

APLIKASI ZEOLIT ALAM TERKALSINASI UNTUK FRAKSINASI TAR BATU BARA

Bambang Setiaji, Iqmal Tahir, dan Dwi Retno Nurotul Wahidiyah
Laboratorium Kimia Fisik, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA
Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara Yogyakarta 55281
Tel/fax : 0274-517656; Email : chemistry-kf@ugm.ac.id

Abstract

Salah satu modifikasi zeolit alam telah dilakukan dengan proses perlakuan kalsinasi dan telah dicoba aplikasinya untuk pemisahan komponen tar batubara menggunakan kolom fraksinasi dengan zeolit terkalsinasi tersebut sebagai fasa diam. Bahan dasar yang digunakan berupa zeolit alam dari daerah Wonosari dan dikalsinasi dengan reaktor kalsinasi di PT Prima Zeolita melalui tahapan proses penggilingan, pengayakan dan penyaringan, pencucian dan kalsinasi. Zeolit terkalsinasi dibuat dengan variasi kisaran ukuran fisik yakni 20 – 28, 12 – 20, dan 8 – 12 mesh dan masing-masing ditempatkan pada kolom dengan panjang 30 cm. Tar batubara diperoleh dari hasil pirolisis batubara produksi PT Batubara Bukit Asam menggunakan reaktor pirolisis pada temperatur 500-650 °C dengan gas alir N₂ pada kecepatan 100 mL/menit. Pengepakan zeolit terkalsinasi pada kolom dilakukan tanpa pelarut. Proses pemisahan komponen tar dilakukan dengan menggunakan variasi pelarut CCl₄, aseton dan etanol, sedangkan analisis komponen dilakukan dengan menggunakan kromatografi gas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolit terkalsinasi relatif memiliki kemampuan untuk memisahkan komponen tar dan cenderung mengadsorpsi hidrokarbon fraksi ringan. Variasi fasa gerak yang dilakukan menunjukkan bahwa fasa gerak non polar (CCl₄) menghasilkan pemisahan yang relatif baik daripada fasa gerak sedikit polar (etanol) atau fasa gerak polar (aseton).

Kata kunci: zeolit kalsinasi, pemisahan fraksinasi, tar batubara,

Pendahuluan

Keberadaan zeolit alam cukup melimpah di Indonesia dan pemanfaatannya masih belum banyak dilakukan. Berdasarkan potensi yang dimiliki zeolit, maka cukup banyak aplikasi yang sebenarnya dapat digunakan, antara lain kemampuannya sebagai katalis, senyawa pengemban ataupun adsorben. Untuk dapat memiliki unjuk kerja yang baik, zeolit alam harus dimodifikasi terlebih dahulu dan telah banyak diteliti berbagai cara modifikasi zeolit alam yakni dengan kalsinasi atau pengembanan logam (Suyanti, 2000).

Mengingat struktur porinya yang unik, zeolit juga memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap suatu ukuran dan bentuk molekul, sehingga zeolit juga terkenal sebagai *molecular sieve*, dengan demikian zeolit bisa dimanfaatkan sebagai fasa diam dalam kromatografi, walaupun sejauh ini pengembangannya relatif belum banyak digunakan (Dean, 1970). Kemampuan zeolit dalam pemisahan ini, didasarkan pada struktur zeolit yang tersusun oleh rongga atau pori, dimana sistem rongga ini membentuk saluran yang saling berhubungan dan dihubungkan dengan celah oksigen. Zeolit merupakan kristal silika terhidrat yang secara tiga dimensi tersusun atas tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 yang saling dihubungkan oleh atom O. Dalam penelitian sebelumnya telah ditunjukkan bahwa pemanfaatan zeolit sebagai senyawa pemisah sangat dipengaruhi oleh ukuran dan distribusi pori yang dimiliki (Kirk-Othmer, 1994). Dalam hal ini terdapat beberapa tipe zeolit, di antaranya tipe *molecular sieve* 4 Å, yaitu $[\text{Na}_{10}(\text{AlO}_2)_{14}(\text{SiO}_2)_{13}]$. Molekul berdiameter lebih kecil dari 4 Å akan terabsorpsi, misalnya H_2O , CO_2 , SO_2 dan hidrokarbon rendah. Senyawa golongan etana, alkohol dan parafin rantai lurus masuk dalam *molecular sieve* 5 Å, yang dibuat dari *molecular sieve* 4 Å, dengan menggantikan atom Na dengan Ca atau K. Tipe *molecular sieve* yang lain adalah 10x dan 13x, yaitu $\text{Na}_6(\text{AlO}_2)_6(\text{SiO}_2)_{100}$, golongan zeolit ini mampu mengabsorpsi molekul berdiameter sampai 10 Å (Smith dan Braithwaite, 2001).

Di sisi lain, Indonesia juga merupakan salah satu negara yang memiliki cadangan batu bara relatif besar. Secara garis besar batu bara dapat dibagi menjadi empat: anthrasit, bituminus, sub-bituminus (golongan batu bara tua dengan kalor pembakaran tinggi) dan lignit (batu bara muda dengan kalor pembakaran rendah) (Heashley et al, 1986). Salah satu upaya yang telah dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomis dari batu bara jenis lignit, adalah dengan pirolisis, yaitu suatu teknik pemanasan batu bara dalam temperatur tinggi (mencapai 1000 °C), menghasilkan *coke* (batu bara dengan kalor pembakaran lebih tinggi), gas dan tar (Lappas, 1990). Tar yang dihasilkan cukup melimpah, namun karena baunya yang tajam dan tidak enak, maka sering dianggap sebagai limbah (Newman, 1985). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tar batu bara ini mengandung banyak komponen senyawa organik baik alifatis ataupun aromatis, yang tentu saja sangat potensial untuk dimanfaatkan lebih lanjut, misalnya sebagai bahan dasar industri kimia berbasis senyawa olefin maupun senyawa aromatis (Hasanuddin, 2000).

Kendala yang dihadapi dalam pengolahan tar adalah kompleksitas senyawanya, sehingga perlu dilakukan proses pemisahan awal agar memudahkan dalam pemanfaatan lebih lanjut. Berdasarkan pada permasalahan tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan pemanfaatan sifat *molecular sieve* dari zeolit alam terkalsinasi dalam kaitannya sebagai fasa diam kolom kromatografi. Penelitian ini melanjutkan hasil penelitian yang telah dilaporkan oleh Wahidiyah dkk (2004) tentang aplikasi zeolit aktif dan Setiaji dkk (2007) yang menggunakan zeolit-Mn (yakni zeolit diaktivasi dengan perendaman dalam larutan kalium permanganat). Proses awal adalah distilasi fraksinasi pengurangan tekanan terhadap tar, kemudian fraksi distilat yang diperoleh dipisahkan dengan kolom kromatografi, dengan memadukan prinsip adsorpsi dan elusi. Dalam kolom ini digunakan variasi fasa gerak yakni eluen CCl_4 , aseton dan etanol. Dengan teknik ini, diharapkan senyawa-senyawa yang terkandung di dalam tar batu bara dapat dipisahkan menjadi komponen yang lebih sederhana.

Metodologi

Bahan

Tar batu-bara hasil pirolisis (PT Batubara Bukit Asam), zeolit kalsinasi (PT Prima Zeolita), CCl_4 (teknis), etanol (teknis), aseton (teknis), dan glasswool

Alat

Satu set alat distilasi fraksinasi pengurangan tekanan, kolom kromatografi *batch reactor* untuk proses pirolisis, kromatografi gas dengan kolom PEG jenis packing (merk HITACHI), alat-alat gelas laboratorium, ayakan *mesh* ukuran 80-100, penumbuk (*mortar agate*), oven.

Cara Penelitian

Preparasi dan pirolisis batu-bara

Sejumlah briket batu-bara ditumbuk dengan ukuran 8 – 325 *mesh*, kemudian ditimbang sebanyak 1350 g, digunakan sebagai umpan. Umpan dimasukkan ke reaktor pirolisis dan dipanaskan secara bertahap. Kenaikan temperatur sebesar 30 °C per menit dan laju alir gas N_2 100 mL permenit. Setelah temperatur mencapai 400 °C, dijaga konstan selama 15 menit, baru kemudian dinaikkan ke 500 °C. Setelah mencapai temperatur 650 °C, pemanasan dihentikan sampai semua tar terambil. Temperatur reaktor diturunkan secara bertahap, dengan gas pembawa yaitu N_2 , tetap dihidupkan, supaya sisa gas yang masih ada dapat keluar. Tar ditampung dalam wadah dengan sistem pendingin es. Hasil yang diperoleh disimpan dalam *freezer* dan digunakan untuk langkah selanjutnya.

Sebanyak 100 mL sampel tar batu-bara dimasukkan ke labu leher tiga 500 mL. Labu digabungkan dengan rangkaian alat distilasi fraksinasi pengurangan tekanan, kolom *vigreux* ½ m, dan tekanan terkontrol 44 mmHg. Sistem dipanaskan dengan temperatur maksimum 200 °C. Distilat yang diperoleh ditampung dan disimpan dalam *freezer*.

Pengujian awal kemampuan reduksi zeolit dengan prinsip kolom kromatografi

Pengujian bertujuan untuk membandingkan kemampuan dari masing-masing zeolit sebagai fasa diam dalam kolom kromatografi. Sampel sebanyak 5 mL dimasukan ke kolom kromatografi sepanjang 30 cm yang telah diisi zeolit dan eluen. Dilakukan proses elusi dengan eluen (yang dipilih) sebanyak 50 mL. Trapping terhadap sampel yang keluar dilakukan dalam rentang waktu 3 menit. Hasil dianalisis menggunakan kromatografi gas dan digunakan sebagai standar dalam uji kemampuan zeolit selanjutnya.

Preparasi variasi ukuran fasa diam pada kolom kromatografi

Zeolit terkalsinasi ditumbuk dan diayak dengan variasi ukuran *mesh* sebesar : 20 – 28, 12 – 20, dan 8 – 12 *mesh*. Pengujian dilakukan dengan mengeluskan eluen ke dalam kolom, kemudian diukur waktu yang diperlukan oleh eluen untuk mencapai dasar kolom.

Preparasi kolom kromatografi

Zeolit terkalsinasi dimasukkan ke dalam kolom sepanjang 30 cm, dengan bagian bawah dan atas diberi *glass wool* untuk menjaga kondisi kolom. Proses packing metode *dry packing*, dimana fasa diam tetap dalam keadaan kering. Pemasukan zeolit ke dalam kolom dilakukan seajeg mungkin. Proses *tapping* dilakukan agar kolom terisi sempurna.

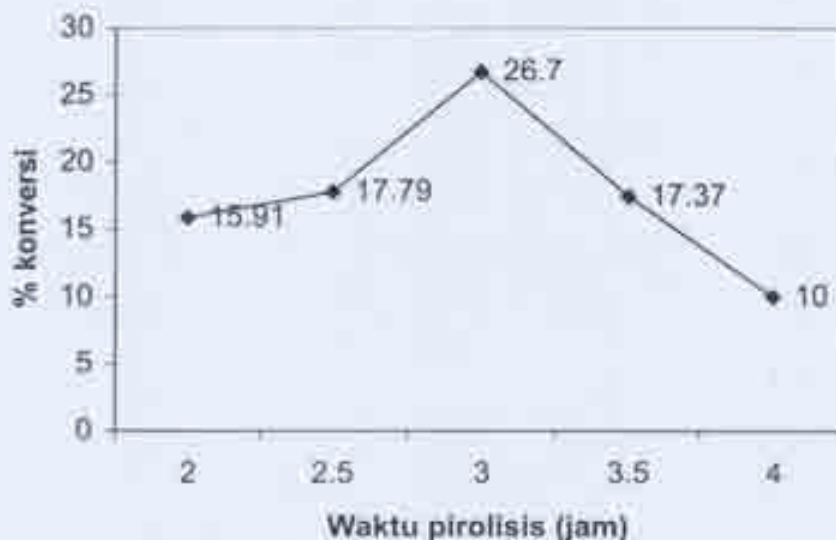
Sebanyak 20 mL sampel dimasukkan pada kolom sepanjang 30 m, yang telah diisi dengan zeolit. Sampel yang dapat melewati kolom ditampung dan diukur volumenya. Sampel yang tertinggal dalam kolom dielus dengan variasi jenis eluen, yaitu CCl_4 , aseton dan etanol, masing-masing efluen yang keluar dari hasil elusi ini ditampung dan dianalisis dengan kromatografi gas.

Data kromatogram GC digunakan untuk mempelajari kemampuan zeolit sebagai fasa diam dibandingkan dengan kemampuan absorpsinya

Hasil dan Pembahasan

Proses pirolisis batubara dan destilasi tar

Hasil pirolisis batubara yang diperoleh berupa senyawa cair yang terdiri dari dua lapisan. Lapisan atas berwarna hitam kental, dan lapisan bawah berwarna kuning. Dalam proses pirolisis dilakukan variasi terhadap waktu pirolisis dengan proses pemanasan dan kenaikan temperatur. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh lama waktu pirolisis dengan persen konversi yang diperoleh. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Hubungan antara waktu pirolisis dengan % konversi (berat sampel 1350 g dan ukuran sampel 8-325 mesh)

Dari gambar 1 terlihat bahwa hasil maksimum diperoleh pada waktu pirolisis selama 3 jam. Hal ini menunjukkan bahwa proses pirolisis bukanlah suatu reaksi distilasi destruktif sederhana, tetapi juga melibatkan proses-proses yang lain. Reaksi

pirolisis untuk menghasilkan tar batubara ini, terjadi dalam beberapa tahapan yang disebut *degasifikasi* atau *dekomposisi*. Tahapan awal *dekomposisi* adalah putusnya ikatan karbon alifatik (terjadi pada temperatur rendah), disusul dengan putusnya ikatan C-H dan eliminasi kompleks lingkaran hetero. *Dekomposisi* maksimum terjadi pada temperatur antara 600-700 °C. Tahapan reaksi ini tentu saja memerlukan waktu untuk sempurnanya reaksi, pada waktu yang sedikit maka reaksi-reaksi dalam tahapan *dekomposisi* ini tidak akan sempurna [9].

Akibat waktu pirolisis yang terlalu lama justru akan menyebabkan bertambah banyak gas terbuang yang dihasilkan. Selain itu lamanya waktu pirolisis juga menyebabkan besarnya kemungkinan tumbukan pada dinding reaktor atau semakin banyak produk yang saling bertumbukan satu dengan yang lain. Hal ini menyebabkan terbentuknya molekul dengan rantai hidrokarbon yang justru lebih tinggi (reaksi sekunder dari distilasi destruktif, dimana justru dihasilkan senyawa gabungan yang lebih besar), sehingga sulit untuk dipecah kembali dan menyebabkan produk konversi dari tar turun.

Waktu pirolisis juga menyebabkan banyaknya zat volatil dalam tar yang terbuang karena terbawa oleh gas pembawa. Selain itu pada senyawa tar yang diperoleh banyak terkandung fraksi berat, yaitu lapisan atas yang disebut *aspalten*. Hal ini akan menurunkan efisiensi karena pengolahan fraksi berat ini jauh lebih sulit dan banyak terkandung pengotor, seperti senyawa anorganik, belerang dan zat-zat lain.

Proses distilasi dalam penelitian ini lebih bersifat teknis. Produk yang diperoleh bukan langsung sebagai hasil pemisahan, namun lebih merupakan preparasi awal sampel. Tujuannya adalah untuk memisahkan fraksi berat tar (*aspalten*). Dengan proses distilasi ini diharapkan senyawa berat (hidrokarbon rantai panjang) tetap tinggal sebagai residu, sedangkan distilat yang diperoleh sudah terpisah dari fraksi *aspalten*. Selain itu diharapkan juga dapat memecah molekul besar menjadi molekul yang lebih kecil karena adanya *dekomposisi termal*. Sehingga akan memudahkan dalam proses pemisahan dengan kolom kromatografi zeolit.

Mengingat senyawa organik pada umumnya bersifat volatil, kompleks dan cenderung mengalami kerusakan pada temperatur yang tinggi, maka dilakukan distilasi fraksinasi pengurangan tekanan. Proses distilasi ini dilakukan pada tekanan 66 mmHg dan dijaga konstan, dengan temperatur maksimum 200 °C. Dalam distilasi ini dilakukan variasi terhadap jumlah umpan tar yang digunakan. Perbandingan hasil konversi tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil konversi distilasi fraksinasi pengurangan tekanan pada temperatur maksimum 200 °C

Volume tar	Distilat	% Konversi
50 mL	40,5 mL	81,0 %
100 mL	81,5 mL	81,5 %
100 mL	82,0 mL	82,0%
50 mL	41,0 mL	82,0%

Dari tabel 1 terlihat bahwa % konversi rata-rata yang diperoleh mencapai 81,6 % (/). Hasil ini menunjukkan banyaknya umpan awal tidak berpengaruh terhadap hasil yang diperoleh. Komponen yang terkurangi pada proses distilasi ini sebagian besar merupakan fraksi berat. Fraksi berat dalam suatu hidrokarbon apabila dipanaskan akan cenderung tertinggal sebagai residu.

Proses Packing dan Pemisahan dengan Kolom Kromatografi

Dalam proses pemisahan dengan prinsip kolom kromatografi ini, dipadukan antara kemampuan adsorpsi zeolit dan daya pisah dari zeolit itu sendiri. Sebagaimana telah diketahui, kemampuan adsorpsi zeolit cukup tinggi, baik terhadap senyawa dengan ukuran kecil ataupun senyawa dengan ukuran molekul besar, tergantung dari jenis zeolit yang digunakan.

Metode *packing* yang dipilih adalah jenis kering dengan sistem konvensional. Ukuran fasa diam yang dipilih 10-20 *mesh*. Kolom yang dipakai memiliki spesifikasi : panjang = 30 m dan diameter = 1,5 cm. Pada kromatografi konvensional, gaya dorong yang menyebabkan sampel bergerak turun hanyalah gaya gravitasi dan tidak ada gaya dorong yang lain. Dalam proses ini, diperlukan ukuran pori yang tepat. Partikel yang terlalu besar akan mengurangi efisiensi pemisahan, karena kecepatan yang tinggi akan menyebabkan kesetimbangan dan kontak efektif antara fasa diam dan sampel tidak sempurna. Dengan demikian proses pemisahan tidak akan berlangsung dengan baik apabila ukuran fasa diam terlalu kecil akan dapat menyebabkan tersumbatnya aliran sampel dalam kolom, sehingga pemisahan yang seharusnya sudah terjadi, menjadi tidak tercapai karena sampel justru menumpuk pada fasa diam.

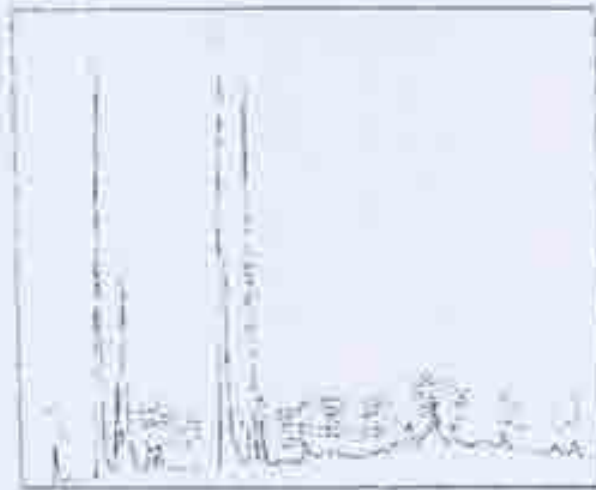
Pemilihan ukuran partikel fasa diam sebesar 10-20 *mesh*, merupakan upaya untuk mendapatkan hasil elusi terbaik. Hal ini dapat dilihat dari hasil elusi yang diperoleh dibandingkan dengan ukuran partikel fasa diam yang lebih besar ataupun yang lebih kecil. Pada ukuran fasa diam yang lebih kecil dari 10-20 *mesh*, yaitu 20-30 *mesh*, diperlukan waktu yang lama yakni sekitar (1 jam) untuk sekali proses elusi. Selain itu eluen dan sampel tidak dapat melaju dengan konstan, tetapi tertahan lama di bagian bawah dari kolom. Pada ukuran yang lebih besar dari 10-20 *mesh*, laju alirnya terlalu cepat, sehingga kesetimbangan yang diharapkan tidak dapat terjadi dengan sempurna. Data mengenai kondisi dalam kolom kromatografi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kondisi kromatografi dari tiap jenis zeolit yang digunakan

Kondisi	Nilai
Massa zeolit dalam kolom	30,8 g
Waktu alir (t ₀) sampel	2,8 menit
Volume sampel masuk	20 mL
Volume sampel sesudah adsorpsi	4,8 mL
Waktu alir CCl ₄	2,8 menit
Waktu alir aseton	1,2 menit
Waktu alir ethanol	3,8 menit

Analisis komponen Senyawa Tar

Sampel hasil distilasi fraksinasi pengurangan tekanan dianalisis terlebih dahulu dengan kromatografi gas untuk memprediksikan senyawa yang ada, hasil analisis tersebut dapat dilihat pada gambar 2. Kondisi operasional GC adalah temperatur injeksi sampel 90 °C, temperatur kolom terprogram 90-240 °C, jenis kolom packing PEG(Poli Etilen Glikol) dan detektor FID (Flame Ionization Detector). Dari gambar 2 terlihat bahwa kompleksitas tar masih cukup tinggi, walaupun telah dilakukan distilasi



Gambar 2 Kromatogram sampel hasil distilasi fraksinasi pengurangan tekanan



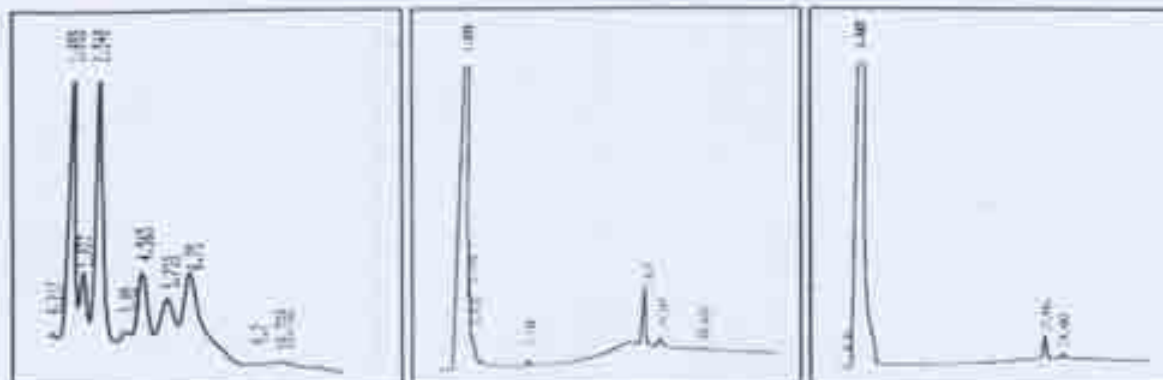
Gambar 3 Kromatogram sampel hasil distilasi setelah melewati kolom dengan zeolit terkalsinasi

Dari gambar 3 terlihat bahwa setelah melewati kolom, terjadi pengurangan jumlah puncak yang cukup banyak dibandingkan kromatogram sampel hasil distilasi fraksinasi pengurangan tekanan awal. Komponen yang teradsorpsi oleh kolom berisi zeolit terkalsinasi adalah golongan hidrokarbon rendah sampai menengah, dengan t_r di atas 2,5 - 17 menit. Selain itu untuk komponen yang ringan dengan t_r di bawah 2 menit dan di atas 17 menit tidak teradsorpsi oleh kolom. Hal ini menunjukkan bahwa jenis kolom berisi zeolit terkalsinasi, dalam kaitannya sebagai *molecular sieve*, akan cenderung mengadsorpsi senyawa hidrokarbon ringan sampai sedang, dengan t_r pada kisaran 2,5 - 16,3 menit. Golongan hidrokarbon berat dengan t_r di atas 17 menit dapat melewati kolom ZC.

Dari hasil kromatogram yang diperoleh, dapat dibandingkan secara kualitatif antara komponen-komponen yang ada dalam sampel awal (yang diperoleh dari distilasi fraksinasi pengurangan tekanan), dengan komposisi senyawa yang telah melewati kolom. Terlihat jelas bahwa secara kualitatif terjadi pengurangan jumlah komponen. Hal ini terlihat pada berkurangnya jumlah puncak pada kromatogram sampel setelah melewati kolom, jika dibandingkan dengan kromatogram sampel awal.

Pengaruh variasi eluen terhadap proses pemisahan komponen tar

Hasil elusi pada kolom ZC dapat dilihat pada gambar 4. Dari gambar 4a terlihat bahwa CCl_4 mampu membawa komponen hidrokarbon rendah dengan t_r di bawah 11 menit, sebagaimana diketahui dari percobaan sebelumnya, ZC mengadsorpsi hidrokarbon rendah dengan t_r antara 3,71 - 15,74 menit.



jenis ini akan memberikan interaksi yang kecil atau bahkan tidak ada dengan zeolit dalam kolom. Sebagaimana diketahui zeolit dalam kaitannya sebagai *molecular sieve*, merupakan senyawa berpori yang bersifat polar. Akibatnya jika digunakan pelarut yang bersifat polar, yang terjadi justru interaksi antara senyawa polar tersebut dengan zeolit dalam kolom. Hal ini akan menurunkan efektifitas dari pemisahan.

Fenomena tersebut dapat dilihat pada hasil elusi yang diberikan oleh sentawa polar etanol, kemampuan elusi terhadap komponen yang teradsorpsi jauh lebih kecil dibanding CCl_4 . Namun selain kepolaran, terdapat faktor lain yang juga berpengaruh terhadap hasil elusi dari suatu eluen. Hal ini terlihat pada hasil yang ditunjukkan oleh eluen aseton, walaupun sifatnya medium polar, dengan tingkat kepolaran dibawah etanol dan sedikit di atas CCl_4 , namun hasil elusi dan pemisahan yang diberikan justru lebih rendah dibanding etanol yang bersifat lebih polar. Hasil ini terkait dengan sifat dari pemisahan itu sendiri, dimana dasar yang digunakan adalah kemampuan zeolit sebagai *molecular sieve*, yaitu senyawa berpori yang dapat digunakan sebagai pemisahan karena selektifitas dalam ukuran dan orientasi dari molekul dan terkait juga dengan kemampuan adsorpsi dari zeolit itu sendiri.

Dalam proses pemisahan, selain kepolaran dan sifat fisik dari zeolit terdapat faktor lain yang juga berpengaruh, yaitu ukuran dan orientasi dari molekul yang akan dipisahkan dan ukuran serta orientasi dari eluen yang digunakan. Jika eluen yang digunakan mempunyai ukuran dan orientasi yang sesuai dengan pori zeolit, maka eluen ini justru akan teradsorpsi ke dalam pori zeolit, sehingga tidak dapat melakukan proses elusi dan pemisahan secara sempurna. Berbeda dengan eluen yang terorientasi dan ukurannya tidak sesuai dengan pori-pori zeolit, maka eluen ini tidak akan teradsorpsi ke dalam pori-pori zeolit. Dengan demikian hasil elusi dan pemisahannya tidak akan sempurna.

Kesimpulan

Dari penelitian mengenai pemanfaatan zeolit sebagai *molecular sieve* untuk memisahkan komponen ter batu-bara yang telah mengalami distilasi fraksinasi pengurangan tekanan, dapat diambil kesimpulan zeolit terkalsinasi memiliki kemampuan untuk memisahkan komponen senyawa tar batu bara hasil distilasi fraksinasi pengurangan tekanan. Untuk aplikasi tersebut dapat dibantu dengan penggunaan eluen sesuai kekuatan kemampuan eluen sebagai berikut : $CCl_4 >$ etanol $>$ aseton.

Daftar Pustaka

- Dean, J.A., 1970, *Chemical Separation Methods*, Van Nostrand-Reinhold, London
- Hasanuddin, R., 2000, *Peningkatan Kualitas Batu Bara Lignit dengan Metode Pirolisis dan Ekstraksi*, Tesis Program Pasca sarjana, Universitas Gadjah Mada
- Hessley, R.K., Reasoner, J.W., and Riley, J.T., 1986, *Coal Science, An Introduction to Chemistry, Technology and Utilization*, Mc Graw Hill Publishing Company Limited, London
- Kirk-Othmer, 1994, *Encyclopedia of Chemical Technology*, John Willey & Sons, New York

- Lappas, A.A., Papavasiliou, D., Batos, K., and Vasalos, I.A., 1990, Product Distribution and Kinetic Predictions on Greek Lignite Pyrolysis, *J.Fuel. Chem.*, 69, 1304-1308
- Newman, J.O.H., 1985, *Chemical from Coal : New Development, Critical report on Applied Chemistry*, vol.9, Blackwell Scientific Publication, London
- Smith, F.J, and Braithwaite A., 2001, *Chromatographic Methods*, 5th ed, Kluwer Academic Publishers, London
- Suyanti, L., 2000, *Kinetika Reaksi Pirolisis Tar Batu Bara Dengan Menggunakan Katalis*, Tesis Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada
- Wahidiyah, D.R.N., Setiaji, B. and Tahir, I., 2004, Utilization of Activated Zeolite as Molecular Sieve in Chromatographic Column for Separation of Coal tar Compounds, *Indo. J. Chem.*, 4, 2, 132-138
- Setiaji, B., Tahir, I., and Wahidiyah, D.R.N., 2007, *Pemisahan Komponen Tar Batubara Dengan Kolom Fraksinasi Menggunakan Fasa Diam Zeolit-Mn* - Submitted to Berkala MIPA UGM