.id/index.php?view=article&catid>. (Diakses 19 Mei 2010).
- Iis, F. 2000. Penggunaan Na-Zeolit Alam Teraktivasi Sebagai Penukar Ion Cr³ Dalam Larutan. *Logika* 4, No. 5. <http://data.dppm.uui.ac.id/jurnal/uploads/>. (Diakses 4 Juli 2010).
- Jason, J, Hand A and D. Michael. 2009. Laboratory and Field Evaluations Of Foamed Warm Mix Asphalt Projects. *Journal of the Transportation Research Board* No.2126. <http://trb.metapress.com/content/g873708r388g5001/fulltext.pdf>. (Accessed July 2, 2010).
- Lee, K.L. , Nawawi M., Ghazali M., Sadikin N. Aziatul. 2008. Pervoration of Ethanol-Water Mixture Using PVA Zeolit-Clay Membranes. *Jurnal Teknologi* 49(f).<http://eprints.utm.my/8670/>. (Diakses 19 Mei 2010).
- Melia, L.G., Dewi A. Susana dan Geronica F. 2004. Uji Kinerja Katalis Zeolit-Y Komersial Hasil Regenerasi Terhadap Reaksi Dehidrasi N-Butanol. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* 3, No. 1. <http://www.aptekindo.org/jtki/sites/default/files/>. (Diakses 25 Mei 2010).
- Pieta, I.S., Ishak M. Wells R.P.K. and Anderson J.A. 2010. Quantitative Determination Of Acid Sites On Silica Alumina. *Applied Catalysis A* 390. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/>. (Accessed May 25, 2010).
- Prithvi, S.K. 2010. Warm Mix Asphalt Technologies: an Overview. *Journal of the Indian Roads Congress*, 71, No. 2: 561. <http://www.scribd.com/doc/44644601/>. (Accessed August 10, 2010).
- Sugih, P. 2008. Evaluasi Memanfaatkan Sumber Daya Alam Daerah di Sumatra Barat. *Media Litbang Provinsi Sumatera Utara*, 5, No. 4: 246-254., <http://jurnal.pdii.lipi.go.id/admin/jurnal/5408246254.pdf>. (Diakses 24 Mei 2010).
- Timothy, D. M., dan Bahia, Hussain U. 2009. *Sustainable Asphalt Pavements: Technologies, Knowledge Gaps and Opportunities*. University Wisconsin Madison MARC White Paper, 1-7. <http://uwmarc.wisc.edu/files/MARC-Sustainable-Asphalt-Pavements-white-paper.pdf>. (Accessed Juni 12, 2010).
- Yayat, I. S., Birawidha D. Chandra dan Sumardi S. 2011. Lampung Zeolite Utilization As Gas Emission Adsorbent On Charcoal Making Process. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 11(2). <http://www.ijens.org/Vol%2011%201%2002/116902-7575%20IJCEE-IJENS.pdf>. (Accessed May 19, 2010).