

Aktivasi Zeolit Alam Asal Bayah dengan Asam dan Basa sebagai Aditif Campuran Beraspal Hangat (*Warm Mixed Asphalt*)

Leo Sentosa

Program Studi Doktor Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung
 Jl. Ganesha no. 10 Bandung, 40132
 E-mail: leo_sentosa0@yahoo.co.id

Bambang Sugeng Subagio

Program Studi Doktor Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung
 Jl. Ganesha no. 10 Bandung, 40132
 E-mail: bsugengs@si.itb.ac.id

Harmein Rahman

Program Studi Doktor Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung
 Jl. Ganesha no. 10 Bandung, 40132
 E-mail: rahmanharmein@gmail.com

R. Anwar Yamin

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
 Jl. Patimura No.20, RT.2/RW.1, Selong, Kby. Baru, Kota Jakarta Selatan, 12110
 E-mail: ayplg@yahoo.com

Abstrak

Warm Mix Asphalt (WMA) adalah campuran beraspal yang diproduksi pada suhu 20-40°C lebih rendah dari HMA. Zeolit merupakan salah satu bahan tambah WMA dengan memanfaatkan kemampuan zeolite membawa air dan melepaskannya pada suhu tinggi sehingga terjadi pembusaan pada aspal yang dapat meningkatkan volume aspal. Selain zeolit sintesis, zeolit alam juga dapat digunakan sebagai aditif. Sebelum digunakan, zeolit alam perlu diaktivasi untuk menghilangkan unsur pengotor, merubah rasio Si/Al, dan meningkatkan penyerapan air. Metode penelitian berupa percobaan di laboratorium dengan proses aktivasi menggunakan larutan asam HCl dan larutan basa NaOH. Variasi ukuran butiran zeolite 75 µm (#200) dan 38 µm (#400). Sebagai pembandingan digunakan zeolite sintetik merek Aspha-min. Hasil penelitian menunjukkan aktivasi zeolite alam dengan NaOH memiliki nilai rasio Si/Al yang lebih kecil dan kadar air yang lebih besar, yaitu 15.65%, (masih di bawah zeolite sintetik dengan kadar air 19.77%). Ekspansi volume aspal terjadi pada suhu 30 °C di bawah suhu HMA dengan penambahan zeolite. Peningkatan kadar zeolite meningkatkan faktor ekspansi aspal dan memperkecil waktu ekspansi. Faktor ekspansi aspal dengan penambahan zeolite alam berada di bawah zeolite sintetik, hal ini disebabkan karena kadar air yang lebih kecil dari pada zeolite sintetik

Kata-kata Kunci: WMA, zeolite, aktivasi alam, kadar air

Abstract

Warm Mix Asphalt (WMA) is an asphalt mixture that is produced at a temperature of 20-40 °C lower than HMA. Zeolite is one of the WMA additives by utilizing its ability to carry water and release at high temperatures so that asphalt foaming occurs which results in increased asphalt volume. In addition to synthetic zeolites can also use natural zeolite. Natural zeolite needs to be activated first to remove impurities, change the Si/Al ratio, and increase water absorption. The research method is laboratory experiments. Activation of natural zeolite using HCl and NaOH. Zeolite size variations are 75 µm (# 200) and 38 µm (# 400). As a comparison, synthetic zeolite (Aspha-min) is used. The results showed that activation of natural zeolite with NaOH had a smaller Si/Al ratio and greater water content, which was 15.65%, but still below synthetic zeolite with a water content of 19.77%. Asphalt volume expansion occurs at 30 °C below the HMA temperature with the addition of zeolite. Increased levels of zeolite increase the asphalt expansion factor and reduce expansion time. Factor of asphalt expansion with natural zeolite is below synthetic zeolite, because the water content is smaller than synthetic zeolite.

Keyword: WMA, natural zeolite, activation of natural zeolite, water content.

1. Pendahuluan

Saat ini, penelitian tentang bahan konstruksi berkelanjutan berfokus pada metode inovatif yang dapat secara efektif menangani isu-isu lingkungan

seperti pemanasan global. Dampak negatif pembuatan campuran aspal pada kualitas udara terutama disebabkan oleh suhu tinggi di AMP serta di lokasi pembangunan jalan selama proses penggambaran dan pemadatan campuran (Alonso, dkk, 2013).

Tingkat kesadaran akan lingkungan hidup di dunia semakin meningkat, hal ini terlihat pada protokol Kyoto Tahun 1997 yang menekankan untuk pengurangan emisi CO₂ di dunia. Dalam pelaksanaan perkerasan jalan khususnya pembuatan campuran beraspal panas (*Hot Mix Asphalt/ HMA*), upaya pengurangan gas buang adalah dengan mengurangi temperatur pada saat produksi campuran beraspal yang memerlukan panas tertentu dalam produksi dan pelaksanaan di lapangan, untuk mendapatkan hasil yang baik (Affandi, 2011 dan Alonso, dkk, 2013). Pemanasan ini mempunyai dampak cukup besar terhadap lingkungan dan penggunaan bahan bakar. Pengurangan 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. Semua proses yang menjanjikan dalam penurunan pemakaian energi dan emisi serta penggunaan sumber daya alam diperlukan informasi lebih lanjut untuk dapat menarik kesimpulan pasti tentang penggunaan teknologi tersebut dari perspektif kinerja perkerasan (Timothy dan Bahia, 2009).

1.1 Campuran Beraspal Hangat (*Warm Mix Asphalt (WMA)*)

Menurut Asphalt Institute, WMA adalah modifikasi campuran HMA yang diproduksi, ditempatkan dan dipadatkan pada suhu 10-40°C lebih rendah dari campuran aspal panas (HMA) konvensional. WMA bisa digambarkan sebagai campuran aspal diproduksi pada suhu 20-40°C yang lebih rendah dari HMA tetapi pada suhu yang lebih tinggi dari tucuk dididih air. Teknologi digunakan untuk mengurangi suhu pencampuran campuran HMA dari 20°C hingga 40°C. Di Eropa juga disebut *Warm Mix Asphalt (WMA)*. Untuk deskripsi WMA istilah "*Low Temperature Asphalt*" kadang-kadang digunakan (Vaitkus, dkk, 2009). Aplikasi Campuran beraspal hangat (*WMA*) awalnya adalah dengan proses pembusaan aspal. Metode ini pertama kali diperkenalkan di USA Tahun 1956. Pembusaan aspal terjadi sebagai akibat dari kontak dengan air atau uap air yang dapat ditempatkan secara mekanik atau di bawah tekanan. Busa aspal tersebut sesaat dapat meningkatkan volume aspal dan menurunkan viskositas (Wozzuk, dkk, 2014).

Menurut Alonso, dkk, 2013, proses yang digunakan dalam pembuatan aspal campuran hangat adalah pelapisan ganda, aspal busa, dan penggunaan beberapa aditif seperti zeolit, atau aditif organik seperti parafin atau jenis lain dari wax. Namun, semua memiliki tujuan dasar yang sama yaitu untuk mengurangi viskositas aspal agar mampu diproduksi, diangkut, dan dihamparkan serta dipadatkan pada suhu yang lebih rendah tanpa mengurangi kualitas dan *workability* campuran. Aspal campuran hangat ini akan dapat mengurangi secara signifikan emisi gas, asap, dan bau, baik di AMP maupun di lokasi pekerjaan. Campuran hangat juga memudahkan proses penggambaran dan pemadatan, bahkan dalam kondisi iklim yang tidak

menguntungkan. Wozzuk, dkk, 2014, menyatakan bahwa produksi suhu yang lebih rendah juga berarti memperlambat penuaan (*ageing*) bahan pengikat atau aspal dan *workability* campuran yang lebih baik. Manfaat lingkungan tambahan yang diperoleh adalah mengurangi emisi asap dan aerosol meningkatkan kenyamanan orang yang diperkerjakan dalam produksi dan penggambaran campuran aspal. Baiknya kondisi kerja mencerminkan ke produktivitas dan kualitas pekerjaan yang dilakukan lebih tinggi. Pada teknologi pembusaan, busa aspal terjadi sebagai akibat dari kontak aspal dengan air atau uap yang dapat ditempatkan secara mekanis atau di bawah tekanan. Busa aspal tersebut dapat meningkatkan volume dan menurunkan viskositas, yang meningkatkan kemampuan pelapisan mineral agregat dalam campuran, tetapi durasinya terbatas. Efek berbusa aspal juga dapat diperoleh dengan menambahkan mineral dari kelompok zeolit (Wozzuk, dkk, 2014). Selain zeolit sintetis, zeolit alam juga dapat digunakan sebagai aditif untuk menurunkan temperatur pencampuran dan pemadatan campuran beraspal (Alonso, dkk, 2013, Dubravsky dan Mandula, 2015, dan Handayani dkk, 2015).

1.2 Zeolit sebagai Bahan Aditif Penurun Temperatur Campuran Beraspal

Zeolit adalah kerangka silikat yang memiliki ruang-ruang kosong yang besar dalam struktur mereka yang memungkinkan adanya kation, seperti natrium (Na⁺) dan kalsium (Ca²⁺) serta molekul air (H₂O). Kebanyakan zeolit ditandai dengan kapasitas mereka untuk melepaskan atau menyerap air tanpa merusak struktur kristal mereka. Saat ini, zeolit sintetis yang berkembang dan digunakan dalam desain campuran aspal adalah Aspha-min® yang dikembangkan di Jerman (Eurovia) dan Advera® di Amerika Serikat. Keduanya dapat mengurangi suhu pencampuran, penghamparan dan pemadatan campuran beraspal tanpa mempengaruhi *workability* dan kualitas (Alonso, dkk, 2013).

Air dapat terperangkap dalam struktur zeolit ini sebesar 18–21% dari berat zeolit. Air yang terperangkap tersebut dapat penguap pada proses pencampuran aspal di *Asphalt Mixing Plant (AMP)*, dan uap air tersebut membentuk *foam* dengan aspal sehingga nilai viskositas aspal dapat tercapai pada temperatur lebih rendah dari temperatur campuran beraspal panas (Affandi dan Hadisi, 2011). Alonso, dkk, 2013, menyatakan bahwa dalam pembuatan campuran aspal, zeolit ditambahkan pada suhu yang lebih tinggi dari 100°C. Ketika terjadi kontak zeolit dengan bahan lain, air dalam strukturnya dilepaskan. Aspal kemudian membusa, yang dapat menurunkan viskositas dan juga memungkinkan melapisi agregat pada suhu yang lebih rendah dari pada di panas campuran. Proses pencampuran yang sebenarnya terjadi di 130-140 °C. Proses pelepasan kadar air yang paling baik adalah partikel zeolit melepaskan kadar air dalam beberapa tahap dari pada sekaligus. Proses pelepasan kadar air bertahap ini berlangsung dalam jangka waktu enam atau tujuh jam, selama waktu tersebut *workability* campuran optimal dan suhu tetap di atas 100°C.

1.3 Zeolit Alam sebagai Aditif pada Campuran Beraspal Hangat (WMA)

Indonesia adalah suatu negara dengan cadangan zeolit alam terbesar di dunia dan tersebar hampir di setiap daerah, terutama di Pulau Jawa dengan jumlah deposit zeolit alam sekitar 400 juta ton. Zeolit alam dapat digunakan sebagai bahan tambah karena lebih kompetitif dari segi biaya jika dibandingkan dengan zeolit sintetis yang hanya diproduksi di luar negeri (Handayani, dkk 2015).

Alonso, dkk, 2013, melakukan penelitian perbandingan penggunaan zeolit sintetis Aspha-min dengan zeolit alam asal Kuba dalam campuran beraspal hangat. Pada penelitian tersebut rentang suhu pencampuran 130-140⁰C dan rentang suhu pemadatan 120-125⁰C. Selain sebagai aditif untuk menurunkan suhu, zeolit juga difungsikan sebagai pengganti *filler*. Dari hasil penelitian tersebut dinyatakan bahwa karakteristik campuran beraspal hangat menggunakan zeolit alam sama dengan menggunakan zeolit sintetis. Nilai Marshal tes dan *Indirect tensile strength* campuran didapatkan pada kadar zeolit 0,6%.

Topal, dkk, 2014, melakukan penelitian perbandingan penggunaan zeolit sintetis dengan zeolit alam dalam campuran beraspal hangat. Zeolit sintetis yang digunakan adalah Advera (PQ Corporation) dan zeolit alam yang digunakan adalah asal Turki dalam bentuk *powder* dengan proporsi penggunaan zeolit 5% dari berat bitumen. Hasil penelitian menyebutkan bahwa pemanfaatan zeolit alam dan zeolit sintetis membantu dalam pengurangan nilai viskositas yang dapat mengurangi suhu pencampuran dan pemadatan. Penggunaan zeolit alam dapat menurunkan suhu pencampuran 11⁰C dan suhu pemadatan 9⁰C, sedangkan menggunakan zeolit sintetis dapat menurunkan suhu pencampuran 13⁰C dan suhu pemadatan 10⁰C. Hasil yang diperoleh dari desain Marshall menunjukkan bahwa kadar aspal optimum berkurang dengan menggunakan zeolit. Penurunan nilai kadar aspal optimum ini lebih terlihat pada penggunaan ini zeolit sintetis karena ada 0,44% pengurangan kadar aspal optimum dibandingkan dengan campuran HMA. Penurunan ini dapat digambarkan sebagai keuntungan dari menggunakan WMA aditif zeolit dalam hal biaya awal. Dari perbandingan nilai *Indirect tensile stiffness modulus* (ITSM) campuran HMA dan campuran WMA menunjukkan bahwa pemanfaatan zeolit umumnya meningkatkan kekakuan campuran. Campuran beraspal dengan aditif zeolit memiliki ketahanan yang lebih baik melawan penuaan dibandingkan dengan campuran HMA. Hasil tes menunjukkan bahwa peningkatan kandungan aditif zeolit tampaknya tidak memiliki pengaruh yang besar pada indeks penuaan. Yang memainkan peran penting dalam penurunan penuaan adalah suhu. WMA campuran yang mengandung zeolit sintetis dan zeolit alam mengungkap karakteristik mekanik yang hampir sama. Walaupun karakteristik campuran WMA dengan zeolit alam belum sebaik zeolit sintetis namun Zeolit alam dapat dianggap sebagai aditif alternatif untuk WMA,

karena menghasilkan karakteristik campuran beraspal yang lebih baik dari pada HMA.

Nurani, 2015, menyatakan bahwa zeolit alam dapat digunakan untuk campuran beraspal hangat (*Warm Mixed Asphalt/WMA*) dan penggunaan zeolit alam cukup 10% dari berat aspal optimum. Pada penelitian tersebut menggunakan zeolit alam asal Malang Selatan. Penelitian Handayani, 2015, menunjukkan bahwa penggunaan zeolit alam asal Bayat dapat menurunkan temperatur pencampuran dan pemadatan sebesar 30⁰C lebih rendah dari pada campuran beraspal panas. Kadar zeolit alam yang disarankan adalah 1% dari berat campuran.

Hasil penelitian Suparman, dkk, 2014, menunjukkan bahwa penggunaan zeolit alam sebagai *filler* pada Laston campuran panas dengan Asbuton semi ekstraksi BNA 75:25, memiliki ketahanan (durabilitas) dan stabilitas lebih baik dari campuran perkerasan konvensional yang menggunakan aspal Pen 60/70. Zeolit alam yang digunakan berasal dari Klaten dengan ukuran lolos saringan No. 200 (0,075 mm) dan difungsikan sebagai bahan pengganti *filler*. Berdasarkan pengujian menunjukkan bahwa zeolit alam dapat digunakan untuk pengganti debu batu sebagai *filler* dalam campuran perkerasan laston, dengan persentase zeolit alam optimal adalah 25% dari total berat *filler* pada aspal Pen 60/70 dan 50% pada Asbuton Blend 75:25.

1.4 Aktivasi Zeolit Alam

Berbeda dengan zeolit sintetis yang strukturnya dapat diprediksi dari senyawa penyusunnya, zeolit alam mempunyai struktur yang tidak selalu sama, tergantung pada kondisi pembentukannya di alam. Oleh karena itu, pada penggunaan zeolit alam sebagai adsorben dibutuhkan proses aktivasi. Proses aktivasi ini diperlukan untuk meningkatkan sifat khusus zeolite dan menghilangkan unsur pengotor. Proses aktivasi juga dapat merubah jenis kation, perbandingan Si/Al serta karakteristik zeolite agar sesuai dengan bahan yang akan diserap. (Kurniasari dkk, 2011). Untuk bahan tambah dalam campuran beraspal WMA, penggunaan zeolite bertujuan untuk memanfaatkan kemampuan penyerapan air pada suhu ruang dan pelepasannya pada suhu tinggi. Secara umum, ada dua proses aktivasi yang bisa dilakukan terhadap zeolit alam, yaitu aktivasi secara fisis dan aktivasi secara kimia. (Kurniasari dkk, 2011). Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi, tujuannya untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan. Proses aktivasi dengan panas dapat dilakukan pada suhu antara 200-400⁰C selama beberapa jam (Kurniasari dkk, 2011). Ukuran butiran zeolite juga akan mempengaruhi kemampuan penyerapan zeolite, semakin kecil ukuran butiran zeolite, maka luas permukaan lebih besar. Semakin besar luas bidang kontak adsorben maka laju adsorpsi semakin besar. (Yamliha, dkk, 2013). Affandi dan Hadisi, 2011, menyarankan metode aktivasi zeolit alam untuk bahan penurun temperatur campuran beraspal

lebih baik menggunakan metode aktivasi secara kimia dan tanpa dipanaskan sehingga didapatkan penyerapan air yang tinggi. Ozkan dan Ulku, 2005, melakukan penelitian aktivasi zeolit alam Turki dengan menggunakan larutan HCl pada berbagai konsentrasi dan suhu memberikan hasil bahwa aktivasi dengan HCl menyebabkan terjadinya proses dealuminasi zeolit. Perlakuan dengan asam terhadap zeolit juga terbukti akan menyebabkan zeolit menjadi lebih hidrofobia sehingga daya adsorpsinya terhadap air akan berkurang (Sumin dkk., 2009). Semakin tinggi konsentrasi asam yang digunakan maka daya adsorpsi zeolit terhadap uap air menjadi semakin kecil (Ozkan dan Ulku, 2005). Aktivasi dengan basa dapat dilakukan dengan larutan NaOH, penurunan rasio Si/Al akan terjadi pada aktivasi dengan pH tinggi. Dari proses aktivasi zeolit baik secara asam maupun basa, diperoleh hasil bahwa zeolit yang diaktivasi dengan basa akan menjadi lebih polar bila dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi dengan asam (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002).

2. Metodologi Penelitian

Zeolit alam yang digunakan berasal dari Bayah, Provinsi Banten. Metode aktivasi zeolite alam yang dilakukan adalah aktivasi secara kimia menggunakan larutan asam (HCl) dan larutan basa (NaOH) serta variasi ukuran butiran zeolit 75 mikron (Lolos saringan no. 200) dan 38 mikron (lolos saringan no. 400). Aktivasi zeolite alam dengan larutan basa menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi 1 N. Menurut penelitian yang dilakukan Kurniasari, dkk., (2011), aktivasi zeolite alam dengan larutan basa NaOH yang optimum pada konsentrasi larutan 1 N dengan pencampuran dan pengadukan pada suhu 70 °C selama 3 jam. Pada penelitian ini metode aktivasi dengan larutan basa mengacu pada penelitian tersebut. Setelah dicampur dan diaduk kemudian dilakukan pencucian dengan *aqua demineralize* sebanyak 2 kali dan disaring dengan kertas saring serta dikeringkan. Berdasarkan metode aktivasi zeolite alam yang dikembangkan oleh Affandi dan Hadisi 2011, untuk mengoptimalkan kandungan air dalam zeolite maka proses pengeringan dilakukan pada suhu ruang sampai mencapai berat tetap. Aktivasi zeolite alam dengan larutan asam menggunakan larutan HCl dengan konsentrasi 1 N. Perlakuan aktivasi dengan larutan HCl sama dengan perlakuan aktivasi menggunakan NaOH tetapi tanpa pemanasan. Setelah proses aktivasi, kemudian dilakukan pengujian XRF, BET dan SEM untuk mengetahui pengaruh proses aktivasi terhadap karakteristik zeolite alam. Sebagai pembanding digunakan Zeolit sintetik merek Aspha-min produksi Eurovia Jerman.

Pengujian faktor ekspansi aspal setelah ditambah dengan zeolit, dilakukan dengan cara memanaskan aspal sampai pada suhu 127 °C, kemudian aspal panas tersebut dimasukkan ke dalam gelas ukur sebanyak 100 ml dan ditambahkan zeolite sesuai dengan variasi kadar zeolit yang digunakan. Zeolite dan diaduk sampai semua zeolite terendam aspal. Setelah zeolite terendam aspal akan terjadi pembusaan yang mengakibatkan

mengembangnya volume aspal. Selama proses pembusaan dicatat pengembangan volume aspal dan waktu mencapai pengembangan maksimum dan waktu kembali ke volume semula.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan metode aktivasi zeolite alam asal Bayah untuk meningkatkan kadar air dalam zeolite alam. Selai itu juga untuk mengetahui faktor ekspansi aspal akibat penambahan zeolite alam untuk membuktikan terjadinya pembusaan aspal pada suhu pencampuran yang lebih rendah dari pada HMA.

3. Hasil Pengujian

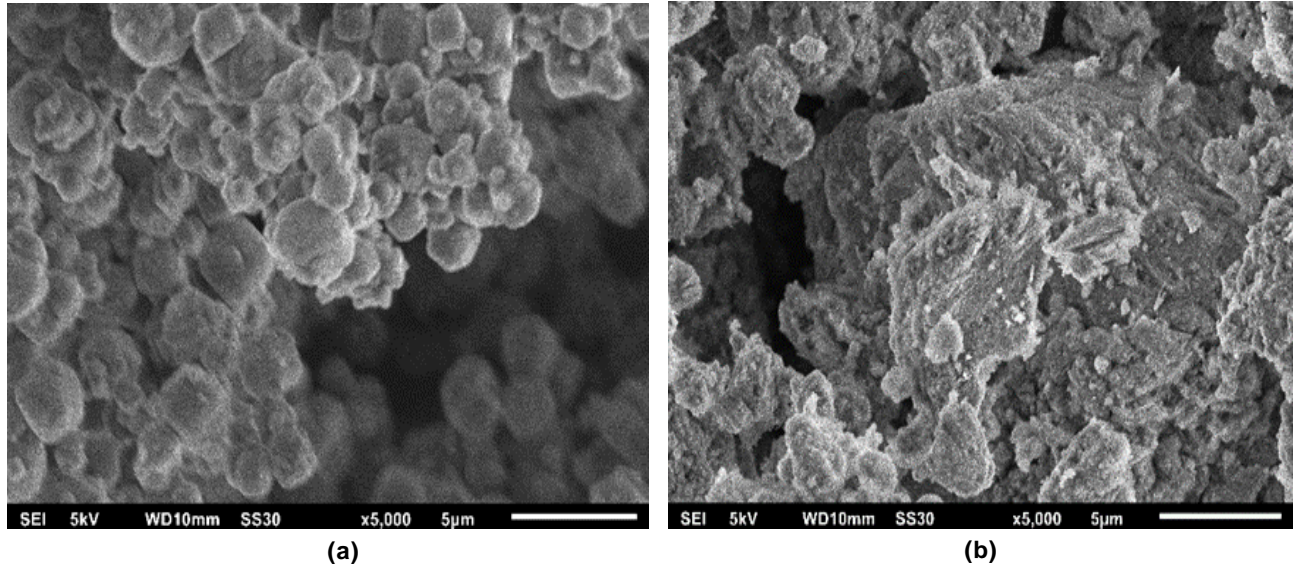
3.1 Hasil Pengujian SEM dan EDS

Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)* bertujuan untuk mengetahui perubahan morfologi permukaan zeolite akibat proses aktivasi yang dilakukan. Dari hasil foto SEM dengan pembesaran 5000 kali terlihat bahwa zeolite sintetik Aspha-min memiliki morfologi butiran dengan ukuran yang lebih seragam dan berbentuk cenderung kubik. Sedangkan Zeolit alam Bayah sebelum diaktivasi memiliki bentuk butiran yang tidak beraturan dan permukaan yang cenderung bergradasi, seperti terlihat pada **Gambar 1, 2, dan 3**.

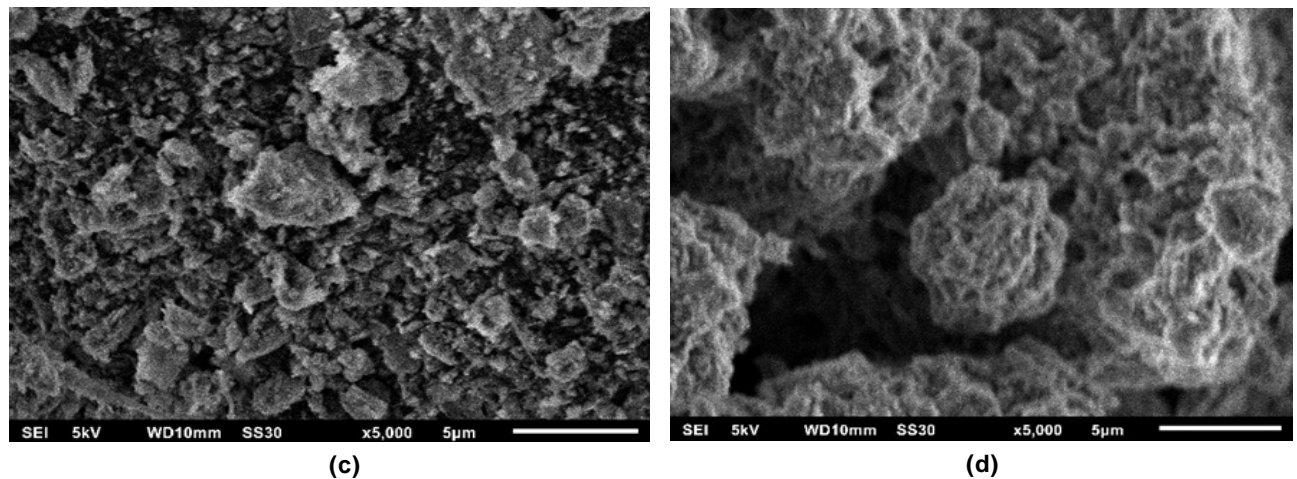
Proses aktivasi zeolite alam dapat merubah morfologi zeolite. Dari **Gambar 2** terlihat bahwa aktivasi zeolite alam dengan larutan NaOH menghasilkan bentuk kristal zeolit yang lebih kubikal dari pada aktivasi dengan HCl.

Pengujian EDS bisa digunakan untuk menganalisis secara kuantitatif dari persentase masing-masing elemen penyusun material. EDS dihasilkan dari Sinar X karakteristik, yaitu dengan menembakkan sinar X pada posisi yang ingin diketahui komposisinya. Maka setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak – puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Hasil uji EDS untuk masing-masing zeolite seperti terlihat pada **Tabel 1**.

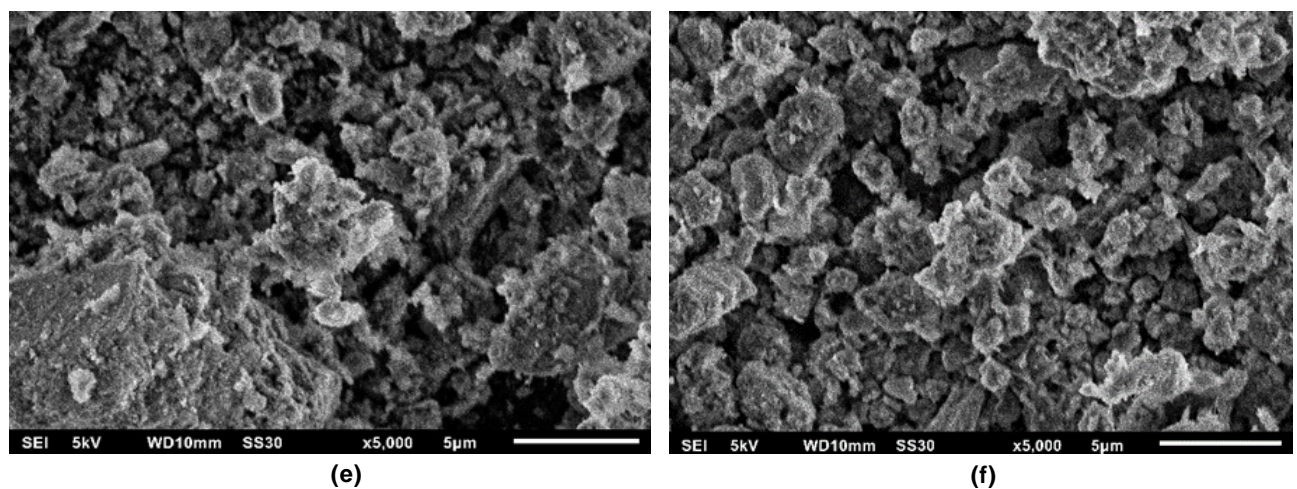
Hasil pengujian EDS terlihat bahwa proses aktivasi akan mempengaruhi rasio Si/Al dalam zeolite. Pada zeolite sintetik rasio Si/Al adalah 0.92 atau kandungan Si lebih rendah dari pada Al. Sedangkan zeolite alam Bayah sebelum diaktivasi memiliki rasio Si/Al 5.34, Aktivasi zeolite dengan HCl mengakibatkan berkurangnya kandungan Al dalam zeolite yang menunjukkan terjadinya proses dealuminasi zeolite. Rasio Si/Al zeolite Ukuran 75 µm 5.19 dan ukuran 38 µm 4.64. Sedangkan aktivasi dengan NaOH dapat meningkatkan kandungan Al dalam zeolite sehingga dapat memperkecil rasio Si/Al, Zeolit ukuran 75 µm 4.44 dan ukuran 38 µm 2.84. Semakin rendah rasio Si/Al, maka zeolit menjadi lebih hidrofilik. Hal ini menyebabkan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air lebih besar (Kurniasari, dkk., (2011). Namun hasil analisa komposisi dengan EDS ini umumnya masih memberikan persentase kesalahan yang cukup tinggi, sehingga untuk memberikan analisa komposisi yang lebih akurat digunakan *Surface Area Analyzer (SAA)* dengan alat uji XRF.



Gambar 1. Hasil Foto SEM Zeolit pembesaran 5000 kali, (a) Zeolit sintetik Aspha-min, (b) Zeolit alam Bayah sebelum diaktivasi



Gambar 2. Hasil Foto SEM Zeolit alam setelah diaktivasi pembesaran 5000 kali, (c) Zeolit alam Bayah ukuran butiran 75 µm, diaktivasi dengan HCl, (d) Zeolit alam Bayah ukuran butiran 75 µm, diaktivasi dengan NaOH



Gambar 3. Hasil Foto SEM Zeolit alam setelah diaktivasi pembesaran 5000 kali, (e) Zeolit alam Bayah ukuran butiran 38 µm, diaktivasi dengan HCl, (f) Zeolit alam Bayah ukuran butiran 38 µm, diaktivasi dengan NaOH

Tabel 1. Komposisi zeolite hasil pengujian EDS

Unsur Kimia	Zeolit Sintetik Aspha-min	Zeolit Alam	Zeolit Alam Setelah Aktivasi			
			# 200 NaOH	# 200 HCl	# 400 NaOH	# 400 HCl
C		13.83%	9.14%	36.09%	20.77%	30.25%
O	40.71%	11.11%	45.41%	39.62%	43.85%	41.74%
Na	16.16%	0.55%	4.36%	0.34%	3.55%	0.45%
Si	20.63%	30.78%	28.16%	18.16%	20.11%	20.40%
Al	22.50%	5.76%	6.34%	3.50%	7.07%	4.40%
Mg		0.64%	0.65%	0.28%	0.59%	0.39%
K		2.13%	2.17%	1.32%	1.65%	1.68%
Ca		1.40%	3.00%	0.26%	1.66%	0.24%
Fe		0.79%	0.76%	0.43%	0.74%	0.44%

Tabel 2. Komposisi zeolite hasil pengujian XRF

Jenis Mineral	Zeolit Sintetik Aspha-min	Zeolit Alam	Zeolit Alam Setelah Aktivasi				
			# 200 NaOH	# 200 HCl	# 400 NaOH	# 400 HCl	
SiO ₂	%	33.25	70.64	64.22	74.14	61.62	74.6
Al ₂ O ₃	%	31.58	12.02	11.79	11.24	14.04	11.34
Fe ₂ O ₃	%	0.06	0.99	0.91	0.9	1.52	1.35
MnO	%	0.001	0.021	0.018	0.01	0.023	0.016
MgO	%	0.041	0.61	0.6	0.51	0.73	0.68
CaO	%	0.03	3.59	3.91	1.9	4.14	1.35
Na ₂ O	%	17.86	1.68	5.64	1.01	4.28	0.74
K ₂ O	%	0.045	2.58	2.42	2.33	2.57	2.88
TiO ₂	%	0.019	0.12	0.11	0.11	0.15	0.2
P ₂ O ₃	%	0.001	0.029	0.031	0.009	0.033	0.01
SO ₃	%	0.29	0.014	0.013	0.01	0.018	0.012
Cr ₂ O ₃	%	0.006	0.01	<0.001	<0.001	0.008	<0.001
CuO	%	0.003	0.005	0.003	0.005	0.005	0.005
NiO	%	0.004	0.003	0.008	0.001	0.012	0.005
PbO	%	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.001
Rb ₂ O	%	<0.001	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004
SrO	%	<0.001	0.055	0.057	0.042	0.041	0.025
ZnO	%	0.004	0.004	0.004	0.004	0.006	0.005
ZrO ₂	%	<0.001	0.017	0.018	0.016	0.016	0.016
LOI	%	16.8	7.62	10.25	7.74	10.77	6.77
Rasio SiO ₂ /Al ₂ O ₃		1.05	5.88	5.45	6.60	4.39	6.58

3.2 Hasil Pengujian XRF

Pengujian *X-Ray Fluorescence (XRF)* bertujuan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam zeolit dengan menggunakan metode spektrometri. Metode analisis yang dilakukan adalah analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Hasil pengujian XRF masing-masing zeolite seperti pada **Tabel 2**.

Hasil pengujian XRF terlihat bahwa aktivasi zeolite dengan HCl meningkatkan nilai rasio SiO₂/Al₂O₃, sedangkan aktivasi zeolite dengan NaOH menurunkan rasio SiO₂/Al₂O₃. Perubahan nilai rasio tersebut akan mempengaruhi kemampuan zeolite terhadap uap air. Zeolit hasil aktivasi yang memiliki rasio SiO₂/Al₂O₃ yang terkecil adalah zeolite ukuran 38 µm dengan aktivasi NaOH dengan kata lain zeolite ukuran 38 mm aktivasi NaOH lebih memiliki kemampuan penyerapan uap air lebih besar dari pada metode aktivasi yang lainnya, walaupun belum bisa menyamai zeolite sintetik. Selain nilai rasio SiO₂/Al₂O₃, kemampuan penyerapan air juga dapat dilihat dari nilai hilang pijar (*Loss of Ignition (LOI)*). Nilai LOI merupakan indikasi kehilangan air dan senyawa organik lainnya akibat pemanasan. Pada

pengujian XRF analisis dilakukan pada suhu 105 °C, sehingga uap air dan senyawa organik yang terkandung di dalam zeolite sebelum diuji terurai atau menguap akibat pemanasan. Nilai LOI tertinggi pada zeolite aktivasi adalah zeolite ukuran 38 µm dengan aktivasi NaOH.

3.3 Surface Area Analysis dan Kadar Air

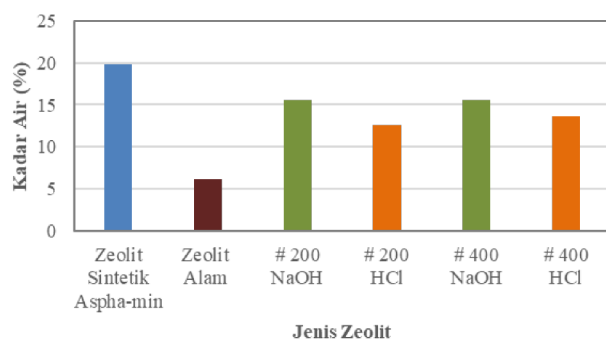
Surface area analysis menggunakan alat uji BET. Alat uji BET berfungsi untuk menentukan luas permukaan material, distribusi pori dari material dan isotherm adsorpsi suatu gas pada suatu bahan. Sedangkan pengujian kadar air dilakukan secara manual yaitu dengan cara perbandingan berat bahan sebelum di panas dan setelah dipanaskan. Hasil pengujian seperti pada **Tabel 3**.

Ukuran butiran zeolite pada proses aktivasi mempengaruhi ukuran pori dan luas permukaan pori zeolite. Zeolite dengan ukuran 38 µm (#400) menghasilkan nilai *surface area* yang lebih besar dan ukuran pori yang lebih kecil dari pada ukuran 75 µm (#200). Aktivasi dengan NaOH menghasilkan zeolite dengan volume pori yang lebih kecil dari pada aktivasi dengan HCl. Dari hasil pengujian XRF dan BET terlihat bahwa metode aktivasi untuk meningkatkan kemampuan

Tabel 3. Hasil pengujian surface area analysis dengan alat BET dan Kadar Air

Karakteristik	Zeolit Sintetik Aspha-min	Zeolit Alam	Zeolit Alam Setelah Aktivasi			
			# 200 NaOH	# 200 HCl	# 400 NaOH	# 400 HCl
Surface Area, m ² /g	5.455	84.497	44.958	135.686	39.951	88.708
Pore Volume, cc/g	0.0073	0.1075	0.0716	0.1060	0.0716	0.0916
Pore Size (Pore Diameter), Å	26.68	25.45	23.51	15.62	35.86	20.65
Rasio Si/Al	1.053	5.877	5.447	6.596	4.389	6.578
Kadar Air, %	19.77	6.08	15.54	12.6	15.62	13.58

zeolite menyerap/menyimpan air sangat ditentukan dari nilai rasio Si/Al. Nilai rasio Si/Al zeolite yang mendekati 1 memiliki kemampuan penyerapan yang lebih tinggi. Zeolite sintetik dengan rasio Si/Al bernilai 1,053 memiliki kadar air 19.77 %, berdasarkan brosur dari produsen kadar air Zeolit Aspha-min adalah 20%. Proses aktivasi dapat meningkatkan kadar air atau kemampuan zeolite menyerap air, seperti terlihat pada **Gambar 4** berikut.

**Gambar 4. Kadar air masing—masing zeolit**

Penggunaan zeolite untuk bahan tambah dalam campuran beraspal hangat yang diharapkan adalah kemampuan zeolite membawa air pada suhu ruang dan melepaskannya pada suhu tinggi. Zeolite hasil aktivasi yang memiliki kadar air yang paling tinggi adalah Zeolit ukuran 38 µm diaktivasi dengan NaOH dengan kadar air 15.65%, walaupun masih berada di bawah zeolite sintetik.

3.4 Pengaruh Penambahan Zeolit terhadap Faktor Pengembangan (ekspansi) Aspal.

Penggunaan zeolite sebagai bahan tambah pada campuran beraspal hangat bertujuan untuk memanfaatkan efek pembusaan (*foaming*) yang terjadi akibat pelepasan uap air dari dalam zeolite akibat pemanasan pada saat proses pembuatan campuran beraspal. Proses pembusaan tersebut mengakibatkan pengembangan volume aspal dan viskositas aspal dapat tercapai pada suhu pencampuran yang lebih rendah dari pada campuran aspal panas (Affandi dan Hadisi, 2011). Hasil penelitian Handayani, 2015, menunjukkan bahwa penggunaan zeolit dapat menurunkan temperatur pencampuran dan pemadatan sebesar 30°C lebih rendah dari pada campuran beraspal panas.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pengembangan volume (ekspansi) aspal akibat penambahan zeolite. Zeolite alam yang digunakan adalah zeolite alam aktivasi NaOH ukuran butiran 38 mm (#400). Sebagai pembandingan digunakan zeolite sintetik Aspha-min.

Variasi kadar zeolite yang digunakan adalah 0.3%; 0,6% dan 1,0% dari total berat campuran. Aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina Pen 60/70 dan suhu pencampuran adalah 30 °C di bawah suhu pencampuran aspal panas. Hasil pengujian viskositas aspal menunjukkan bahwa suhu pencampuran aspal panas adalah 157 °C sehingga untuk pencampuran dengan zeolite dilakukan pada suhu 127 °C.

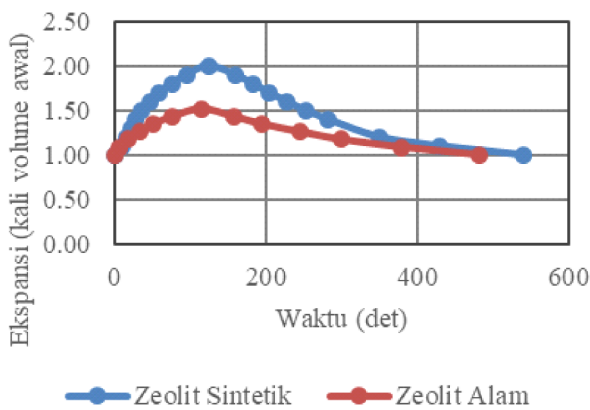
Faktor ekspansi volume aspal akibat penambahan zeolite dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Gambar 5, 6**, dan **7**.

Tabel 4. Faktor ekspansi dan waktu ekspansi aspal akibat penambahan zeolite pada suhu pencampuran 127°C

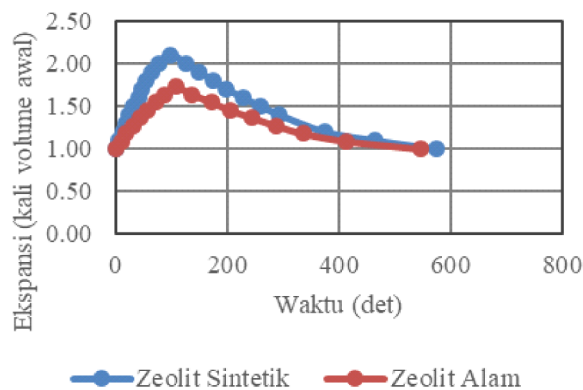
Jenis Zeolit	Kadar Zeolit	Faktor Ekspansi (kali vol. awal)	Waktu Ekspansi (detik)
Zeolit Sintetik	0.3	2	125
	0.6	2.1	98.5
	1	2.25	80
Zeolit Alam	0.3	1.52	115
	0.6	1.73	107.5
	1	1.91	97

Penambahan zeolite pada suhu pencampuran 30 °C di bawah suhu pencampuran aspal panas dapat mengakibatkan terjadinya pengembangan volume beraspal. Hal ini mengindikasikan bahwa pada suhu tersebut telah terjadi proses pembusaan dan perubahan viskositas aspal. Peningkatan kadar zeolite dapat meningkatkan faktor ekspansi aspal dan memperkecil waktu ekspansi. Faktor ekspansi aspal dengan penambahan zeolite alam berada di bawah aspal dengan

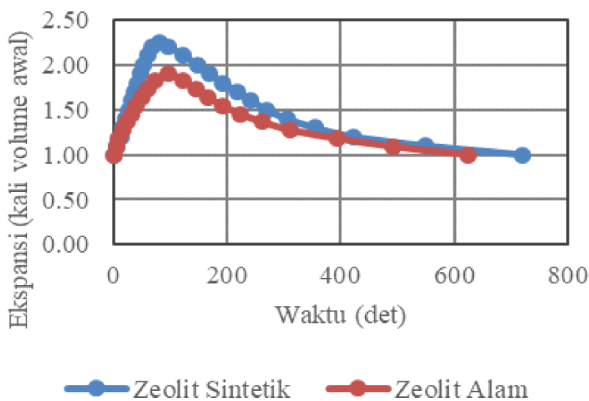
Penambahan zeolite pada suhu pencampuran 30 °C di bawah suhu pencampuran aspal panas dapat mengakibatkan terjadinya pengembangan volume beraspal. Hal ini mengindikasikan bahwa pada suhu tersebut telah terjadi proses pembusaan dan perubahan viskositas aspal. Peningkatan kadar zeolite dapat meningkatkan faktor ekspansi aspal dan memperkecil waktu ekspansi. Faktor ekspansi aspal dengan penambahan zeolite alam berada di bawah aspal dengan penambahan zeolite sintetik, hal ini disebabkan karena kadar air zeolite alam lebih kecil dari pada zeolite sintetik. Faktor ekspansi aspal akan mempengaruhi penggunaan kadar aspal, faktor ekspansi aspal yang besar memerlukan kadar aspal yang lebih rendah.



Gambar 5. Faktor ekspansi dan waktu ekspansi aspal akibat penambahan zeolite 0.3%



Gambar 6. Faktor ekspansi dan waktu ekspansi aspal akibat penambahan zeolite 0.6%



Gambar 7. Faktor ekspansi dan waktu ekspansi aspal akibat penambahan zeolite 1.0%

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode aktivasi zeolite alam asal Bayah yang menghasilkan kadar air yang lebih tinggi adalah dengan larutan NaOH dan ukuran butiran 38 mm (#400).
2. Penambahan zeolite pada suhu 30 °C di bawah suhu

pencampuran aspal panas dapat mengakibatkan terjadinya pengembangan (ekspansi) volume aspal. Peningkatan kadar zeolite dapat meningkatkan faktor ekspansi aspal dan memperkecil waktu ekspansi

3. Faktor ekspansi aspal dengan penambahan zeolite alam berada di bawah aspal dengan penambahan zeolite sintetik, hal ini disebabkan karena kadar air zeolite alam lebih kecil dari pada zeolite sintetik.

Daftar Pustaka

Affandi, F. dan Hadisi, H. (2011): Pengaruh Metoda Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Bahan Penurun Temperatur Campuran Beraspal Hangat, *Jurnal Jalan – Jembatan*, Vol. 28 No.1, 1- 8.

Timothy, D.M. dan Bahia, H.U. (2009): Sustainable Asphalt Pavement : Technologies, Knowledge Gaps and Opportunities, <http://uwmarc.wisc.edu/files/MARC-Sustainable-Asphalt-Pavements-white-paper.pdf>, diunduh pada 19 Maret 2016

Alonso, A. Tejada, E., Moreno, F., Rubio, M.C., dan Medel,E. (2013): A comparative study of natural zeolit and synthetic zeolit as an additive in warm asphalt mixes, *Journal Materiales de Conctruction*, Vol. 63, 195-217.

Vaitkus, A., Cygas, D., Laurinavicius, A., dan Perveneckas, Z. (2009): Analysis And Evaluation Of Possibilities For The Use Of Warm Mix Asphalt In Lithuania, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, Vol. 4 No. 2, 80-86.

Woszuk, A., Kulkielka, dan J. Franus, W. (2014): The Effect Of Zeolite Addition At A Temperature Compaction Of Asphalt Mixes, *Academic Journals & Conferences of Lviv Polytechnic National University*, No.781, 221-229.

Dubravský, M. dan Mandula, J. (2015): Modified Asphalt Binder with Natural Zeolit for Warm Mix Asphalt, *Journal Of Civil Engineering* Vol. 10, Issue 2, 61 - 68.

Handayani, A.T., Setiaji, B.H., dan Wardani, S.P.R. (2015): Ketahanan Deformasi Campuran Beraspal Modifikasi Polimer Hangat dengan Bahan Aditif Zeolit Alam, *Jurnal Transportasi* Vol, 15 No. 2, 89-98.

Topal, Ali dan Dokandari, P.A., (2014): Laboratory Comparison of Aging Characteristics of Warm Mix Asphalts Involving Natural and Synthetic Water Containing Additives, *Journal of Material Research*, Vol. 17 No. 5, 1129 - 1136.

- Nurani, Puri (2015): Pengaruh Penggunaan Zeolit Alam Terhadap Karakteristik Campuran Warm Mixed Asphlat, *Proceeding of The 18th FSTPT Internasional Symposium*, Unila - Lampung, 27-30 Agustus 2015.
- Suparman, L.B., Purnomo, W., Andrian, M. dan Saleh, A. (2014): Zeolit Alam Sebagai Filler Pada Campuran Laston (AA) Dengan Aspal Pen 60/70 Dan Asbuton (BNA) Blend 75:25, *Proceedings of The 17th FSTPT Internasional Symposium*, Universitas Jember, 22-24 Agustus 2014, 817-826.
- Kurniasari, L., Djaeni, M., dan Purbasari, A., (2011): Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Pada Alat Pengering Bersuhu Rendah, *Jurnal Reaktor* Vol. 13 No. 3, 178 – 184.
- Yamliha, A., Argo, B. D., dan Nugroho, W. A., (2013);Pengaruh Ukuran Zeolit Terhadap Penyerapan Karbondioksida (CO₂) Pada Aliran Biogas, *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis* Vol. 1 No. 2, 67-72.
- Ozkan, F.C. and Ulku, S., (2005): Diffusion Mechanism of Water Vapour in A Zeolitic Tuff Richin Clinoptilolite, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 94, 699-702
- Sumin, L., Youguang, M.A., Chunying, Z., Shuhua, S., and Qing, H.E., (2009): The Effect of Hydrophobic Modification of Zeolites on CO₂ Absorption Enhancement, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, Vol. 17(1), 36-41
- Jozefaciuk, G. and Bowanko, G., (2002): Effect of Acid and Alkali Treatments on Surface Areas and Adsorption Energies of Selected Minerals, *Journal Clays and Clay Minerals*, Vol. 50(6), 771-783.

