

SINTESIS SILIKA DARI ABU SEKAM PADI TERMODIFIKASI 2-MERKAPTOBENZOTIAZOL UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Cd^{2+} DAN Cr^{6+}

Irma Syukri^{1,2}, Noor Hindryawati^{*1,2}, R. R Dirgarini Julia N.S^{1,2}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda

²Laboratorium Kimia Fisik dan Anorganik

*Corresponding Author: hindryawati@gmail.com

ABSTRACT

A study on the adsorption of Cd^{2+} ion using silica gel modified with 2-mercaptobenzothiazole (MBT) from rice husk ash has been conducted. The modification of silica gel with MBT was conducted by several steps namely, sample preparation, synthesis of sodium silicate and modification of silica using MBT through a sol gel method. The XRF result showed that silica gel contained 98.98 % SiO_2 . The FTIR spectrum of silica MBT showed the presence of Si-OH, Si-O, Si-O-Si and -SH groups. The surface area of silica gel and silica MBT were 163 m^2/g and 30 m^2/g , respectively. The adsorption capacity of Cd^{2+} ion was 0.42 mg/g and the adsorption percentage was 69.40%. The presence of Cr^{6+} ion decreased the adsorption capacity of silica MBT over Cd^{2+} ion.

Keywords: Rice husk ash, Silica Gel, 2-Mercaptobenzotiazol, Adsorption, Cd^{2+} ion

PENDAHULUAN

Sekam padi merupakan salah satu limbah pertanian dari hasil penggilingan padi yang cukup melimpah di Indonesia, berdasarkan data badan pusat statistik pada tahun 2015 produksi padi di Indonesia mencapai 75,36 juta ton [1]. Abu sekam padi mengandung silika 94-96 % [2]. Tingginya kandungan silika pada abu sekam padi, sehingga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan material berbasis silika seperti silika gel.

Silika gel merupakan salah satu senyawa silika sintesis yang berstruktur amorf dan dapat disintesis melalui proses sol-gel, berbentuk padatan dan banyak dimanfaatkan sebagai adsorben. Sifat sebagai penyerap yang disebut juga sifat adsorptif dikarenakan adanya situs aktif pada permukaan [3], namun silika juga memiliki kelemahan yaitu situs aktif hanya berupa gugus silanol (-SiOH) yang mempunyai sifat keasaman yang rendah dan mempunyai oksigen sebagai atom donor yang sifatnya lemah [4], sehingga kurang mampu bila diaplikasikan sebagai adsorben untuk ion-ion logam tertentu. Salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan silika dalam mengadsorpsi adalah memodifikasi permukaan silika dengan menambahkan bahan tertentu. Bahan yang ditambahkan memiliki sifat yang dapat berikatan dengan satu atau lebih ion logam sehingga mampu meningkatkan adsorpsi [5].

Modifikasi permukaan silika gel dapat dibedakan menjadi dua berdasarkan jenis senyawa yang digunakan yaitu secara fisik dan kimia.

Modifikasi secara kimia terbagi atas dua metode, yakni imobilisasi reagen silan dan imobilisasi melalui reaksi homogen atau disebut dengan proses sol gel. Modifikasi silika gel melalui proses sol gel yang dilakukan pada saat pembentukan gel. Pada proses ini dihasilkan senyawa yang mengandung gugus siloksan, silanol serta gugus silika termodifikasi yang diberi notasi -Si-OM [3].

Salah satu bahan yang dapat digunakan dalam memodifikasi permukaan silika gel adalah 2-mercaptobenzotiazol (MBT) yang memiliki sifat basa lunak dimana MBT memiliki gugus -SH yang termasuk basa lunak dikarenakan memiliki ukuran yang relatif besar dan mudah terpolarisasi [6] Adanya proses modifikasi terhadap silika gel diharapkan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap ion logam yang memiliki karakter asam lunak contohnya ion-ion Cu^+ , Ag^+ , Au^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Br^+ dan ion Pt^{2+} [7].

Pada penelitian ini dilakukan adsorpsi ion logam Cd^{2+} dan Cr^{6+} yang bersifat asam lunak, menurut teori HSAB (*Hard Soft Acid and Base*) suatu spesies yang berfungsi sebagai basa lunak akan berikatan dengan asam lunak, sehingga silika gel yang sudah termodifikasi dengan MBT dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi pada ion logam Cd^{2+} . Sebagai pembandingan dipilih salah satu jenis ion logam yang bersifat asam keras yaitu ion logam Cr^{6+} untuk mengetahui apakah silika gel yang sudah termodifikasi dengan MBT kurang mampu untuk mengadsorpsi ion logam Cr^{6+} .

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah sekam padi dari penggilingan padi lempake Samarinda, aquades, HCl, NaOH, MBT, $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, HNO_3 kertas whatman No. 42, Kertas saring, pH indikator universal.

Alat Penelitian

Alat yang digunakan adalah *furnace*, cawan penguap, mortal dan lumpang, ayakan ukuran 150 mesh, neraca analitik, gelas beaker, pipet tetes, spatula, batang pengaduk, *magnetic stirrer*, termometer, *hot plate*, corong kaca, *erlenmeyer*, tiang statif dan klem, *oven*, *shaker*, *sentrifuge*, pH meter, seperangkat instrumen *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* (FT-IR), *Surface Area Analyzer* (SAA), *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan seperangkat instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Prosedur Penelitian

Preparasi Sampel

Pada proses preparasi pada perlakuan pertama sekam padi dibersihkan kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari dan diarangkan, kemudian diabukan difurnace pada suhu $700\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam. Kemudian abu yang diperoleh di gerus dan diayak menggunakan ayakan 150 mesh, selanjutnya dicuci dengan menggunakan larutan HCl 1M selama 2 jam pada suhu $60\text{-}80\text{ }^\circ\text{C}$ selanjutnya dicuci dengan menggunakan akuades sampai netral (pH 7). Abu sekam yang telah dicuci selanjutnya di panaskan dioven pada temperatur $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam dan dianalisis menggunakan FTIR, XRF untuk mengetahui komposisi oksida logam di dalamnya.

Pembuatan Natrium Silikat

Sebanyak 50 gram Abu sekam padi ditambahkan 500 mL NaOH 1 M distirer pada suhu $60\text{-}80\text{ }^\circ\text{C}$ selama 3 jam, selanjutnya didiamkan setelah itu disaring sehingga dihasilkan filtrat larutan Natrium Silikat.

Pembuatan Silika MBT

Sebanyak 200 mL larutan natrium silikat ditambahkan larutan 2-merkaptobenzotiazol 0,1 M sebanyak 100 mL dan ditambahkan HCl 3 M setetes demi setetes sambil diaduk hingga pH 7 kemudian didiamkan semalam. Kemudian gel yang diperoleh dicuci dengan menggunakan akuades sampai air bekas cucian bersifat netral. Selanjutnya dipisahkan disentrifuge dan gel dipanaskan dioven pada suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ hingga dihasilkan serogel. Kemudian silika serogel digerus dan diayak pada ayakan 150 mesh dan selanjutnya dianalisis dengan FT-IR dan SAA.

Uji Adsorpsi Ion Logam Cd^{2+} Terhadap Silika Gel dan Silika MBT

Pada proses uji adsorpsi ini, sebanyak 0,1 gr silika MBT ditambahkan dengan 10 mL larutan standar ion logam Cd^{2+} pada kondisi optimum pada pH 8 dan konsentrasi 6 ppm, kemudian diaduk dengan *shaker* menggunakan waktu interaksi optimum yaitu 60 menit. Lalu dipisahkan dengan *centrifuge*, selanjutnya dianalisis menggunakan instrumen SSA (Spektrofotometer Serapan Atom). Hal yang sama dilakukan pada silika gel.

Uji Adsorpsi Ion logam Pengganggu (Cr^{6+}) Terhadap Silika MBT, Silika Gel dan Padatan MBT

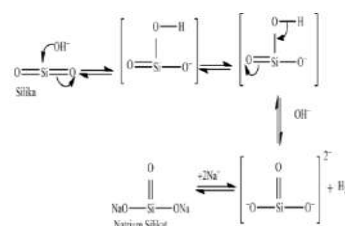
Pada proses ini, larutan ion Cd^{2+} dan Cr^{6+} sebanyak 60 mL dengan perbandingan volume (60:0), (40:20), (30:30), (20:40), (10:50) diaduk pada kondisi konsentrasi 6 ppm dengan tingkat pH dijaga antara 3,5 sampai 4. Setelah itu dimasukkan 0,1 gr silika MBT kemudian diaduk dengan *shaker* sampai tercapai keadaan kesetimbangan selama 6 jam, lalu dipisahkan dengan *centrifuge* selanjutnya dianalisis menggunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hal yang sama juga dilakukan pada pencampuran larutan dengan perbandingan volume yang berbeda, dan pada material yang berbeda yaitu pada silika gel dan padatan MBT dengan perbandingan volume (30:30) [8].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Sampel dan Pembuatan Natrium Silikat dari Abu Sekam Padi

Pada penelitian ini digunakan bahan baku sekam padi dan diarangkan. Setelah itu diabukan pada suhu $700\text{ }^\circ\text{C}$ hal ini berfungsi untuk mengabukan serta menghilangkan zat-zat organik/pengotor yang terkandung dalam abu sekam padi, sehingga dapat meningkatkan kualitas dan kandungan silika (SiO_2) pada abu sekam padi tersebut [9]. Diaktivasi menggunakan HCl 1 M bertujuan menghilangkan kadar pengotor yang berupa oksida logam, setelah itu dipanaskan dioven.

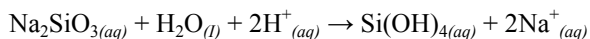
Pada pembuatan natrium silikat, mereaksikan abu sekam padi dan NaOH 1 M dihasilkan larutan natrium silikat berwarna putih keruh.



Gambar 1. Mekanisme Reaksi Pembentukan Natrium Silikat [10].

Pembuatan Silika Gel dan Silika MBT

Pembuatan silika gel dan silika MBT ini, melalui proses penambahan HCl 3 M. Proses pembentukan gel terjadi melalui reaksi pembentukan ikatan siloksan -Si-O-Si- dari silikat. Reaksi yang terjadi pada proses pengasaman sebagai berikut:



Proses pengasaman tersebut bertujuan untuk membentuk asam silikat yang merupakan monomer dari silika gel dan selanjutnya berpolimerisasi membentuk dimer, trimer dan akhirnya membentuk polimer asam silikat. Polimerisasi asam silikat akan terus berlangsung membentuk bola-bola polimer. Pada saat didiamkan selama semalaman gel masih relatif lunak yang disebut alkogel. Kondensasi antar bola-bola polimer terus berlangsung dan terjadi penyusutan volume. Pada proses akhir sinersis akan diperoleh gel yang relatif lebih kaku dengan volume yang lebih kecil bila dibandingkan dengan alkogel yang disebut juga hidrogel [11]. Hidrogel yang terbentuk dicuci untuk menghilangkan garam-garam

yang merupakan hasil samping pembentukan silika gel. Dilakukannya pemanasan bertujuan untuk mengurangi kadar air sehingga menghasilkan serogel yang memiliki rumus kimia secara umum $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$.

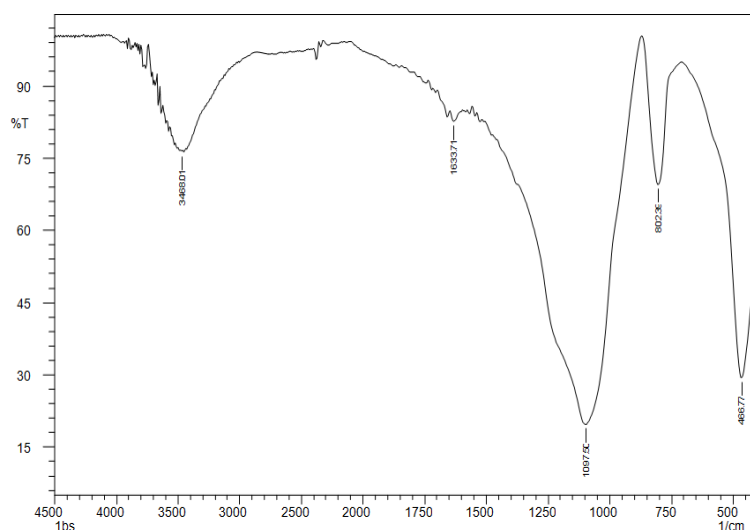
Karakterisasi

Karakterisasi dengan X-Ray Fluorescence (XRF)

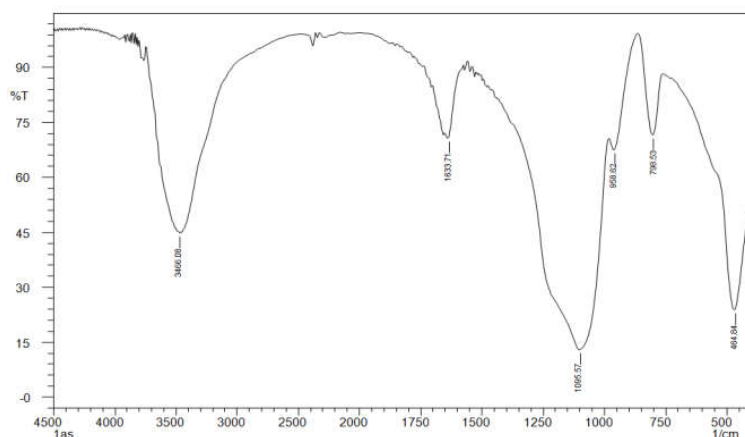
Dari hasil XRF yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa kandungan SiO_2 merupakan persentase terbanyak dalam abu sekam padi dan silika gel dari pada kandungan-kandungan oksida logam lainnya. Terjadi kenaikan persentase kandungan SiO_2 pada silika gel dibandingkan abu sekam padi setelah dan sebelum dicuci dengan HCl. Hal ini membuktikan bahwa ekstraksi silika menggunakan NaOH akan meningkatkan kandungan SiO_2 .

Karakterisasi dengan Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FT-IR)

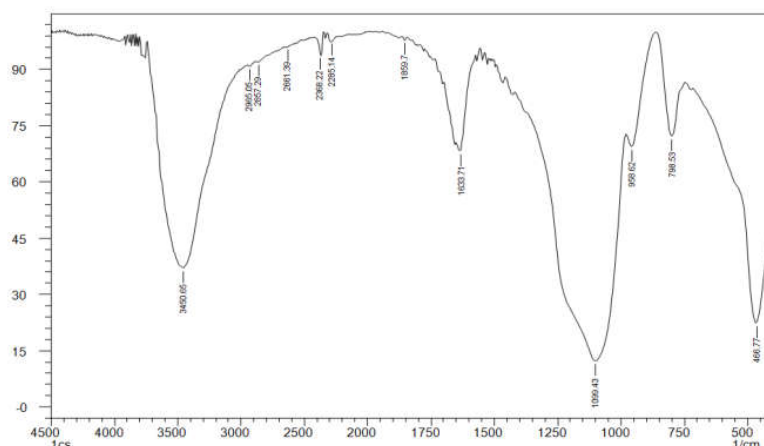
Adapun hasil analisa spektra FT-IR yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 2, 3 dan 4.



Gambar 2. Spektra FTIR Abu sekam Padi



Gambar 3. Spektra FTIR Silika Gel



Gambar 4. Spektra FTIR Silika MBT

Berdasarkan Gambar 2, 3 dan 4 di atas, dapat diidentifikasi adanya gugus silanol (Si-OH), dan gugus siloksan (Si-O-Si). Bilangan gelombang FT-IR dapat disajikan pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Bilangan Gelombang FTIR

Bilangan Gelombang (cm^{-1})			
Abu sekam padi	Silika Gel	Silika MBT	Jenis Vibrasi
466	464	466	Vibrasi tekuk Si-O-Si
802	798	798	Vibrasi ulur simetri Si-O dari Si-O-Si
	958	958	Vibrasi ulur Si-O dari Si-OH
1097	1095	1099	Vibrasi ulur asimetri Si-O dari Si-O-Si
1633	1633	1633	Vibrasi tekuk -OH dari Si-OH
		1859	Vibrasi senyawa organik dan Si-O ₂
		2285	Vibrasi ulur ikatan rangkap terkumpul -N=C=S
		2368	Atmosperik CO ₂
		2661	Vibrasi Ulur -SH
		2857	Vibrasi Ulur C-H
		2962	Vibrasi Ulur C-H
3468	3466	3450	Vibrasi -OH dari Si-OH atau H ₂ O

Berdasarkan Tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa antara abu sekam padi, silika gel dan silika MBT terdapat perbedaan dan persamaan pada bilangan gelombang. Persamaan bilangan gelombang dari ketiganya terletak pada bilangan gelombang 464 cm^{-1} dan 466 cm^{-1} yang merupakan vibrasi tekuk Si-O-Si, bilangan gelombang 802 cm^{-1} dan 798 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur simetri Si-O dari Si-O-Si, pada daerah serapan sekitar 1095 cm^{-1} vibrasi ulur

asimetri Si-O dari Si-O-Si. Persamaan bilangan gelombang yang muncul dari ketiganya juga dapat dilihat bahwa terdapat gugus -OH, yang ditunjukkan dengan munculnya daerah serapan pada bilangan gelombang 1633 cm^{-1} dan bilangan gelombang 3468 cm^{-1} , 3466 cm^{-1} , 3450 cm^{-1} dengan intensitas yang cukup tinggi. Adapun perbedaan yang terdapat antara abu sekam padi dengan silika gel dan MBT, yaitu pada abu sekam padi tidak terdapat daerah serapan 958 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ulur Si-O dari Si-OH. Pada silika MBT juga terdapat perbedaan dengan silika gel dan Abu sekam yaitu pada bilangan gelombang 1859 cm^{-1} yang merupakan vibrasi senyawa organik dan Si-O₂, 2285 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur ikatan rangkap terkumpul -N=C=S. 2368 cm^{-1} merupakan atmosferik CO₂, dan bilangan gelombang 2661 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur -SH, 2857 cm^{-1} dan 2962 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ulur C-H.

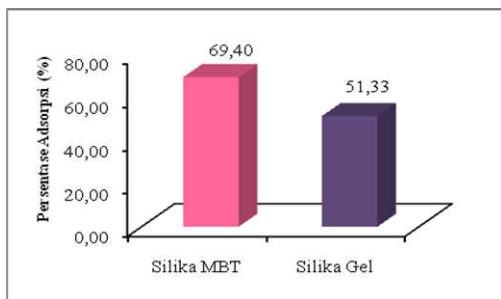
Karakterisasi dengan *Surface Area Analyzer (SAA)*

Dari hasil yang diperoleh diketahui luas permukaan pada silika gel sebesar 163 m^2/g menandakan bahwa pori masih kosong karena dilihat dari besarnya luas permukaan. Sedangkan pada silika MBT sebesar 30 m^2/g menunjukkan terjadinya pengurangan luas permukaan spesifik. Hal ini diduga bahwa pori silika MBT telah tertutupi dengan MBT di dalam pori silika tersebut dan juga menandakan bahwa sebagian besar MBT terdistribusi pada gugus silika gel. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadinya perbedaan antara silika gel dan silika MBT.

Uji Adsorpsi Ion Logam Cd²⁺ Terhadap Silika Gel dan Silika MBT

Uji adsorpsi untuk mengetahui kemampuan silika gel dan silika MBT yang dihasilkan dalam mengadsorpsi Cd²⁺. Silika Gel mempunyai gugus

silanol dan siloksan, Namun dengan adanya penambahan 2-merkaptobenzotiazol (MBT), permukaan aktif silika gel berubah menjadi gugus -SH (thiolat) yang merupakan suatu basa lunak. Berdasarkan aturan *Hard and Soft Acid and Bases* (HSAB) menurut Pearson (1963) bahwa kecenderungan reaksi akan lebih mudah untuk berinteraksi asam dari basa keras-keras dan lunak-lunak dibanding campuran keras-lunak dalam reaktan [7]. Pada penelitian ini, MBT yang ditambahkan pada pembentukan silika gel mengandung gugus basa lunak tiolat (-SH) sehingga diharapkan silika MBT yang dihasilkan mampu mengadsorpsi asam lunak Cd^{2+} . Kemampuan adsorpsi pada silika gel dan silika MBT dapat dilihat pada Gambar 5.

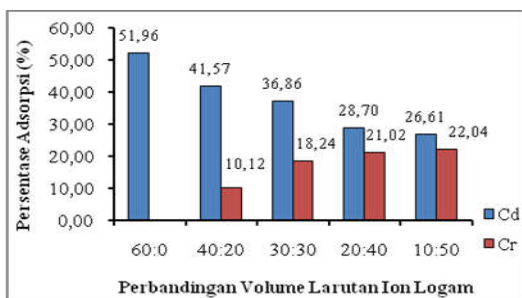


Gambar 5. Kemampuan Adsorpsi Silika Gel dan Silika MBT

Dari Gambar 8 diketahui bahwa silika MBT memiliki daya adsorpsi terhadap ion logam Cd^{2+} lebih besar bila dibandingkan dengan silika gel.

Uji Adsorpsi Ion logam Pengganggu (Cr^{6+}) Terhadap Silika MBT, Silika Gel dan Padatan MBT

Pada penelitian ini dilakukan penambahan ion logam Cr^{6+} sebagai larutan pengganggu untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh terhadap adsorpsi ion logam Cd^{6+} pada silika gel dan silika MBT. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 6.



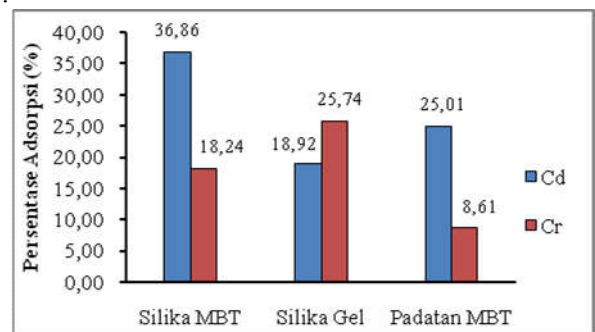
Gambar 6 Persentase Adsorpsi Silika MBT adanya Ion Logam Pengganggu Cr^{6+} dengan variasi volume Cd:Cr (60:0, 40:20, 30:30, 20:40, 10:50) pada konsentrasi 6 ppm

Pada Gambar 6 dapat dilihat hasil dari larutan ion Logam Cd^{2+} ditambahkan dengan ion logam Cr^{6+} dengan variasi volume larutan (60:0, 40:20, 30:30, 20:40, 10:50), dengan adanya ion logam pengganggu Cr^{6+} dapat menurunkan persentase dan kapasitas adsorpsi pada silika MBT terhadap ion logam Cd^{2+} , dari hasil variasi volume 30:30 ion logam Cd^{2+} dan Cr^{6+} dihasilkan persentase adsorpsi Cd^{2+} sebesar 36,86 % sedangkan pada ion logam Cr^{6+} persentase adsorpsi sebesar 18,24 %. Berdasarkan hasil yang didapat menunjukkan bahwa Ion logam Cr^{6+} masih bisa teradsorpsi pada silika MBT tetapi kapasitas dan persentase yang diperoleh cenderung lebih kecil karena pada ion logam Cr^{6+} adsorpsinya dengan permukaan bersifat lemah serta adanya efek kompetisi antara ion logam Cd^{2+} dan Cr^{6+} . Berbeda dengan ion logam Cd^{2+} yang terikat secara relatif lebih kuat dengan permukaan, jumlah ion yang terikat cenderung lebih banyak dari pada yang terlepas [8].

Pada penelitian ini juga diamati bahwa silika MBT dapat mengadsorpsi ion logam Cr^{6+} dengan kapasitas dan persentase adsorpsi yang lebih kecil dari pada ion logam Cd^{2+} . Hal ini menunjukkan bahwa adanya ion pengganggu mengurangi kemampuan silika MBT dalam mengikat ion logam Cd^{2+} .

Uji Adsorpsi Silika Ion Logam Pengganggu (Cr^{6+}) Terhadap Silika MBT, Silika Gel dan Padatan MBT

Pada penelitian ini juga dilakukan uji adsorpsi pada silika gel dan padatan MBT sebagai bahan perbandingan adsorpsi silika MBT, dimana dilakukan perbandingan volume (30:30) dengan konsentrasi 6 ppm. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Persentase Adsorpsi Silika MBT, silika Gel dan Padatan MBT dengan adanya Ion Logam Pengganggu Cr^{6+} dengan variasi volume Cd:Cr (30:30) pada konsentrasi 6 ppm

Berdasarkan gambar 7 dapat dilihat hasil persentase dan kapasitas adsorpsi silika MBT, Silika Gel dan padatan MBT. Dimana persentase adsorpsi

ion logam Cd terbesar yaitu pada silika MBT sebesar 36,86 % jika dibandingkan dengan silika gel dan padatan MBT, sedangkan persentase adsorpsi ion logam Cr^{6+} terbesar yaitu pada silika gel yaitu 25,74 %. Pada silika gel persentase dan kapasitas adsorpsi ion logam Cr^{6+} lebih besar dibandingkan dengan ion logam Cd^{2+} , hal ini dikarenakan bahwa silika gel memiliki gugus $-\text{OH}$ yang merupakan basa keras yang lebih cenderung mengikat Cr^{6+} yang merupakan asam kearah. Pada penelitian ini juga menandakan bahwa dengan adanya modifikasi silika dapat meningkatkan persentase dan kapasitas adsorpsi terhadap ion logam Cd^{2+} . Sedangkan persentase dan kapasitas adsorpsi yang diperoleh pada padatan MBT menunjukkan bahwa MBT lebih cenderung mengadsorpsi ion logam Cd^{2+} , pembahasan yang sama dari sebelumnya bahwa MBT yang memiliki gugus $-\text{SH}$ yang merupakan basa lunak lebih cenderung mengikat ion logam Cd^{2+} yang merupakan asam lunak. Dari hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa ion logam pengganggu Cr^{6+} dapat menurunkan kapasitas dan persentase adsorpsi dari silika MBT silika Gel, dan padatan MBT. Hal ini diduga bahwa gugus $-\text{SH}$ dari MBT tidak menutupi semua permukaan dari silika maka menyebabkan masih ada kemungkinan ion logam Cr^{6+} untuk berikatan dengan permukaan silika.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik silika gel sebelum dan sesudah penambahan 2-merkaptobenotiazol pada analisis XRF menunjukkan adanya kandungan SiO_2 sebesar 98,98 %. FT-IR menunjukkan adanya perbedaan, pada silika gel dan silika MBT terdapat peak yang muncul pada bilangan gelombang 2661 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur gugus $-\text{SH}$ sedangkan pada analisis SAA menunjukkan perbedaan pada luas permukaan pada silika gel sebesar $163 \text{ m}^2/\text{g}$ sedangkan pada silika MBT sebesar $30 \text{ m}^2/\text{g}$.
2. Persentase adsorpsi silika MBT dalam mengadsorpsi ion logam Cd^{2+} dihasilkan dan persentase 69,40% sedangkan persentase adsorpsi silika gel sebesar 51,33%.
3. Uji adsorpsi terhadap silika MBT terdapat kompetisi antara ion logam Cd^{2+} dan ion Logam Cr^{6+} dimana pada perbandingan volume ion Logam Cd^{2+} dan Cr^{6+} yaitu 30:30. Hasil persentase adsorpsi ion logam Cd^{2+} sebesar 36,86 %, sedangkan pada Cr^{6+} persentase adsorpsi sebesar 18,24 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistika (BPS). 2015. <https://www.bps.go.id/brs/view/id/1271>.
- [2] Luh, B. S. 1980. *Rice Production and Utilization, The Aui Publishing Company Inc. West Port Conecticut.*
- [3] Sulastri, S., dan Susila, K. 2010. Berbagai Macam Senyawa Silika Sintesis Karakterisasi Dan Pemanfaatan. Yogyakarta: *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Pendidikan dan Penerapan MIPA, Universitas Gaja Mada Press: 211–16.*
- [4] Tokman, N. 2003. *Solid Phase Exaraction of Bismuth Lead and Nickel from Sweawater Using Silica Gel Modified with 3-Aminopropyltriethoxysilane Filled in a Syringe Prior to Their Determination by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry. Talanta 201–205.*
- [5] Prastiyanto, A., Choiril, A., dan Adi, D. 2009. Pengaruh Penambahan 2-Merkaptobenotiazol (MBT) Terhadap Kemampuan Adsorpsi Gel Silika Dari Kaca Pada Ion Logam Kadmium. *Jurnal; Jurusan Kimia, Universitas Diponegoro. Semarang. (Ii): 1–13.*
- [6] Saito, T. 2004. *Inorganic Chemistry. Japan: Iwanami Publishing Company.*
- [7] Huheey, J. E., Keiter, E. A., dan Keiter, R. L. 1993. *Inorganic Chemistry Fourth Edition. New York: Harper Collins College Publisher.*
- [8] Amri, A., Supranto., dan Fahrurrozi. 2004. Kesetimbangan Adsorpsi Optional Campuran Biner $\text{Cd}(\text{II})$ dan $\text{Cr}(\text{III})$ dengan Zeolit Alam Terimpregnasi 2-merkaptobenotiazol. Pekanbaru: *Jurnal Natur Indonesia, Fakultas Teknik, Universitas Riau.*
- [9] Handayani, P.A., Eko, N., dan Dyah, Pita. 2014. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. Semarang: *Jurnal Bahan Alam Terbarukan, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.*
- [10] Yusuf, M., Suhendar, D., dan Eko, P. H. 2014. Studi Karakteristik Silika Gel Hasil Sintesis dari Abu Ampas Tebu dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida. *Jurnal istek 8.1*
- [11] Sholika. I., Friyatmoko W. K., dan Erma. D.S. Sintesis dan Karakterisasi Silika dari Limbah Abu Sekam Padi (Oriza Sativa) dengan variasi Konsentrasi Pengasaman. *Pelita-Jurnal Penelitian Mahasiswa UNY 2.*