

PENGGUNAAN ZEOLIT 4A YANG TELAH DIMODIFIKASI DENGAN CTAC SEBAGAI FASA DIAM PADA KROMATOGRAFI PENUKAR ANION

Budhi Oktavia

Staf Pengajar Jurusan Kimia FMIPA UNP, e-mail: budhi_ukt@yahoo.com

ABSTRACT

Anion exchange chromatography using zeolite 4A modified with cetyltrimethylammonium chloride (CTAC) as the stationary phase has been examined and applied to the separation of common inorganic anions. Effects of eluent composition on retention behavior of inorganic anions have been investigated. The retention of analyte anions was stable when CTAC was included in the eluent. The retention time of anions decreased with increasing concentration of sodium sulfate as the eluent and CTAC added into the eluent.

Keywords: *zeolite 4A, CTAC, anion exchange chromatography*

PENDAHULUAN

Zeolit adalah suatu material kristal yang dibentuk dari senyawa SiO_4 dan AlO_4 membentuk struktur terbuka yang berporos dalam dimensi molekular (H. van Bekkum, 1991). Zeolit berasal dari kata *zeinlithos* yang berarti batu yang mendidih. Zeolit alam merupakan senyawa alumino silikat terhidrasi, dengan unsur utama yang terdiri dari kation alkali dan alkali tanah. Senyawa ini berstruktur tiga dimensi dan mempunyai pori yang dapat diisi oleh molekul air. Zeolit alam terbentuk dari reaksi antara batuan tufa asam berbutir halus dan bersifat riolitik dengan air pori atau air meteorik. Zeolit terdapat di beberapa daerah di Indonesia yang diperkirakan mempunyai cadangan zeolit sangat besar dan berpotensi untuk dikembangkan, yaitu Jawa Barat dan Lampung (Texmira, 2010).

Disamping zeolit yang berasal dari alam, ada juga jenis zeolit lainnya yang disebut zeolit sintetis atau zeolit buatan. Zeolit sintetis ini dapat dibuat berdasarkan beberapa proses seperti proses *hidrogel* maupun proses *clay conversion*. Mineral zeolit sintetis yang dibuat tidak dapat persis sama dengan mineral zeolit alam, walaupun zeolit sintetis mempunyai sifat fisik

yang jauh lebih baik. Beberapa ahli menamakan zeolit sintetis sama dengan nama mineral zeolit alam dengan menambahkan kata sintetis di belakangnya, dalam dunia perdagangan muncul nama zeolit sintetis seperti zeolit A, zeolit K-C dan lain lain. Zeolit sintetis terbentuk ketika gel yang ada terkristalisasi pada temperatur kamar sampai dengan 200°C pada tekanan atmosfer ataupun *autogenous* (Saputra, R., 2010)

Zeolit A adalah produk buatan dari kristal aluminosilikat. Ion logam penyeimbang dalam zeolit A biasanya adalah K^+ , Na^+ , dan Ca^{2+} . Ukuran poros dari zeolit tergantung pada diameter dari ion logam penyeimbang. Untuk zeolit 4A, ion logam penyeimbang adalah natrium (poros 4 Å), dengan rumus kimia $\text{Na}_{12}\{(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}\}27\text{H}_2\text{O}$. Zeolit A ini dapat digunakan sebagai pengkonsentrasi alkohol, pengering olifin, bahan gas alam padat, pembersih CO_2 dari udara

Penggunaan zeolit dalam kehidupan manusia telah dikenal dengan luas. Zeolit telah digunakan untuk bahan baku *water treatment*, pembersih limbah cair dan rumah tangga, untuk industri pertanian, peternakan, perikanan, industri kosmetik, industri farmasi, dan lain-lain.

Didalam industri, zeolit digunakan sebagai katalis, pemisahan gas dan penukar ion (Lenntech, 2009). Zeolit mempunyai kemampuan sebagai penukar ion karena kation-kation penyeimbang yang terdapat poros zeolit mudah lepas dan digantikan oleh kation-kation lain dalam media air. Secara umum, Zeolit memiliki melekular struktur yang unik, dimana atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Di beberapa tempat di jaringan ini, atom silikon digantikan dengan atom aluminium, yang hanya terkoordinasi dengan 3 atom oksigen. Atom aluminium ini hanya memiliki muatan 3+, sedangkan silikon sendiri memiliki muatan 4+. Keberadaan atom aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan zeolit memiliki muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan zeolit mampu mengikat kation. Zeolit juga sering disebut sebagai 'molecular sieve' / 'molecular mesh' (saringan molekuler) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan/menyaring molekul dengan ukuran tertentu (Wikipedia, 2010).

Ilmu pemisahan memainkan peranan yang sangat penting dalam aplikasi bidang analitik, terutama dalam penggunaan teknologi baru dan materi-materi yang digunakan (C. Sarzanini, 2005). Sejak ditemukan pada tahun 1975, kromatografi ion telah menjadi metoda analitik yang dominan untuk menentukan anion-anion anorganik dan juga beberapa anion-anion organik (Z. Yan, 2003). Penentuan anion-anion anorganik tidak hanya dilakukan dengan menggunakan kolom penukar anion (M. Amin, 2007; E. Kaiser, 2001) tetapi juga dapat dilakukan dengan menggunakan fasa diam lainnya (Z. Yan, 2003; K. Ito, 2005; L. Rong, 2004; D. Connolly, 2002).

Fasa diam atau *stationery phase* sangat menentukan terjadinya proses pemisahan di dalam kolom kromatografi. Pemilihan

fasa diam yang tepat mempengaruhi hasil pemisahan dari sampel yang akan diteliti. Ketersediaan fasa diam yang murah dan mudah diperoleh juga menentukan biaya uji atau analisa. Dalam penelitian ini, zeolit telah diuji sebagai fasa diam untuk kromatografi ion. Sebagaimana diketahui zeolit bersifat sebagai penukar kation, dalam penelitian ini zeolit diperlakukan atau dimodifikasi sehingga zeolit juga dapat bertindak sebagai penukar anion. Zeolit dimodifikasi dengan CTAC untuk mendapatkan pemisahan dari beberapa anion anorganik seperti iodat, nitrat, iodida dan thiosianat.

METODE PENELITIAN

1. Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan bermutu sangat baik dari Nacalai Tesque (Kyoto, Japan), kecuali dinyatakan lain. Air murni diproses dalam labor menggunakan GS-590 *water distillation system* (Advantec, Tokyo, Japan). Fasa gerak dibuat dengan menggunakan air murni.

2. Alat yang digunakan

Satu alat kromatografi ion yang terdiri dari: pompa PU-980 (Jasco, Tokyo, Japan), MS-GAN 050 *gas-tight syringe* (0.50 ml; Ito, Fuji, Japan), injektor dengan volume injeksi 20 μ l (Rheodyne, Cotati, CA, USA), kolom konvensional 150 \times 4,6 mm i.d., dan detektor UV-1575 (Jasco). Kecepatan alir dijaga konstan pada 0,5 ml/menit. Detektor UV digunakan pada panjang gelombang 220 nm, dan data diolah menggunakan *Computer Aided Chromatography data processor* (Nippon Filcon, Tokyo, Japan).

3. Pembuatan Kolom

Dalam penelitian ini, 2 buah kolom konvensional (150 \times 4,6 mm i.d.) diisi dengan zeolit 4A dengan diameter partikel 3-5 μ m (Waco, Osaka, Japan). Ada 2 tipe zeolit yang dimasukkan ke dalam masing-masing kolom, yaitu; zeolit 4A yang tidak dimodifikasi dan zeolit 4A yang dimodifi

kasi dengan CTAC. Kolom tersebut digunakan pada suhu kamar (25°C).

4. Modifikasi

Timbang 2,5 g zeolit 4A dalam gelas piala, selanjutnya tambahkan 200 ml CTAC 12,5 mM ke dalam gelas piala tersebut. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu kamar selama 24 jam. Zeolit kemudian dipisahkan dari larutan melalui pengendapan menggunakan *centrifuge*, selanjutnya dicuci dengan air destilasi dan dikeringkan pada suhu 105°C.

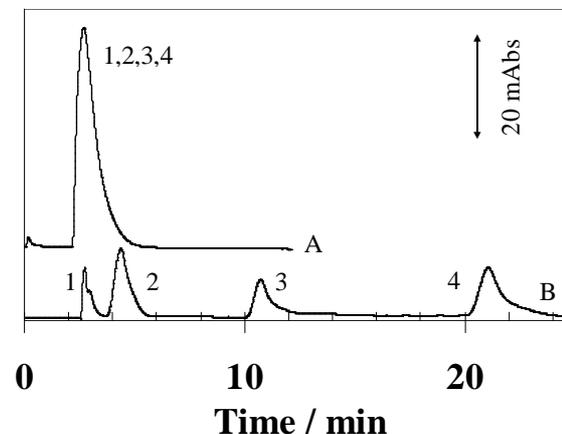
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Efek dari modifikasi zeolit 4A dengan CTAC

Efek dari modifikasi zeolit dengan CTAC telah dipelajari. Kromatogram dari beberapa anion yang dipisahkan dengan menggunakan zeolit 4A yang telah dimodifikasi dan yang tidak dimodifikasi untuk melihat efek penambahan CTAC ditunjukkan dalam gambar 1. Untuk ini, beberapa anion yang menyerap UV seperti iodat, nitrat, iodida dan thiosianat telah digunakan sebagai sampel dan natrium sulfat digunakan sebagai fasa gerak. Dapat dilihat pada kromatogram A hanya muncul satu puncak yang besar dari anion-anion yang diinjeksikan ke dalam kolom, hal ini menunjukkan bahwa semua anion tidak terpisah karena tidak terjadi retensi dalam kolom pada penggunaan zeolit yang tidak dimodifikasi dengan CTAC sehingga semua anion tersebut akan keluar dari dalam kolom secara bersamaan. Hal ini sesuai dengan sifat dari zeolit atau zeolit 4A yang bertindak sebagai penukar kation, sehingga anion-anion yang diinjeksikan tidak ditahan atau dipertukarkan di dalam kolom.

Sebaliknya, pada kromatogram B terlihat beberapa puncak yang muncul, masing-masing puncak menunjukkan masing-masing anion yang diinjeksikan ke dalam kolom zeolit 4A yang dimodifikasi. Berarti anion-anion tersebut dapat dipisahkan karena terjadi retensi dalam

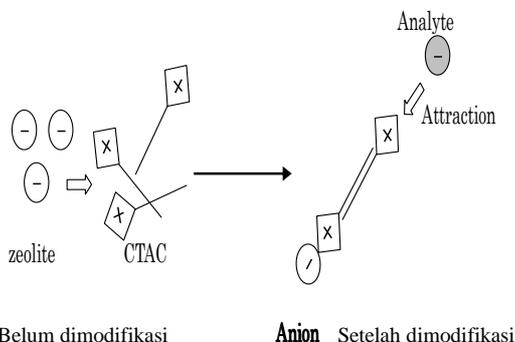
kolom pada zeolit 4A yang dimodifikasi dengan CTAC. Hal ini menunjukkan bahwa zeolit 4A yang telah dimodifikasi tersebut telah bertindak sebagai penukar anion.



Gambar 1. Efek modifikasi zeolit 4A dengan CTAC. Kolom, 150 × 4,6 mm i.d., zeolit 4A tidak dimodifikasi (A) dan dimodifikasi dengan CTAC (B); fasa gerak, 100 mM natrium sulfat untuk zeolit 4A tidak dimodifikasi dan 100 mM natrium sulfat mengandung 2,5 mM CTAC zeolit 4A yang dimodifikasi; kecepatan alir 0,5 mL/menit; panjang gelombang dari detektor UV, 220 nm; analit, iodat (1), nitrat, (2), iodida (3) and thiosianat (4) masing-masing 0,1 mM; volume injeksi 20 µL.

Gambar 1 menunjukkan proses modifikasi zeolit dengan CTAC untuk membentuk tempat penukaran anion. Terlihat bahwa zeolit yang bermuatan negatif akan bereaksi dengan CTAC yang bermuatan positif. Diharapkan bahwa CTAC terikat pada permukaan zeolit melalui proses daya tarik masing-masing muatan dan lapisan kedua dari CTAC terbentuk melalui proses interaksi hidrofobik. Lapisan kedua ini akan memberikan muatan positif dalam zeolit 4A yang telah dimodifikasi tersebut. Dengan muatan positifnya ini, maka lapisan kedua tersebut akan bertindak sebagai tempat penukar anion. Hal ini

dapat dilihat dari hasil pada gambar 1 bahwa anion-anion ditahan dalam kolom dengan daya yang berbeda tergantung anionnya jika zeolit 4A tersebut dimodifikasi dengan CTAC.

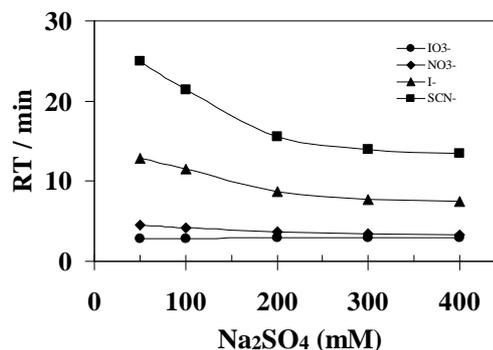


Gambar 2. Ilustrasi dari modifikasi zeolit dengan CTAC.

2. Efek dari konsentrasi fasa gerak terhadap sifat retensi dari anion-anion anorganik

Gambar 3 menunjukkan sifat retensi dari iodat, nitrat, iodida dan thiosianat pada kolom zeolit 4A yang telah dimodifikasi dengan 2,5 mM CTAC. Natrium sulfat digunakan sebagai fasa gerak dengan variasi konsentrasi 50 mM sampai 400 mM. Pada gambar 3 tersebut dapat dilihat bahwa waktu retensi dari anion menurun dengan meningkatnya konsentrasi natrium sulfat sebagai fasa gerak. Saat konsentrasi natrium sulfat 200, 300 dan 400 mM, terlihat bahwa waktu retensi iodat dan nitrat berhimpitan satu dengan yang lain. Hal ini berarti bahwa iodat dan nitrat tidak dapat dipisahkan pada konsentrasi fasa gerak tersebut. Saat konsentrasi natrium sulfat 50 dan 100 mM, keempat analit menunjukkan waktu retensi yang berbeda-beda antara satu dengan yang lainnya, hal ini berarti bahwa keempat analit tersebut dapat dipisahkan. Konsentrasi fasa gerak 100 mM memberikan pemisahan yang optimal untuk anion-anion ini berdasarkan waktu retensinya, dimana keempat analit telah terpisah secara sempurna dalam waktu 22 menit. Semakin cepat waktu retensi yang dibutuhkan untuk pemisahan

sempurna analit, semakin bagus kinerja dari kolom tersebut.



Gambar 3. Efek dari konsentrasi fasa gerak terhadap waktu retensi. Fasa gerak, 100 mM natrium sulfat mengandung 2,5 mM CTAC; kecepatan alir, 0,5 mL/menit; panjang gelombang detektor UV, 220 nm; analit iodat, nitrat, iodida dan thiosianat masing-masing 0,003 mM; volume injeksi, 20 µL.

Waktu retensi dari anion menurun dengan meningkatnya konsentrasi ion sulfat. Hal ini tampak sangat nyata pada analit dari ion thiosianat. Ion sulfat adalah anion atau negatif ion, sehingga ion sulfat tersebut berkompetisi dengan anion-anion analit untuk berikatan dengan muatan positif dari zeolit 4A yang telah dimodifikasi. Saat konsentrasi sulfat tinggi dalam larutan, anion-anion analit tidak dapat berinteraksi secara sempurna dengan zeolit 4A yang telah dimodifikasi karena sebagian besar tempat pertukaran ion dalam zeolit telah diisi oleh ion sulfat, disamping itu dengan tingginya konsentrasi ion sulfat dalam fasa gerak akan mengakibatkan ion-ion analit yang telah berada dalam tempat pertukaran ion pada zeolit akan lang tergantikan oleh ion sulfat dan akan segera dibawa keluar dari dalam kolom. Hal inilah yang menyebabkan dengan semakin tingginya konsentrasi natrium sulfat sebagai fasa gerak akan menurunkan waktu retensi dari anion-anion analit

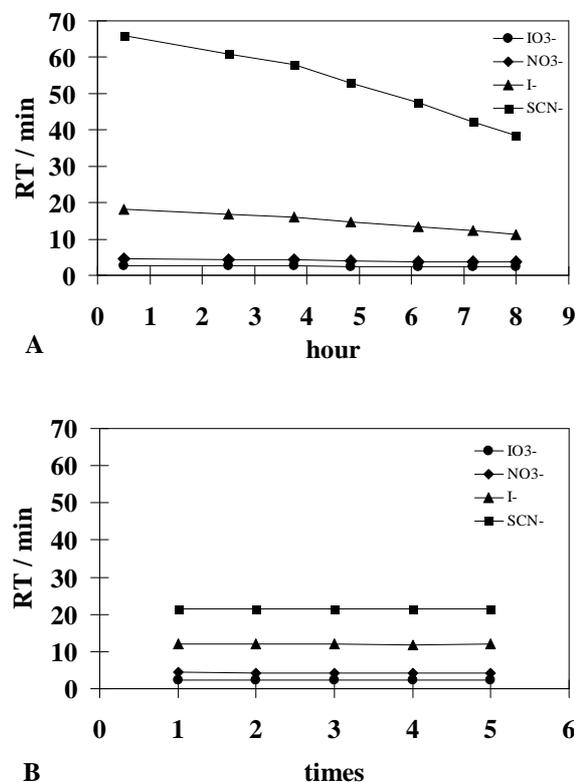
3. Stabilitas dari kolom zeolit dengan dan tanpa CTAC dalam fasa gerak

Gambar 4 menunjukkan variasi waktu retensi dari anion-anion selama pengoperasian. Dalam gambar 4 A, kolom yang berisi fasa diam zeolit 4A yang sebelumnya telah dimodifikasi dengan menggunakan CTAC telah digunakan selama 8 jam secara kontinu untuk mempelajari stabilitas dari kolom menggunakan fasa gerak natrium sulfat tanpa penambahan CTAC ke dalam fasa gerak tersebut. Dapat dilihat dari gambar tersebut bahwa waktu retensi untuk analit anion semuanya menurun selama 8 jam proses pengoperasian.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa CTAC sangat berpengaruh terhadap retensi dari analit anion, maka dapat dijelaskan bahwa penurunan waktu retensi disebabkan oleh penurunan jumlah CTAC dalam kolom zeolit 4A yang sebelumnya telah dimodifikasi tersebut. Sehingga jika tidak ada penambahan CTAC selama sistem pemisahan berlangsung, maka jumlah CTAC yang terdapat di dalam kolom akan berkurang selama eksperimen berlangsung. Penurunan jumlah CTAC dalam zeolit 4A yang telah dimodifikasi disebabkan antara lain oleh proses modifikasi yang dilakukan baru terjadi secara fisika. Ikatan yang terbentuk antara zeolit 4A dengan CTAC dan antara CTAC dengan CTAC lapisan kedua tidak kuat sehingga mudah terlepasnya CTAC dari ikatan tersebut selama proses pemisahan. Untuk mengatasi hal ini maka diperlukan beberapa cara, seperti mempelajari proses modifikasi zeolit 4A dengan CTAC secara kimia sehingga kualitas zeolit 4A yang telah dimodifikasi tersebut tidak berubah.

Untuk memastikan bahwa jumlah CTAC dalam kolom sangat berpengaruh terhadap kestabilan waktu retensi maka dilakukan percobaan dengan menambahkan sejumlah CTAC ke dalam fasa gerak. Hasil dari percobaan ini dapat dilihat pada gambar 4 B. Gambar 4 B menunjukkan stabilitas dari kolom zeolit 4A yang telah dimodifikasi sebelumnya dengan CTAC dan di

lakukan pemisahan anion-anion dengan menggunakan 100 mM natrium sulfat sebagai fasa gerak disertai penambahan 2,5 mM CTAC ke dalam fasa gerak tersebut.

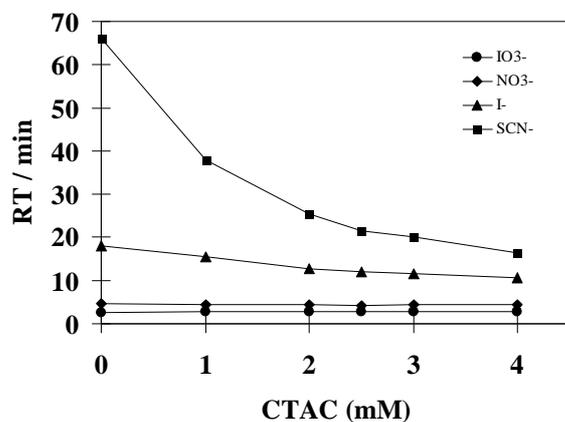


Gambar 4. Stabilitas dari kolom zeolit 4A yang dimodifikasi; (A) Fasa gerak, 100 mM natrium sulfat tanpa CTAC dan (B) Fasa gerak, 100 mM natrium sulfat mengandung 2,5 mM CTAC; kecepatan alir, 0,5 mL/menit; panjang gelombang detektor UV, 220 nm; analit iodat, nitrat, iodida dan thiosianat masing-masing 0,003 mM; volume injeksi, 20 μ L.

Melalui penambahan CTAC ke dalam fasa gerak, jumlah CTAC di dalam kolom secara dinamis stabil dalam mempertahankan modifikasi zeolit 4A selama proses pemisahan. CTAC yang terlepas dari zeolit 4A akan selalu tergantikan oleh CTAC baru yang berasal dari fasa gerak. Hal ini akan menyebabkan retensi dari analit anion akan stabil selama eksperimen tersebut. Namun tentu saja hal ini akan

mengakibatkan pemborosan dalam segi biaya, karena dibutuhkan sangat banyak CTAC untuk mempertahankan kestabilan kolom zeolit 4A modifikasi tersebut.

4. Efek dari konsentrasi CTAC terhadap sifat retensi dari anion-anion anorganik untuk zeolit 4A



Gambar 5. Efek dari konsentrasi CTAC dalam fasa gerak terhadap waktu retensi dari analit anion. Fasa gerak, 100 mM natrium sulfat mengandung variasi konsentrasi CTAC dalam mM; kecepatan alir, 0,5 mL/menit; panjang gelombang detektor UV, 220 nm; analit iodat, nitrat, iodida dan thiosianat masing-masing 0,003 mM; volume injeksi, 20 μ L.

Sebagaimana yang ditunjukkan dalam Gambar 4, bahwa waktu retensi dari anion-anion menurun selama pemisahan saat CTAC tidak terdapat dalam fasa gerak walaupun menggunakan kolom dari zeolit 4A yang telah dimodifikasi terlebih dahulu dengan CTAC. Hal ini disebabkan oleh CTAC dielusi keluar dari dalam kolom. Masalah ini dapat diatasi dengan menambahkan CTAC ke dalam fasa gerak.

Namun keberadaan CTAC dalam fasa gerak harus diperhitungkan dengan baik, sehingga akan diperoleh berapa konsentrasi CTAC yang optimum untuk digunakan dalam fasa gerak tersebut. Gambar 5 menunjukkan efek dari

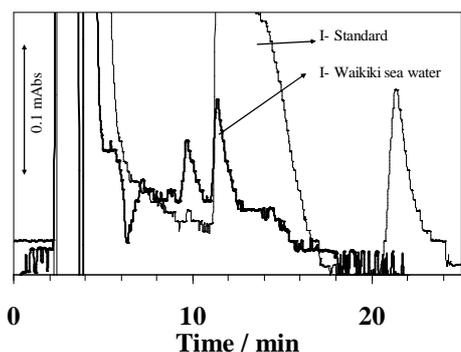
konsentrasi CTAC dalam fasa gerak terhadap waktu retensi dari analit anion. Dapat dilihat bahwa CTAC dan natrium sulfat memberikan efek yang sama terhadap analit anion, dimana waktu retensi dari anion-anion menurun dengan meningkatnya konsentrasi CTAC, hal ini sangat nyata terlihat pada analit ion thiosianat.

Sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2, satu muatan negatif dari zeolit 4A akan bereaksi dengan 2 CTAC yang bermuatan positif. Jika ada banyak CTAC dalam fasa gerak atau larutan, maka akan ada beberapa CTAC yang tidak bereaksi dengan zeolit 4A atau dengan kata lain ada kelebihan CTAC dengan muatan positif dalam kolom. Berdasarkan penurunan waktu retensi dari analit anion, dapat diasumsikan bahwa anion-anion memberikan afinitas yang lebih besar terhadap CTAC bebas daripada zeolit 4A yang telah dimodifikasi, dan interaksi CTAC-anion ini mencegah analit anion tersebut untuk berinteraksi dengan zeolit 4A modifikasi. Untuk melihat pengaruh konsentrasi CTAC dalam fasa gerak terhadap waktu retensi anion-anion dilakukan variasi konsentrasi dari CTAC yang ditambahkan, yaitu 0,0; 1,0; 2,0; 2,5; 3,0 dan 4,0 mM.

Pada gambar 5 dapat terlihat, bahwa pada konsentrasi CTAC yang sedikit, yaitu 0,0; 1,0 dan 2,0 mM memberikan hasil pemisahan yang bagus untuk anion-anion tersebut, namun terdapat kelemahan pada efisiensi waktu retensi. Pada penambahan 3,0 dan 4,0 mM CTAC, dapat dilihat bahwa anion iodat dan nitrat memberikan waktu retensi yang saling berhimpitan satu dengan yang lain, sehingga tidak dapat dipisahkan dengan sempurna. Penggunaan 2,5 mM CTAC dalam fasa gerak natrium sulfat memberikan hasil yang optimum terhadap resolusi dan waktu retensi. Sehingga natrium sulfat yang mengandung 2,5 mM CTAC merupakan komposisi fasa gerak yang paling baik untuk pemisahan analit anion tersebut.

5. Aplikasi dalam sampel alam

Metoda ini telah dicobakan untuk penentuan kandungan iodida dalam sampel air laut. Seperti diketahui air laut membebankan matriks yang sangat besar dalam penentuan kandungan ion-ionnya sehingga biasanya diperlukan perlakuan khusus untuk meminimalkan matriks tersebut sehingga bisa dilakukan analisa.



Gambar 6. Pemisahan iodida dalam sampel air laut. Sampel 20 μ L air laut. Fasa gerak, 100 mM natrium sulfat mengandung 2,5 mM CTAC; kecepatan alir, 0,5 mL/menit; panjang gelombang detektor UV, 220 nm. Standar analit iodida 0,003 mM

Gambar 6 menunjukkan pemisahan dari beberapa anion dalam larutan standar dan iodida yang terdapat dalam air laut menggunakan kolom zeolit 4A yang telah dimodifikasi dengan CTAC. Dapat dilihat bahwa metoda ini dapat digunakan untuk penentuan iodida dalam air laut. Anion iodida dapat diidentifikasi berdasarkan pada waktu retensinya. Kadar iodida dalam sampel air laut tersebut adalah 50 ng/mL yang dihitung menggunakan kurva kalibrasi standar. Kadar iodida dalam air laut tersebut lebih rendah daripada *determination limit* tetapi lebih tinggi daripada *detection limit* dengan kondisi operasi seperti pada gambar 6, *the limit of detection* adalah 21 ng/mL ($S/N = 3$). Standar deviasi relatif untuk 5 kali pengukuran adalah 0,61; 3,8 dan 4,3% untuk waktu retensi, luas puncak dan tinggi puncak dari iodida berturut-turut. Daerah

linear untuk penentuan iodida adalah $127\text{ng/mL} - 1,27\ \mu\text{g/mL}$ ($R^2 = 0.9990$).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan potensi dari zeolit 4A sebagai fasa diam dalam kromatografi penukar anion. Zeolit 4A dapat digunakan sebagai penukar anion jika telah dimodifikasi terlebih dahulu dengan CTAC dan kolom zeolit 4A modifikasi tersebut stabil jika sejumlah CTAC juga terdapat dalam fasa gerak. Metoda ini juga telah sukses digunakan untuk penentuan kadar iodida dalam air laut. Penelitian selanjutnya akan dicoba memodifikasi zeolit 4A secara kimia sehingga stabilitas dari kolom zeolit tersebut dapat bertahan lebih lama tanpa penambahan CTAC ke dalam fasa gerak. Sensitivitas dari metoda ini juga perlu ditingkatkan dengan penggunaan kolom pemekatan (*enrichment column*) bagi analit anion.

DAFTAR PUSTAKA

- C. Sarzanini, M. C. Bruzzoniti. (2005). **New materials: analytical and environmental applications in ion chromatography**, Analytica Chimica Acta, Volume 540, Page 45-53.
- D. Connolly, B. Paull. (2002). **Fast ion chromatography of common inorganic anions on a short ODS column permanently coated with didodecyldimethylammonium bromide**. Journal of Chromatography A, Volume 953, Page 299-303.
- E. Kaiser, J. S. Rohrer, D. Jensen. (2001). **Determination of trace anions in high-nitrate matrices by ion chromatography**, Journal of Chromatography A, Volume 920, Page 127-133.
- H. van Bekkum, E.M. Flanigen, J.C. Jansen. (1991). **Introduction to Zeolite Science and Practice**, B. Delmon, J.T. Yates (Eds.), Stud. Surf. Sci. Catal., Vol. 58, Elsevier, Amsterdam.

- K. Ito, Y. Takayama, N. Makabe, R. Mitsui, T. Hirokawa. (2005). **Ion chromatography for determination of nitrite and nitrate in seawater using monolithic ODS columns**, Journal of Chromatography A, Volume 1083, Page 63-67.
- Lenntech. (2009). **Water treatment & air purification**. Holding B.V.(www.lenntech.com, diakses 21 Januari 2009).
- L. Rong, T. Takeuchi, (2004). **Determination of iodida in seawater and edible salt by microcolumn liquid chromatography with poly(ethylene glycol) stationary phase**. Journal of Chromatography A, Volume 1042, Page 131-135.
- M. Amin, L. W. Lim, T. Takeuchi. (2007). **Tunable separation of anions and cations by column switching in ion chromatography**, Talanta, Volume 71, Page 1470-1475.
- Saputra, R. (2010) **Pemanfaatan zeolit sintesis sebagai alternatif pengolahan limbah industri**. (<http://warmada.staff.ugm.ac.id/Articles/rodhie-zeolit.pdf>, diakses 1 September 2010)
- Texmira. (2010). **Zeolit** . (<http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Zeolit/ulasan.asp?xdir=Zeolit&commId=33&comm=Zeolit>, diakses 1 September 2010).
- Wikipedia. (2010). **Zeolit**. (<http://id.wikipedia.org/wiki/Zeolit>, diakses 1 September 2010).
- Z. Yan, P. R. Haddad, J. S. Fritz. (2003). **Ion chromatography on reversed phase materials coated with mixed cationic and nonionic surfactants**, Journal of Chromatography A, Volume 985, Page 359-365.