

SINTESIS SILIKA GEL TERIMOBILISASI DITHIZON MELALUI PROSES SOL-GEL

Synthesis of Dithizone-Immobilized Silica Gel through Sol-Gel Process

Hermania Em Wogo, Juliana Ofi Segu, Pius Dore Ola
Jurusan Kimia FST Undana, Kupang

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang sintesis silika gel terimobilisasi dithizon dari abu sekam padi (yang digunakan sebagai bahan adsorben). Kajian yang dilakukan meliputi sintesis dan karakterisasi silika terimobilisasi dithizon. Metode yang digunakan ialah metode sol-gel. Karakterisasi silika gel dilakukan dengan spektrofotometer inframerah (FTIR), difraktometer sinar-X (XRD), dan penganalisis luas permukaan (SAA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa silika terimobilisasi dithizon berhasil dibuat yang ditunjukkan oleh munculnya serapan inframerah dari gugus fungsional –NH, C=N, C-N, –SH, C=S. Data XRD menunjukkan bahwa struktur silika terimobilisasi dithizon bersifat amorf. Hasil SAA menunjukkan bahwa penambahan dithizon menurunkan luas permukaan spesifik silika kecuali untuk penambahan dithizon 2 gram.

Kata kunci : silika gel, imobilisasi, dithizon, sekam padi, sol-gel

ABSTRACT

The research about synthesis of dithizone immobilized on silica gel from rice hull ash as adsorbent has been constructed. The research consisted of synthesis and characterization of dithizone immobilized on silica gel. The method was done by sol-gel process. Silica gel was characterized by infrared spectrophotometer (FTIR), X-ray diffraction (XRD) and surface area analyzer (SAA). The result of the research showed that immobilization with dithizone on silica gel has been successfully synthesized which was indicated by appearance of characteristic absorbances of functional groups –NH, C=N, C-N, –SH, C=S. The XRD data's showed the structure of silica gel that immobilized with dithizone was amorphous. While the result with SAA showed that addition of dithizone was decrease the specific surface area of silica gel that immobilized with dithizone except to 2 grams of dithizone.

Key words : silica gel, immobilization, dithizone, rice hull, sol-gel

PENDAHULUAN

Sekam padi merupakan hasil samping dari proses penggilingan padi. Menurut Hara dalam Harsono (2002) sekitar 20 % dari bobot padi adalah sekam padi dan sekitar 15 % dari bobot sekam padi adalah abu sekam yang dihasilkan setiap

kali sekam dibakar. Sampai saat ini, abu sekam padi belum dimanfaatkan secara optimal. Di beberapa daerah penggunaan abu sekam padi masih terbatas untuk membersihkan alat-alat rumah tangga dan campuran pada

pembuatan semen (Priyosulistyo dkk., 1999).

Berbagai penelitian (Enymia dkk., 1998; Kalapathy dkk., 2000; Nuryono dkk., 2004) melaporkan bahwa abu sekam secara umum mengandung silika yang cukup tinggi berkisar antara 87-97 %. Oleh karena itu, abu sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika pada pembuatan bahan berbasis silika.

Salah satu bahan berbasis silika yang dapat dibuat adalah silika gel. Silika gel telah banyak digunakan sebagai adsorben pada proses adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh adanya gugus aktif silanol ($\equiv\text{Si-OH}$) dan siloksan ($\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$). Namun bahan ini belum efektif untuk mengadsorpsi ion logam. Hal ini dikarenakan atom O yang merupakan situs aktif pada silika gel berukuran kecil dan memiliki polarisabilitas yang rendah, sehingga interaksi dengan logam berat yang pada umumnya berukuran besar dan memiliki polarisabilitas yang tinggi secara teoritis relatif kurang kuat. Oleh karena itu, perlu adanya modifikasi permukaan silika gel.

Modifikasi dapat dilakukan secara fisik (impregnasi) dan kimia. Modifikasi secara kimia itu sendiri terbagi atas dua metode, yakni: imobilisasi reagen silan dan imobilisasi melalui reaksi homogen (proses sol-gel).

Modifikasi secara fisik telah dilakukan oleh Terrada dkk., (1983) dengan

mengimpregnasikan pada padatan pendukung silika gel, karbon aktif dan politrifluorokloroetilen menggunakan bahan-bahan impregnan 2,5-dimerkapto-3,4-triadizol (DMT), 2-merkaptobenzimidazol (MBT) untuk adsorpsi Cu(II) dalam medium air. Dilaporkan bahwa adsorpsi logam tersebut hanya efektif pada pH tertentu untuk tiap jenis ligan. Dalam hal ini, impregnasi memiliki kekurangan yaitu ligan yang terikat dapat terlepas kembali (ikatan kurang stabil) sehingga tidak efektif digunakan berulang kali, akibatnya hasil yang diperoleh kurang maksimal. Dengan metode yang sama, Da Silva (2010) telah mengimpregnasikan dithizon pada silika gel hasil pengolahan abu sekam padi yang digunakan untuk mengadsorpsi Pb(II) . Hasil yang diperoleh menunjukkan kapasitas adsorpsi silika terimpregnasi dithizon ($58,4795 \mu\text{mol/g}$) lebih besar dibanding silika gel tanpa impregnasi ($38,1679 \mu\text{mol/g}$).

Modifikasi secara kimia melalui metode imobilisasi reagen silan telah dilakukan oleh Arakaki dan Airolti (2000), Tokman dkk., (2003), Ghoul dkk., (2003), Fahmiati dkk., (2004), dan Azmiyawati dkk., (2005). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa imobilisasi reagen silan memberikan hasil yang stabil tetapi reaksi berlangsung lambat dan hanya sedikit senyawa yang terimobilisasi. Dengan

metode yang sama pula Bolle (2010), telah mensintesis silika gel terimobilisasi dithizon dari abu sekam padi yang digunakan untuk mengadsorpsi Pb(II). Hasil yang diperoleh menunjukkan kapasitas adsorpsi silika terimobilisasi dithizon ($125 \mu\text{mol/g}$) lebih besar dari silika terimpregnasi dithizon.

Penggunaan proses sol-gel untuk sintesis beberapa bahan hibrida anorganik-organik telah banyak dilaporkan. Dengan metode ini, Wogo dkk., (2007) dengan menggunakan tetraetoksisilan (TEOS) telah mensintesis silika yang termodifikasi gugus etildiamin untuk mengkaji kinetika adsorpsi beberapa kation divalen (Mg, Zn, Ni, dan Cd). Airoldi dan Arakaki (2001) menggunakan gugus etilensulfida yang diimobilisasikan pada silika gel untuk mengkaji termodinamika interaksi ion logam Cu(II), Ni(II), dan Co(II). Dibandingkan metode lain, imobilisasi melalui proses sol-gel lebih sederhana dan cepat karena reaksi pengikatan berlangsung secara bersamaan dengan proses terbentuknya padatan. Selain itu, teknik imobilisasi melalui proses sol-gel lebih mudah dilakukan di laboratorium karena reaksi dapat dilakukan pada temperatur kamar sehingga dapat digunakan alat-alat sederhana. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan imobilisasi dithizon pada permukaan silika gel yang disintesis dari abu sekam padi melalui proses sol-gel.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: seperangkat wadah plastik, pengaduk magnet, pipet tetes, peralatan gelas, corong, cawan porselin, mortar, ayakan $250 \mu\text{m}$, neraca analitik, tanur, oven, spektrofotometer FTIR (Shimadzu), XRD, penganalisis luas permukaan (NOVA 1000).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: sekam padi, larutan HCl (E.merck), NaOH (E.merck), dithizon, 3-kloropropil trimetoksisilan (Aldrich), toluena (E.merck), piridin, indikator universal, akuades, kertas saring Whatman $0,42 \mu\text{m}$.

Cara Kerja

a) Pembuatan larutan natrium silikat dari abu sekam padi

Pembuatan abu sekam padi. Sekam padi dibersihkan dari tanah, kerikil dan kotoran lainnya kemudian dicuci dengan air dan dibilas dengan akuades lalu dikeringkan pada 100°C dalam oven. Sekam padi bersih dan kering dibakar dengan nyala api sehingga diperoleh arang sekam yang berwarna hitam dan tidak ada lagi asap. Arang yang diperoleh diabukan pada suhu 700°C selama 4 jam dalam tanur. Abu sekam berwarna putih yang diperoleh kemudian digerus dan diayak sehingga diperoleh abu yang lolos pada ayakan $250 \mu\text{m}$. Selanjutnya, 20 gram sampel abu

sekam dicuci dengan 120 mL HCl 6 M dan dinetralkan kembali dengan akuades. Abu sekam padi bersih ini dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C.

Pembuatan larutan natrium silikat.

Abu sekam padi yang telah kering dilarutkan dengan NaOH 4 M, dididihkan sampai mengental, selanjutnya didestruksi pada 500 °C selama 30 menit. Hasilnya ditambahkan dengan 200 mL akuades, didiamkan semalam kemudian disaring. Filtrat yang dihasilkan merupakan larutan natrium silikat.

b) Pembuatan silika gel terimobilisasi dithizon

Sebanyak 20 mL larutan natrium silikat hasil dari peleburan abu sekam padi dimasukkan ke dalam gelas plastik, ditambahkan 3-kloropropil-trimetoksisilan sebanyak 5 mL, 50 mg dithizon yang dilarutkan dalam 100 mL toluena, sedikit piridin kemudian diaduk dengan pengaduk magnet sambil terus ditambahkan HCl 3 M secara bertetes-tetes hingga terbentuk gel dan diteruskan hingga pH netral. Gel yang terbentuk dicuci dengan akuades hingga netral, dikeringkan dalam oven pada temperatur 70 °C. Setelah kering, gel digerus dan diayak dengan ayakan 250 µm.

c) Karakterisasi silika gel terimobilisasi dithizon

Hasil berupa silika gel kering yang lolos ayakan kemudian dikarakterisasi dengan FTIR, XRD dan penganalisis luas permukaan. Perlakuan ini dilakukan juga untuk massa dithizon 1 dan 2 gr dan silika gel tanpa imobilisasi dithizon sebagai pembanding.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pembuatan Larutan Natrium Silikat dari Abu Sekam Padi

Pembuatan larutan natrium silikat dari abu sekam padi diawali dengan pembuatan abu sekam padi. Pembuatan abu sekam padi ini meliputi pencucian sekam, pengabuan dan pencucian abu.

Sekam padi dibersihkan dari pengotor seperti jerami dan kerikil, kemudian dicuci dengan air, dibilas dengan akuades dan dikeringkan. Sekam padi yang telah bersih dan kering ini dibakar dengan nyala api sehingga diperoleh arang sekam padi yang berwarna hitam. Pembakaran sekam menjadi arang dimaksudkan untuk menurunkan temperatur pengabuan. Jika sekam padi langsung diabukan tanpa melalui proses pembakaran menjadi arang terlebih dahulu maka panas yang diperlukan untuk menghasilkan abu akan sangat tinggi. Pengarangan sekam ini bertujuan untuk mendekomposisi senyawa organik dalam sekam. Warna hitam pada sekam mengindikasikan bahwa senyawa-senyawa organik belum teroksidasi sempurna.

Selanjutnya arang sekam ini diabukan dalam tanur pada temperatur 700 °C selama 4 jam untuk menghilangkan komponen organik yang masih ada dan mengoksidasi karbon secara sempurna. Berdasarkan penelitian yang dilakukan hasil pengabuan yang diperoleh adalah abu sekam berwarna putih.

Menurut Onggo dkk., (1988) dalam Bolle (2010) abu sekam yang berwarna putih menunjukkan kandungan silika yang tinggi. Dipilihnya temperatur 700 °C untuk pengabuan karena berdasarkan penelitian Nuryono (2004), pengabuan sekam pada temperatur 700 °C akan menghasilkan abu dengan silika berstruktur amorf daripada pengabuan pada temperatur 800 dan 900 °C yang menghasilkan abu dengan silika berstruktur kristal. Abu dengan struktur amorf lebih mudah dilebur dan mengoptimalkan silika yang dihasilkan.

Abu sekam yang diperoleh kemudian digerus dan diayak dengan ayakan 250 µm. Setelah diayak, abu sekam dicuci dengan HCl 6 M dan dibilas dengan akuades sampai netral. Pencucian ini bertujuan untuk menurunkan kadar pengotor berupa oksida-oksida logam seperti Na₂O, K₂O dan CaO dalam abu sekam padi. Selanjutnya abu sekam padi yang telah bersih ini dipanaskan pada temperatur 120 °C untuk menghilangkan kandungan air.

Setelah diperoleh abu sekam yang bersih dan kering, dilakukan peleburan

menggunakan larutan natrium hidroksida. Peleburan dilakukan dalam tanur pada temperatur 500 °C selama 30 menit dengan maksud agar reaksi antara abu sekam dan NaOH dapat berjalan sempurna sehingga semua silika dalam abu sekam dapat terlebur. Peleburan ini bertujuan untuk mengubah komponen silika dalam abu sekam menjadi natrium silikat (Na₂SiO₃). Natrium silikat yang diperoleh dari hasil peleburan didinginkan, kemudian ditambah dengan akuades dan didiamkan semalam agar terbentuk larutan natrium silikat. Mekanisme reaksi yang terjadi adalah OH⁻ akan menyerang atom Si yang bermuatan parsial positif dan terbentuk intermediet SiO₂OH⁻ yang tidak stabil. Pada tahap ini akan terjadi dehidrogenasi dan ion hidroksil yang terlepas akan berikatan dengan hidrogen membentuk molekul air. Dua ion Na⁺ yang ada akan menyeimbangkan muatan negatif yang terbentuk.

b. Pembuatan dan Karakterisasi

Silika Gel Terimobilisasi Dithizon

Pembuatan silika terimobilisasi dithizon

Pembuatan silika gel terimobilisasi dithizon dilakukan melalui proses sol-gel. Pada tahap ini larutan natrium silikat dicampurkan dengan 3-kloropropil-trimetoksisilan, dithizon yang telah larut dalam toluena dan sedikit piridin. Campuran yang berwarna hijau pekat ini kemudian diaduk dengan pengaduk

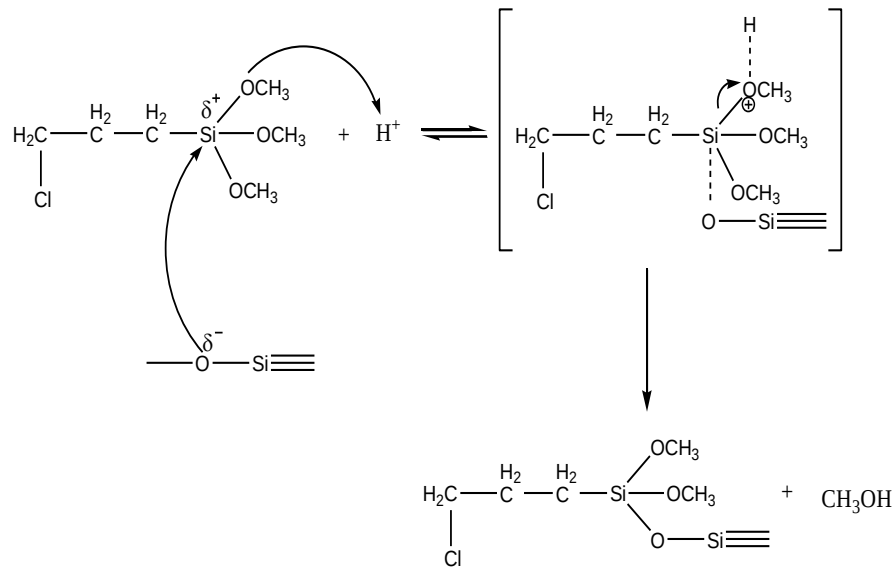
magnet sambil ditambahkan HCl 3 M secara bertetes sampai terbentuk gel.

Piridin berfungsi sebagai katalis reaksi dimana piridin yang bersifat basa lemah dimanfaatkan untuk menangkap ion H^+ dari hasil deprotonasi dithizon yang akan mengganggu kestabilan produk yang juga diduga akan berinteraksi dengan ion Cl^- setelah mengikat H^+ dan membentuk garam.

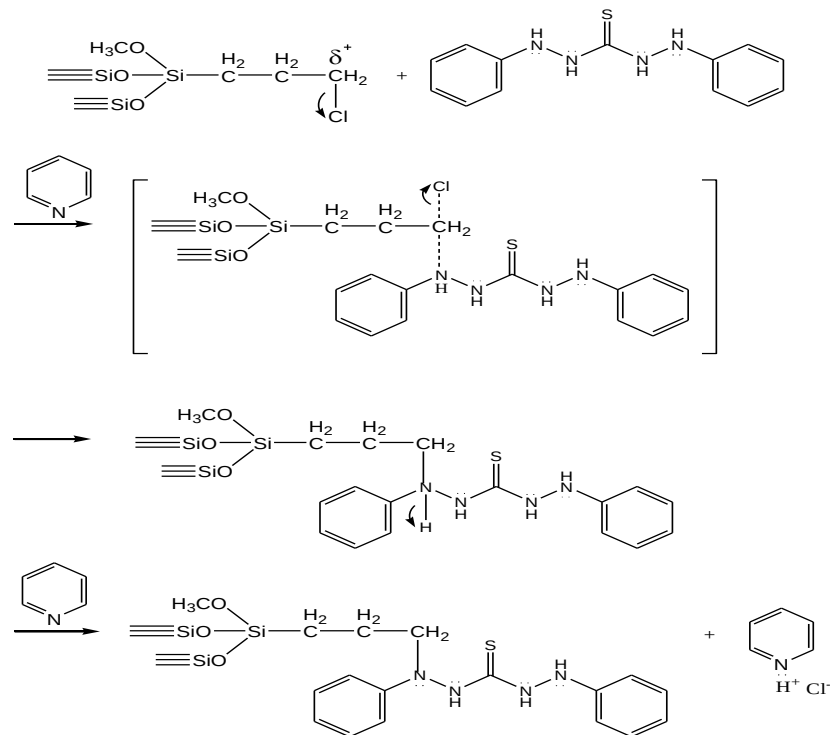
Pada saat penambahan asam klorida akan terjadi proses pembentukan gel yang diduga diawali dengan protonasi terhadap atom oksigen pada gugus metoksi ($-OCH_3$) dalam senyawa 3-kloropropil-trimetoksisilan dan dilanjutkan dengan serangan anion silikat ($\equiv Si-O^-$) yang berasal dari larutan natrium silikat terhadap atom Si dalam senyawa 3-kloropropil-trimetoksisilan. Hal ini disebabkan oleh metoksi yang terikat pada atom Si tersebut menyebabkan atom Si semakin terpolarisasi positif sehingga mempunyai kecenderungan besar untuk diserang oleh spesies yang bermuatan negatif yaitu anion silikat dan membentuk ikatan siloksan ($\equiv Si-O-Si \equiv$) dengan melepas metanol. Penambahan asam yang terus berlanjut mengakibatkan reaksi dapat

terus berlanjut sampai semua gugus metoksi dalam senyawa 3-kloropropiltrimetoksisilan mengalami reaksi kondensasi dengan spesies anion silikat dengan melepas metanol. Perkiraan tahap reaksi ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Proses imobilisasi dithizon berlanjut dengan pelepasan gugus Cl sebagai Cl^- dan penyerangan salah satu atom N dari senyawa dithizon yang mempunyai pasangan elektron non-ikatan. Dengan terikatnya salah satu atom N dari dithizon pada atom C terminal membuat atom N dari dithizon akan mengalami dehidrogenasi agar tetap mempunyai pasangan elektron non-ikatan yang kemudian akan dimanfaatkan untuk berinteraksi dengan logam berat. Dari tahapan dehidrogenasi tersebut akan menghasilkan H^+ yang bereaksi dengan ion Cl^- membentuk asam yang kemudian asam ini diikat atau bereaksi dengan piridin yang merupakan basa lemah sehingga tidak mengganggu produk akhir yaitu silika gel yang terimobilisasi dithizon. Perkiraan mekanisme reaksi imobilisasi dithizon pada silika ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Tahap awal reaksi imobilisasi dithizon pada silika membentuk Si-Cl



Gambar 2. Tahap lanjutan reaksi imobilisasi dithizon pada silika



Gambar 3. Silika gel terimobilisasi dithizon a) 50 mg b) 1 gram c) 2 gram d) tanpa dithizon

Pada penelitian ini gel yang terbentuk disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH-nya netral. Selanjutnya dikeringkan pada temperatur 70 °C dengan maksud agar tidak terjadi dekomposisi dari produk karena mengandung senyawa organik yaitu dithizon yang sangat peka terhadap temperatur yang tinggi. Dari hasil pengeringan diperoleh silika gel terimobilisasi dithizon yang berwarna merah bata. Produk ini selanjutnya

digerus dan diayak dengan ayakan 250 μm untuk menghomogenkan ukuran partikel dan memperluas permukaan silika gel terimobilisasi dithizon. Gambar silika gel terimobilisasi dithizon seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

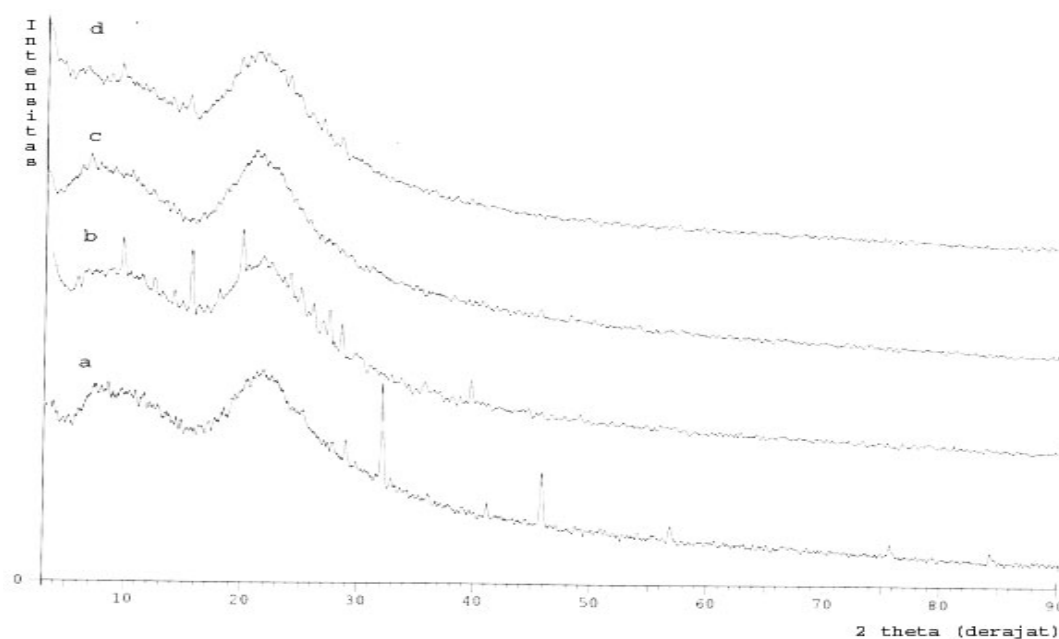
Secara kasat mata warna silika gel terimobilisasi dithizon 50 mg, 1 dan 2 gram menunjukkan perbedaan yang spesifik. Dimana semakin banyak jumlah dithizon maka warna merah bata akan semakin pekat.

Karakteristik silika terimobilisasi dithizon

1). Gugus Fungsional

Karakteristik dengan spektroskopi inframerah digunakan untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsional yang terdapat pada silika gel terimobilisasi dithizon. Setiap gugus fungsi mempunyai serapan inframerah yang karakteristik pada bilangan gelombang tertentu sehingga secara kualitatif dapat diidentifikasi. Pada penelitian ini dilakukan analisis spektrum inframerah untuk silika terimobilisasi dithizon yang dibandingkan terhadap

silika gel tanpa imobilisasi dithizon. Spektrum FTIR untuk silika gel terimobilisasi dithizon dan tanpa imobilisasi dithizon ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil spektrum FTIR yang terlihat pada Gambar 4 dapat diinterpretasikan seperti dalam Tabel 1. Berdasarkan hasil interpretasi spektrum FTIR dari Tabel 1 maka dapat disimpulkan bahwa silika gel terimobilisasi dithizon telah berhasil disintesis. Hal yang menunjukkan bahwa silika terimobilisasi dithizon berhasil disintesis adalah adanya gugus amina, C=N, C-N, -SH dan C=S.



Gambar 5. Difraktogram sinar-X dari (a) silika gel, silika terimobilisasi dithizon (b) 50 mg, (c) 1 gram dan (d) 2 gram

2). Struktur silika terimobilisasi dithizon

Gambar 5 menunjukkan difraktogram sinar-X adsorben untuk mengidentifikasi kristalinitasnya. Pada Gambar 5 terlihat bahwa silika terimobilisasi dithizon menunjukkan pola difraksi dengan puncak melebar dengan pusat puncak pada 2θ di sekitar $21-22^\circ$. Puncak lebar dengan pusat puncak di sekitar $2\theta = 22^\circ$ menunjukkan silika bersifat amorf (Kalapathy dkk., 2004). Beberapa puncak kecil yang terlihat pada Gambar 5 (a) dan (b) mengindikasikan adanya impurities

berupa NaCl yang tidak tercuci saat dilakukan penetralan silika. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan pencucian ulang pada adsorben kering tersebut. Secara umum disimpulkan bahwa penambahan dithizon tidak menyebabkan perubahan kristalinitas silika yang dihasilkan.

3). Luas permukaan spesifik

Penentuan luas permukaan spesifik silika terimobilisasi dithizon dapat dilihat dari hasil analisis dengan menggunakan penganalisis luas permukaan. Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil analisis penganalisis luas permukaan

No.	Jenis Adsorben	Luas Permukaan (m ² /g)
1.	Silika gel	38,27
2.	Silika terimobilisasi dithizon 50 mg	15,50
3.	Silika terimobilisasi dithizon 1 gr	17, 81
4.	Silika terimobilisasi dithizon 2 gr	40,82

Pada Tabel 2 terlihat bahwa luas permukaan spesifik menurun ketika ditambahkan dithizon. Hal ini disebabkan karena senyawa dithizon yang diimobilisasi pada permukaan silika akan menutupi pori sehingga ukuran pori semakin kecil dan menghasilkan luas permukaan yang lebih kecil. Jadi semakin banyak senyawa dithizon yang diimobilisasikan maka makin kecil luas permukaan spesifiknya. Namun, hal ini tidak berlaku untuk silika terimobilisasi dithizon 2 gr. Ini menunjukkan bahwa pengikatan terhadap senyawa dithizon diduga tidak hanya terjadi dalam pori melainkan di atas permukaan silika sehingga luas permukaannya lebih besar dari silika gel.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan, bahwa pengolahan abu sekam padi menjadi silika gel terimobilisasi dithizon dapat dilakukan melalui proses sol-gel yakni suatu proses

pelarutan pada temperatur kamar. Karakter silika gel terimobilisasi dithizon oleh adanya gugus amin yang mengalami tumpang tindih dengan –OH pada daerah 3100 - 3500 cm⁻¹ dan pada 1597,06 cm⁻¹ (silika terimobilisasi dithizon 50 mg), gugus C=N pada 2137,13 cm⁻¹ (silika terimobilisasi dithizon 2 gr), gugus C-N pada 1126,43 cm⁻¹ (silika terimobilisasi 1 gr), gugus –SH pada 2630,91 cm⁻¹ (silika gel terimobilisasi 2 gr), gugus C=S pada 1311,59 cm⁻¹. Penambahan senyawa dithizon tidak mengubah kekristalan silika yang dihasilkan dan mengakibatkan penurunan luas permukaan spesifik kecuali untuk silika terimobilisasi dithizon 2 gr.

DAFTAR PUSTAKA

- Airoidi, C. dan Arakaki, L.N.H., 2001, Immobilization of ethylenesulfide on silica surface through sol-gel process and some thermodynamic data of divalent cation interactions, *Polyhedron*, 20, 929-936.
- Arakaki, L. N. H. dan Airoidi, C., 2000,

Ethylenimine in the Synthetic Routes of a New Silylating agent: Chelating Ability of Nitrogen and Sulfur donor Atoms after Anchoring onto the Surface of Silica Gel, *Polyhedron*, 19, 367-737.

Azmiyawati, C., Narsito dan Nuryono., 2005, Thermodynamics of Mg (II), Cd (II), and Ni (II) Adsorption on Sulfonate Modified Silica Gel, *Indo. J. Chem.*, in press.

Bolle, T.C.M., 2010, *Sintesis Silika Gel Terimobilisasi Dithizon Dari Abu Sekam Padi*, Skripsi, Universitas Nusa Cendana, Kupang.

Da Silva, M.D.L., 2010, *Impregnasi Dithizon Pada Silika Gel Hasil Pengolahan Abu Sekam Padi*, Skripsi, Universitas Nusa Cendana, Kupang.

Enymia, Suhandi, dan Sulistarihani, N., 1998, Pembuatan Silika Gel dari Sekam Padi untuk Bahan Pengisi Karet Ban, *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, Vol. 7 No. 1 dan 2.

Fahmiati, Nuryono dan Narsito, 2004, Kajian Kinetika Adsorpsi Cd(II), Ni(II) dan Mg(II) pada Silika Gel Termodifikasi 3-Merkapto-1,2,4-triazol, *Alchemy*, 3(2), 22-28.

Ghoul, M., Bacquet, M., dan Morcellet, M., 2003, Uptake of Heavy Metals from Synthetic Aqueous Solutions Using Modified PEI-Silica Gel, *Water Research*, 37, 729-734.

Harsono, H., 2002, Pembuatan Silika Amorf dari Limbah sekam padi, *Jurnal Ilmu Dasar*, 3(2), 98-103

<http://www.scribd.com/doc/25774902/Mo-difikasi-silika-Cr-VI-Jasa-RIA-I-6-Des-2007>, diakses 26 November 2010.

<http://jurnal.pdii-lipi.go.id/admin/jurnal/22035258.pdf>, diakses 26 November 2010.

Kalapathy, U., Proctor, A; dan Shultz, J; 2000, *A Simple Method for Production of*

Silica from Rice Hull Ash, *Bioresource Technology*, 73, 257-262.

Nuryono, 2004, *Pengaruh Konsentrasi NaOH pada Destruksi Silika Abu Sekam Padi Carah Basa*, Proseding Seminar Nasional MIPA diselenggarakan oleh FMIPA UNDIP, 4 Desember 2004.

Nuryono, Narsito, dan Astuti, E., 2004, *Sintesis Silika Gel Terenkapsl Enzim dari Abu Sekam Padi dan Aplikasinya Untuk Biosensor*, (Laporan Penelitian Hibah Bersaing XI/2), Lembaga Penelitian UGM, Yogyakarta.

Priyosulistyo, HRC., Sudarmoko, Supriyadi, Suhendro, dan Sumardi, 1999, *Pemanfaatan Limbah abu Sekam Padi Untuk Peningkatan Mutu Beton*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing VII/2, Lembaga Penelitian UGM.

Sastrohamidjojo, H., 1992, *Spektroskopi Inframerah*, Liberty, Yogyakarta.

Sriyanti, Narsito dan Nuryono, 2001, *Selektivitas 2-Merkaptobenzotiazol Terimpregnasi pada Zeolit Alam untuk Adsorpsi Kadmium (II) dalam Campuran Kadmium (II)-Besi (III)*, Proseding Seminar Nasional Kimia IX, Yogyakarta.

Terrada, K., Matsomoto, K., dan Kimora, H., 1983, Sorption of Copper(II) by Some Complexing Agents Loaded on Various Support, *Anal. Chim. Acta*, 153, 237-247.

Tokman, N., Akman, S., dan Ozcan, M., 2003, Solid phase Extraction of Bismuth, Lead and Nikel from Seawater Using Silica Gel Modified With 3-aminopropyltriethoxisilane Filled in a Syringe Prior to Their Determination by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry, *Talanta*, 59, 201-205.

Wogo, H.E., Nuryono dan Narsito, 2007, *Simultaneous Adsorption of Mg(II), Zn(II), Ni(II) and Cd(II) on Silica Gel Immobilized with Ethylenediamine group*, Proceeding of International Conference on Chemical Science in Yogyakarta, 24-26 May 2007.