

PENGARUH KOMPOSISI BERAT KITOSAN-ZEOLIT TERHADAP STABILITAS FISIKO-KIMIA KOMPOSIT YANG DIHASILKAN

Muhardi^{1*}, Nurlina¹, Anis Shofiyan¹

¹Progam Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura,
Jln. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi 78124, Pontianak

*email: muhardiadi7@gmail.com

ABSTRAK

Kitosan merupakan adsorben yang mempunyai kemampuan tinggi namun stabilitasnya rendah terutama dalam media asam. Zeolit merupakan adsorben yang berpori dan memiliki kekuatan mekanik yang baik. Pada penelitian ini dibuat komposit kitosan-zeolit untuk meningkatkan stabilitas adsorben terhadap asam dan terhadap temperatur. Komposit dibuat dalam bentuk beads dan pelet dengan variasi massa kitosan : zeolit 0,5:0,3; 0,5:0,5; 0,5:0,7 dan 0,5:1,0 kemudian diikat silang menggunakan glutaraldehyd. Uji stabilitas komposit dalam media asam dilakukan dengan melarutkan komposit ke dalam larutan asam asetat dengan variasi konsentrasi 1%, 2,5% dan 5%. Uji stabilitas termal dilakukan dengan menggunakan analisis DTA/TGA pada suhu 30-500 °C. Spektra FT-IR menunjukkan bahwa komposit dengan variasi massa 0,5:1,0 (bentuk beads) dan variasi massa 0,5:0,3 (bentuk pelet) mempunyai stabilitas paling tinggi dalam media asam. Spektrum FT-IR menunjukkan terbentuknya ikatan antara kitosan dan zeolit muncul pada bilangan gelombang 1024,16 cm⁻¹ (Si-O dan Al-O). Uji stabilitas termal komposit bentuk pelet dan pelet terikat silang menunjukkan kehilangan massa komposit sebesar 0,65 mg dan 0,78 mg sedangkan dalam bentuk beads dan beads terikat silang kehilangan massa sebesar 3,66 mg dan 5,54 mg. Hasil ini menunjukkan bahwa komposit dalam bentuk pelet dan pelet terikat silang memiliki stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan bentuk beads dan beads terikat silang.

Kata Kunci : beads, komposit kitosan-zeolit, pelet, stabilitas

PENDAHULUAN

Kitosan merupakan biopolimer polikationik yang mempunyai kemampuan mengikat beberapa logam dan merupakan polimer poliamina berbentuk linier (Cahyaningrum dkk., 2008). Kitosan mengandung gugus amina bebas yang memberikan karakteristik sebagai penukar ion dan pembentukan ion kompleks. Keberadaan gugus amina tersebut menyebabkan kitosan mudah larut dalam media asam. Kitosan dapat dibuat komposit dengan material anorganik untuk meningkatkan ketahanan fisiknya yang mudah larut atau membentuk gel pada suasana asam. Komposit kitosan dengan material anorganik diharapkan dapat bekerja dengan baik pada suasana asam dan mempunyai stabilitas yang tinggi. Komposit kitosan dengan bahan anorganik berpori berpotensi memberikan keuntungan dalam mekanisme adsorpsi.

Proses adsorpsi dapat terjadi dengan melibatkan gugus fungsi atau melibatkan pori atau keduanya menjadi sama-sama berperan dalam mekanisme adsorpsi.

Berbagai modifikasi kimia telah dilakukan untuk menghasilkan turunan kitosan ataupun komposit kitosan yang diharapkan dapat memperbaiki ketahanan, stabilitas dan kemampuan kitosan sebagai adsorben. Cahyaningrum dkk. (2008), membuktikan dalam proses modifikasi kitosan-silika dalam bentuk *beads*, kitosan yang sudah dimodifikasi dengan silika memiliki ketahanan terhadap asam lebih baik dibandingkan dengan sebelum dimodifikasi. Pada penelitian ini, kitosan akan dikompositkan dengan zeolit. Zeolit merupakan suatu mineral berupa kristal silika yang terdiri dari tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina silikat dan air serta memiliki sifat

tahan terhadap suhu tinggi dan stabilitas tinggi (Hamdan, 1992).

Stabilitas adsorben komposit kitosan-zeolit (*beads* dan pelet) dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah komposisi masing-masing penyusunnya. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi berat kitosan-zeolit untuk menghasilkan komposit berbentuk *beads* dan pelet. Komposit yang dihasilkan diikat silang menggunakan glutaraldehyd dalam upaya untuk meningkatkan stabilitasnya. Komposisi kitosan-zeolit *beads* dan pelet yang dipilih akan diuji stabilitasnya secara kimia dalam pelarut asam dan stabilitas fisik terhadap perubahan suhu (stabilitas termal). Karakterisasi dengan spektrofotometri FT-IR untuk melihat perubahan gugus fungsional yang terjadi pada proses pembuatan komposit.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, botol semprot, timbangan analitik, oven, indikator universal, kertas saring, spatula, pemanas, termometer, magnetik stirer, spektrofotometer FT-IR Shimadzu, *syringe* 3 mL, alat *Differential Thermal Analysis* (DTA) STA PT1000.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah akuades (H_2O), asam asetat (CH_3COOH), asam klorida (HCl), etanol (C_2H_5OH), glutaraldehyd ($C_5H_8O_2$), kitosan derajat deasetilasi >80%, zeolit alam, padatan natrium hidroksida (NaOH), polovinil alkohol (C_2H_4O), dan zeolit alam.

Prosedur Penelitian

Proses preparasi dan aktivasi zeolit

Proses preparasi dan aktivasi zeolit merujuk pada penelitian Utami dkk. (2012). Zeolit alam dihancurkan dengan penggerus mortar dan diayak dengan menggunakan ayakan ukuran 120 *mesh*. Zeolit dicuci dengan akuades dengan perbandingan (100 g zeolit dalam 300 ml akuades), kemudian diaduk. Zeolit yang telah diaduk selanjutnya diendapkan selama 1 jam pada suhu 70 °C, lalu dibiarkan semalaman pada suhu ruang. Endapan dicuci dua kali dengan akuades. Endapan yang terbentuk dikeringkan pada suhu 110 °C. Zeolit yang

sudah dikeringkan dicampurkan dengan HCl 0,05 M. Campuran tersebut diaduk selama 1 jam pada suhu 70 °C dan dibiarkan semalaman pada suhu ruang, lalu dicuci hingga pH pencuci konstan. Endapan selanjutnya dikeringkan pada suhu 110 °C.

Pembuatan komposit kitosan-zeolit bentuk *beads*

Pembuatan komposit kitosan-zeolit bentuk *beads* merujuk pada penelitian Indrawati dan Cahyaningrum (2013). Komposit kitosan-zeolit bentuk *beads* dibuat dengan melarutkan kitosan sebanyak 0,5 gram dalam 25 mL larutan asam asetat 2,5%, sambil diaduk dengan menggunakan magnetik stirer sehingga terbentuk larutan kitosan yang berwarna kuning jernih. Kemudian ditambahkan zeolit alam yang sudah diaktivasi dengan perbandingan komposisi (b/b) yaitu 0,5:0,3; 0,5:0,5; 0,5:0,7 dan 0,5:1,0. Campuran kitosan-zeolit diaduk hingga homogen dan dibiarkan selama 20 jam. Pembentukan *beads* dilakukan dengan meneteskan campuran kitosan-zeolit ke dalam larutan NaOH yang mengandung etanol menggunakan *syringe* 3 mL. *Beads* yang terbentuk disaring dan dinetralkan sampai pH konstan kemudian dikeringkan pada suhu kamar selama 24 jam. Setelah kering, *beads* direndam dalam glutaraldehyd 5% (v/v) selama 24 jam dengan perbandingan 1:1,5 (b/v). *Beads* yang telah terikat silang dengan glutaraldehyd disaring kemudian dinetralkan dengan akuades sampai pH konstan dan disimpan di dalam botol hingga dikarakterisasi dan digunakan. Karakterisasi terhadap material *beads* kitosan-zeolit yang diperoleh dilakukan dengan FT-IR.

Pembuatan komposit kitosan-zeolit bentuk pelet

Pembuatan komposit kitosan-zeolit bentuk pelet merujuk pada penelitian Wahono dkk. (2010). Kitosan-zeolit bentuk pelet dibuat dengan mencampurkan kitosan dan zeolit alam dengan perbandingan komposisi (b/b) yaitu 0,5:0,3; 0,5:0,5; 0,5:0,7 dan 0,5:1,0. Setelah itu ditambahkan PVA secukupnya sampai keduanya bercampur, lalu dibentuk menjadi pelet. Adsorben yang dihasilkan dikeringkan pada suhu kamar. Setelah

kering, pelet direndam dalam glutaraldehid 5% (v/v) selama 24 jam dengan perbandingan 1:1,5 (b/v). Pelet yang telah terikat silang dengan glutaraldehid disaring kemudian dinetralkan sampai pH konstan dengan akuades dan disimpan di dalam botol hingga dikarakterisasi dan digunakan. Karakterisasi terhadap material *beads* kitosan-zeolit yang diperoleh dilakukan dengan FT-IR.

Uji stabilitas komposit kitosan-zeolit *beads* dan pelet

Uji stabilitas komposit kitosan-zeolit *beads* dan pelet merujuk pada penelitian Zaharah dkk. (2015). Sebanyak 0,05 gram kitosan-zeolit *beads* dan pelet 0,5:0,3; 0,5:0,5; 0,5:0,7 dan 0,5:1,0 dicampurkan dengan larutan asam asetat 1%, 2,5%, dan 5%, lalu diaduk pada kecepatan pengadukan 33-35 rpm selama 1 jam. Campuran disaring dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 2 jam. Persen stabilitas ditentukan dari perbedaan berat akhir (W_f) dengan berat awal (W_s) yang ditimbang dengan persamaan:

$$\% \text{ Stabilitas} = \frac{W_f}{W_s} \times 100\%$$

Stabilitas termal atau stabilitas komposit kitosan-zeolit pada perubahan temperatur dilakukan secara *differential thermal analysis-thermogravimetric analysis* (DTA/TGA). Variasi temperatur dilakukan pada 30-500 °C dengan pembacaan setiap 20 °C. Berdasarkan grafik DTA/TGA, ditentukan temperatur dimana komposit mulai mengalami dekomposisi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi Kitosan-Zeolit

Zeolit alam yang digunakan pada penelitian ini diaktivasi terlebih dahulu secara fisika dan kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan cara mencuci zeolit alam menggunakan akuades. Pencucian ini dilakukan untuk membersihkan zeolit dari pengotor-pengotor zeolit seperti tanah atau pengotor lain yang bersifat polar sehingga dapat larut dalam air. Pencucian dengan akuades dilakukan sebanyak tiga kali dengan tujuan untuk mengoptimalkan proses pencucian pada zeolit alam. Aktivasi secara kimia dilakukan dengan

cara mencampurkan zeolit dengan larutan HCl. Aktivasi dengan asam dilakukan dengan tujuan melarutkan pengotor yang larut dalam asam seperti senyawa oksida logam alkali dan alkali tanah.

Proses pembuatan kitosan termodifikasi diawali melarutkan kitosan ke dalam asam asetat hingga terbentuk gel kitosan. Pelarutan kitosan terlebih dahulu bertujuan untuk menata ulang susunan polimer kitosan namun tidak mengubah gugus fungsionalnya (Zaharah dkk., 2015). Larutan kitosan yang terbentuk kental berwarna kuning pucat. Proses pembuatan komposit *beads* dengan memodifikasi kitosan dengan zeolit alam dilakukan pada berbagai perbandingan komposisi (b/b) 0,5:0,3; 0,5:0,5; 0,5:0,7 dan 0,5:1,0 dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan massa kitosan seiring dengan bertambahnya massa zeolit dan ketahanan dari komposit kitosan-zeolit melalui uji stabilitas terhadap pH dan temperatur. Larutan kitosan-zeolit dicampur sampai homogen. Campuran kitosan-zeolit yang telah homogen selanjutnya dibentuk menjadi *beads* dalam larutan NaOH yang mengandung etanol dengan menggunakan *syringe*. Penggunaan larutan NaOH bertujuan untuk mengeraskan *beads* kitosan-zeolit sehingga terjadi repolimerisasi kitosan, serta dengan adanya etanol akan membantu menurunkan tegangan permukaan sehingga bentuk *beads* yang terkoagulasi dalam NaOH bisa bulat sferis (tidak berekor). Ukuran *beads* kitosan-zeolit diusahakan dalam ukuran kecil karena semakin kecil ukuran maka semakin besar luas permukaannya.

Kitosan-zeolit *beads* yang terbentuk direndam selama 24 jam untuk proses pengerasan. Selanjutnya dicuci dengan menggunakan aqua d.m hingga netral kemudian dikeringkan dalam suhu kamar selama 24 jam. Setelah kering *beads* kitosan-zeolit direndam dalam glutaraldehid. Penambahan glutaraldehid bertujuan untuk mengikat silang kitosan. Hal ini disebabkan karena ikatan yang terdapat pada kitosan bersifat sangat lemah sehingga perlu penambahan bahan-bahan organik seperti glutaraldehid (Coradin dkk., 2006). Selanjutnya *beads* kitosan-zeolit dicuci kembali dengan aqua d.m hingga netral dan dioven untuk

menghilangkan sisa air yang masih terkandung di dalamnya. Suhu yang

Modifikasi kedua adalah mengubah komposit kitosan-zeolit dalam bentuk pelet. Proses pembuatan komposit pelet dengan memodifikasi kitosan dengan zeolit alam merupakan salah satu cara supaya stabilitas fisiko-kimia komposit yang dihasilkan meningkat. Langkah selanjutnya kedua material tersebut diaduk dengan tujuan untuk mengontakkan kedua adsorben lalu ditambahkan dengan PVA secukupnya sampai keduanya bercampur, kemudian dibentuk menjadi pelet. Penambahan PVA disini bertujuan untuk merekatkan antar kedua material sehingga dapat mempermudah pada saat proses pencetakan menjadi pelet. Kemudian pelet dicetak dengan menggunakan pipet, dibuat dalam ukuran kecil dengan tujuan untuk meningkatkan luas permukaannya. Setelah kering pelet kitosan-zeolit direndam dalam glutaraldehid. Selanjutnya pelet kitosan-zeolit dicuci dengan aqua d.m hingga netral dan dioven untuk menghilangkan unsur air yang masih terkandung di dalamnya. Suhu yang rendah digunakan untuk mencegah rusaknya pelet yang telah dibuat.

Stabilitas Komposit Kitosan-Zeolit dalam Pelarut Asam Asetat

Kestabilan adsorben kitosan-zeolit bentuk *beads* dan pelet tidak terikat silang larut sepenuhnya ke dalam asam asetat.

rendah digunakan untuk mencegah rusaknya *beads* yang telah dibuat.

Hal ini dikarenakan ikatan dari kedua adsorben bersifat sangat lemah. Sedangkan kestabilan adsorben kitosan-zeolit bentuk *beads* dan pelet terikat silang terhadap asam asetat lebih stabil. Hal ini dikarenakan adanya proses ikat silang dari penambahan glutaraldehid yang membuat ikatan kedua adsorben menjadi lebih kuat. Berdasarkan Tabel 1, pada konsentrasi larutan asam asetat 2,5% kestabilan komposit *beads* terikat silang pada komposisi 0,5:0,5 (kitosan-zeolit) berbeda dengan komposit *beads* terikat silang pada komposisi 0,5:1,0 (kitosan-zeolit). Hal ini disebabkan penambahan komposisi zeolit yang lebih maka membuat komposit kitosan-zeolit menjadi tidak mudah larut dalam larutan asam asetat sehingga adsorben tidak mudah hancur (Indrawati dan Cahyaningrum, 2013). Kestabilan adsorben kitosan-zeolit bentuk *beads* terikat silang relatif stabil pada variasi komposisi 0,5:1,0 dengan persentase kestabilan rata-rata di atas 96% sedangkan kestabilan adsorben kitosan-zeolit bentuk pelet terikat silang relatif stabil pada variasi komposisi 0,5:0,3 dengan persentase kestabilan rata-rata di atas 97%. Selanjutnya dianalisis menggunakan DTA/TGA untuk melihat pengaruh temperatur terhadap material tersebut.

Tabel 1. Hasil Uji Stabilitas *Beads* dan Pelet terikat silang terhadap Asam Asetat

Konsentrasi asam asetat (% v/v)	% komposit kitosan-zeolit tidak terlarut							
	0,5 : 0,3		0,5 : 0,5		0,5 : 0,7		0,5 : 1,0	
	<i>beads</i>	pelet	<i>beads</i>	pelet	<i>beads</i>	pelet	<i>Beads</i>	pelet
1%	90,67	98,43	86,30	95,71	89,68	98,37	96,81	97,07
2,5%	92,74	97,33	90,47	92,30	95,61	93,03	97,47	95,44
5%	95,80	97,38	91,10	98,04	96,61	97,43	96,69	97,46

Tabel 2. Hasil Analisis DTA-TGA Komposit Kitosan-Zeolit

Bentuk Komposit Kitosan-Zeolit	Puncak pertama endotermik (°C)	Puncak kedua endotermik (°C)	Penurunan berat signifikan (°C)	Massa yang hilang
<i>Beads</i>	123 °C	328 °C	342-404 °C	3,66 mg
<i>Beads</i> terikat silang	106 °C	325 °C	355-478 °C	5,53 mg
Pelet	63 °C	341 °C	366-480 °C	0,65 mg
Pelet terikat silang	73 °C	359 °C	417-495 °C	0,78 mg

Stabilitas Termal Komposit Kitosan-Zeolit Beads dan Pelet

Berdasarkan Tabel 2, puncak endotermik pertama dan kedua dari komposit menyatakan perubahan yang berhubungan dengan penghilangan molekul air dan oksidasi senyawa organik. Menurut Kasmaydi dkk. (2007) indikasi terjadinya pelepasan air secara fisik dan oksidasi senyawa organik dapat diamati pada kurva TGA (*Thermogravimetric Analysis*).

Tabel 3 menunjukkan penurunan berat yang terus meningkat. Persentase penurunan berat meningkat pada *beads* terlihat pada komposit *beads* (kitosan-zeolit), komposit *beads* (kitosan-zeolit) terikat silang, komposit pelet (kitosan-zeolit) dan komposit pelet (kitosan-zeolit) terikat silang berturut-turut adalah 342 – 404 °C, 355 – 478 °C, 366 – 480 °C, dan 417 – 495 °C. Kehilangan berat sampel sebagai akibat perlakuan pemanasan dikarenakan terlepasnya air serta senyawa-senyawa organik pada sampel, dimana sampel *beads* kehilangan berat sebesar 3,66 mg, sampel *beads* terikat silang kehilangan berat sebesar 5,53 mg, sampel pelet kehilangan berat sebesar 0,65 mg dan sampel pelet terikat silang kehilangan berat sebesar 0,78 mg. Hasil ini menunjukkan bahwa komposit dalam bentuk pelet dan pelet terikat silang memiliki stabilitas terhadap temperatur yang lebih baik dibandingkan bentuk *beads* dan *beads* terikat silang.

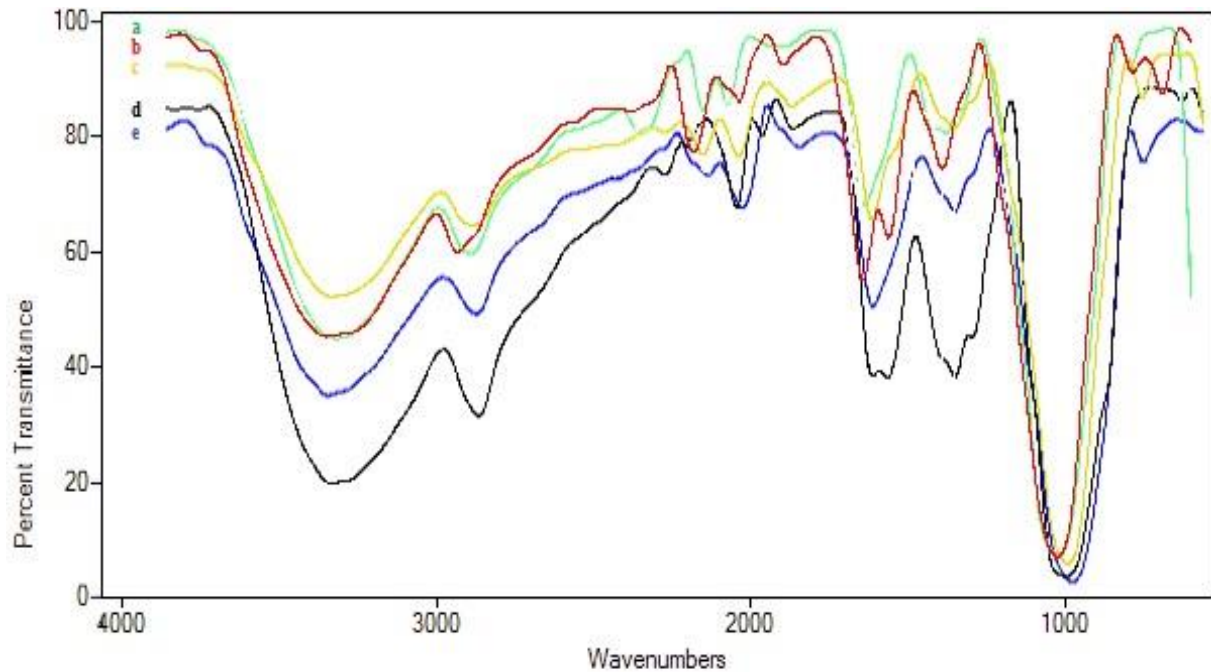
Hasil Karakteristik Kitosan-Zeolit Beads dan Pelet

Berdasarkan Tabel 3 perubahan gugus fungsional *beads* dan pelet kitosan-zeolit

sebelum dan setelah terikat silang yang dikarakterisasi melalui spektrofotometer FT-IR dimana spektra dari *beads* dan pelet kitosan-zeolit sebelum dan setelah terikat silang memperlihatkan karakteristik yang tidak jauh berbeda dibandingkan spektra kitosan. Pada daerah sekitar 3500-3310 cm^{-1} , serapan pada bilangan gelombang 3344,90 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur gugus N-H kitosan, setelah dikompositkan dengan zeolit menjadi bentuk *beads* dan *beads* terikat silang bilangan gelombangnya bergeser dari 3344,90 cm^{-1} menjadi 3351,69 cm^{-1} dan 3350,74 cm^{-1} . Sedangkan bentuk pelet dan pelet terikat silang bilangan gelombangnya bergeser dari 3344,90 cm^{-1} menjadi 3315,45 cm^{-1} dan 3339,86 cm^{-1} . Serapan lainnya yaitu 2877,08 cm^{-1} pada kitosan, 2884,69 cm^{-1} pada *beads*, 2893,25 cm^{-1} pada pelet, 2932,48 cm^{-1} pada *beads* terikat silang dan 2898,66 cm^{-1} pada pelet terikat silang merupakan vibrasi ulur dari gugus C-H metilen. Vibrasi bengkokan N-H pada kitosan 1638,55 cm^{-1} , 1637,21 cm^{-1} pada *beads*, 1636,29 cm^{-1} pada pelet, 1642,78 cm^{-1} pada *beads* terikat silang dan 1640,57 cm^{-1} pada pelet terikat silang. Vibrasi ulur Si-O dan Al-O pada panjang gelombang 1009,09 cm^{-1} pada *beads*, 1022,49 cm^{-1} pada pelet, 1023,48 cm^{-1} pada *beads* terikat silang dan 1024,16 cm^{-1} pada pelet terikat silang. Berdasarkan hasil karakterisasi FT-IR pada *beads* dan pelet kitosan-zeolit hasil penelitian, diperkirakan bahwa modifikasi kitosan dengan zeolit melibatkan interaksi elektrostatis antara gugus Si-O dan Al-O pada zeolit dengan gugus amina terprotonasi pada kitosan.

Tabel 3. Interpretasi Gugus Fungsi Spektrum FT-IR Kitosan dan Komposit Kitosan-Zeolit Bentuk Beads Komposisi 0,5:1,0 dan Bentuk Pelet Komposisi 0,5:0,3

Gugus Fungsional	Bilangan Gelombang FT-IR (cm^{-1})				
	Komposit Kitosan-Zeolit Pelet (0,5:0,3) (a)	Komposit Kitosan-Zeolit Beads (0,5:1,0) terikat silang (b)	Komposit Kitosan-Zeolit Pelet (0,5:0,3) terikat silang (c)	Kitosan (d)	Komposit Kitosan-Zeolit Beads (0,5:1,0) (e)
N-H ulur	3315,45	3350,74	3339,86	3344,90	3351,69
C-H ulur	2893,25	2932,48	2898,66	2877,08	2884,69
N-H bengkokan	1636,29	1642,78	1640,57	1638,55	1637,21
Si-O dan Al-O ulur	1022,49	1023,48	1024,16	-	1009,09
Si-O quartz	791,01	784,21	790,12	-	786,37



Gambar 1. Spektrum FT-IR kitosan dan komposit kitosan-zeolit (pelet (a), *beads* (0,5:1,0) terikat silang (b), pelet terikat silang (0,5:0,3) (c), kitosan (d) dan *beads* (0,5:1,0) (e))

SIMPULAN

Hasil dari uji stabilitas *beads* dan pelet terhadap asam asetat 1%, 2,5% dan 5 % menunjukkan bahwa kestabilan adsorben kitosan-zeolit bentuk *beads* dan pelet terikat silang larut sepenuhnya ke dalam asam asetat. Kestabilan adsorben kitosan-zeolit bentuk *beads* terikat silang relatif stabil pada variasi komposisi 0,5:1,0 dengan persentase kestabilan rata-rata di atas 96% dan kestabilan adsorben kitosan-zeolit bentuk pelet terikat silang relatif stabil pada variasi komposisi 0,5:0,3 dengan persentase kestabilan rata-rata di atas 97%. Hasil stabilitas terhadap temperatur dalam bentuk pelet dan pelet terikat silang kehilangan massa sebesar 0,65 mg dan 0,78 mg sedangkan dalam bentuk *beads* dan *beads* terikat silang kehilangan massa sebesar 3,66 mg dan 5,54 mg. Hasil ini menunjukkan bahwa komposit dalam bentuk pelet dan pelet terikat silang memiliki stabilitas terhadap temperatur yang lebih baik dibandingkan bentuk *beads* dan *beads* terikat silang.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyaningrum, S. E., Narsito., Santoso, S. J., dan Agustini, R., 2008, Adsorption of Zn(II) Metal Ion on Chitosan Bead From Shell Shrimp (*Penaeus monodon*), *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 15, (2): 90-99.
- Coradin, T., Allouche, J., Boissière, M., dan Livage, J., 2006, Sol-Gel Biopolymer/Silica Nanocomposites in Biotechnology, *Current Nanoscience*, 2 (3): 1-11.
- Hamdan, H., 1992, Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization, and Modification, Universiti Teknologi Malaysia, Penang.
- Indrawati, D., dan Cahyaningrum, S. E., 2013, Pengaruh perbandingan komposisi kitosan dan silika terhadap karakterisasi adsorben kitosan-silika *bead*, *UNESA J. of Chemistry*, 2 (1): 8-13.
- Kasmayadi, W., & Murwani, I. K., 2007, Analisis Termal Dan Studi Transformasi Fase Sistem Badan Keramik Lempung Batu Kumbang Lombok, Feldspar, *Akta Kimindo*. 3 (1): 43 – 48.

Utami, R., Yulizar, Y., Utari, T., 2012, Modifikasi Zeolit Alam dengan Nanokitosan sebagai Adsorben Ion Logam Berat dan Studi Kinetikanya terhadap Ion Pb(II), FMIPA UI, (Skripsi).

Wahono, S. K., Maryana, R., Kismurtono, S., Nisa, K., dan Poeloengasih, C. D., 2010, Modifikasi Zeolit Lokal Gunung Kidul Sebagai Upaya

Peningkatan Performa Biogas Untuk Pembangkit Listrik, Universitas Diponegoro, Fakultas Teknik, Semarang.

Zaharah, T. A., Shofiyani, A., dan Sayekti, E., 2015, Karakteristik Biomassa *Chlorella* sp Terimobilisasi pada Kitosan untuk Adsorpsi Kromium(III) dalam Larutan, *Alchemy*, 11 (1): 15-28.