



## ADSORPSI Hg DENGAN SILIKA GEL DARI ABU DASAR BATUBARA YANG DIMODIFIKASI DENGAN MERKAPTOBENZOTIAZOL (MBT)

Wiwik Setiyaningsih, Khamidinal, Imelda Fajriyati, Didik Krisdiyanto\*

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
Jl. Marsda Adisucipto Yogyakarta 55281 Telp. +62-274-540971  
Email: didik\_kris@yahoo.com\*

**Abstrak.** Telah dilakukan adsorpsi Hg (II) dengan silika gel dari abu dasar batubara yang dimodifikasi dengan merkaptobenzotiazol (MBT). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kesetimbangan dan kinetika adsorpsi Hg dengan adsorben silika gel dan silika gel-MBT. Sintesis silika gel dan silika gel-MBT dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu pembuatan natrium silikat, pengikatan gugus MBT pada silika gel yang termodifikasi, pembentukan silika gel, adsorpsi silika gel dan silika gel-MBT terhadap logam Hg (II). Modifikasi silika dilakukan dengan cara impregnasi, yaitu proses memasukkan material tertentu ke dalam pori-pori pellet yang melibatkan interaksi fisika antara pori dengan material impregnan. Silika gel dan silika gel-MBT yang diperoleh dikarakterisasi dengan spektrofotometer Infra-Merah. Kemampuan adsorpsi produk terhadap Hg (II) dianalisis dengan UV-Vis. Kesetimbangan adsorpsi Hg (II) oleh adsorben silika gel mengikuti model kesetimbangan Langmuir. Sedangkan adsorben silika gel-MBT diduga mengikuti model kesetimbangan Freundlich. Kinetika adsorpsi Hg (II) oleh adsorben silika gel dan silika gel-MBT diduga mengikuti model pseudo orde satu, yaitu adsorben silika gel memiliki laju reaksi yang lebih cepat dibandingkan adsorben silika gel-MBT, akan tetapi adsorben silika gel-MBT memiliki daya adsorpsi yang lebih besar dibandingkan adsorben silika gel.

**Kata kunci:** Silika gel, Hg, Mercaptobenzotiazol.

This publication is licensed under a



### Pendahuluan

Dewasa ini, kemajuan industri begitu pesat. Pembangunan dalam bidang industri pada mulanya bertujuan untuk memberikan kemudahan bagi manusia melalui produknya seperti alat-alat listrik (lampu merkuri), baterai dan lain-lain (Alfian, 2006). Seiring dengan berkembangnya bidang industri, bidang industri juga telah mengalami peningkatan dalam penggunaan logam berat. Hal ini disebabkan logam berat dapat menghantarkan listrik dan panas, serta logam berat juga dapat berfungsi untuk membantu proses fisiologis makhluk hidup. Akan tetapi, pada kenyataannya logam berat tidak hanya memberikan manfaat, melainkan juga telah banyak menimbulkan pencemaran yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup (Raya, 2002), salah satunya yaitu logam berat merkuri (Hg (II)). Merkuri dalam jumlah konsentrasi yang tinggi mempunyai potensi sebagai polutan yang bersifat toksik. Oleh karena itu, U.S. Food and

Administration (FDA) menentukan pembakuan atau Nilai Ambang Batas (NAB) kadar merkuri yang terdapat di dalam jaringan tubuh badan air, yaitu sebesar 0,005 ppm. NAB yaitu suatu keadaan dimana suatu larutan kimia, dalam hal ini merkuri belum membahayakan bagi kesehatan manusia. Kadar merkuri jika sudah melampaui NAB dalam air atau makanan, maka air ataupun makanan yang diperoleh dari tempat tertentu harus dinyatakan berbahaya. NAB air yang mengandung merkuri total 0,002 ppm, total merkuri ini juga digunakan untuk perikanan (Budiono, 2003).

Daya racun yang dimiliki oleh logam Hg (II) dapat menyebabkan dampak negatif terhadap manusia diantaranya terjadinya penyempitan pada medan penglihatan, gangguan

akomodasi dan keseimbangan otot mata (Sudarmadji, 2001). Selain itu merkuri juga dapat bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia (Putra dan Johan, 2007).

Berdasarkan dampak negatif yang disebabkan oleh logam berat Hg (II), maka diperlukan beberapa cara atau metode untuk menanggulangi logam Hg (II). Salah satu metode yang berkembang pada saat ini adalah metode adsorpsi, diantaranya adalah adsorpsi dengan silika gel. Salah satu upaya untuk mendapatkan adsorben yang relatif murah dapat dilakukan dengan cara pemanfaatan limbah, salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan adalah limbah abu dasar dari batubara. Abu dasar batubara dapat dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan adsorben silika gel, karena abu dasar batubara mengandung Si sebesar 50,58% dan Al sebesar 14,99% (Kula, 2008 dalam Sriyanti dkk, 2005).

Pembuatan silika gel dari abu dasar batubara dengan menggunakan metode sol-gel. Metode sol-gel yaitu metode yang digunakan untuk menghasilkan produk melalui proses kimia di dalam suatu larutan pada temperatur rendah (Brinker dan Scherer, 1990 dalam Sriyanti dkk, 2005).

Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan selektifitas silika gel adalah dengan memodifikasi permukaan silika gel dengan cara impregnasi dengan bahan organik tertentu, salah satunya dengan merkaptobenzotiazol (MBT) (Ramlawati dan Darminto, 2010). Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan adsorben silika gel dan adsorben silika gel yang akan dimodifikasi melalui impregnasi dengan menggunakan merkaptobenzotiazol (MBT). Impregnasi yaitu proses memasukkan material tertentu ke dalam pori-pori pellet yang

melibatkan interaksi fisika antara pori dengan material impregnan (Amri dkk, 2004). Penggunaan MBT sebagai bahan impregnan karena karakter MBT yang lebih menyukai ikatan dengan suatu asam lunak, yaitu berdasarkan konsep penggolongan asam-basa keras dan lunak (Saito, 2004), gugus –SH pada MBT termasuk basa lunak karena memiliki ukuran relatif besar dan mudah terpolarisasi. Berdasarkan sifat MBT tersebut, diharapkan gugus –SH yang diikatkan pada silika gel dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap logam berat Hg (II).

## Bahan dan Metode

### Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan adalah abu dasar batubara yang diperoleh dari pabrik gula Madukismo, Bantul, Yogyakarta. Bahan kimia yang digunakan adalah NaOH 2 M, HCl 6 N, HgCl<sub>2</sub>, NaOH 1 M, CH<sub>3</sub>COOH 1 N, Eosin (C.1. 45.380), 1, 10-phenanthrolin monohydrate, asam Etilena Diamin Tetra Asetat (EDTA), gelatin, dan akuades.

### Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan adalah ayakan 200 mesh, Oven, hot plate, pH meter electrochemical, magnetic stirrer, penyaring Bucner, dan peralatan gelas yang biasa digunakan. Sedangkan alat yang digunakan untuk analisis adalah FTIR Shimadzu 8300 dan spektrofotometri UV-Vis Spectronic 20 D+.

### Metode Penelitian

#### Pembuatan Silika Gel dari Abu Dasar Batubara

Abu dasar dihaluskan dengan ditumbuk. Kemudian abu dasar diayak dengan menggunakan ayakan berukuran 200 mesh. Selanjutnya abu dasar dikeringkan dengan oven pada suhu 200°C selama 2 jam.

Sebanyak 6 gram abu dasar batubara ditambah 200 mL NaOH 2 M. Selanjutnya larutan dipanaskan sambil diaduk dengan magnetic stirrer hingga mendidih. Setelah mendidih larutan didiamkan selama satu malam, kemudian ditambahkan 100 mL akuades diaduk dan disaring. Filtrat yang dihasilkan dari penyaringan adalah larutan natrium silikat.

Larutan natrium silikat yang dihasilkan kemudian ditambahkan HCl 6 N beberapa tetes hingga mencapai pH 7. Setelah mencapai pH 7, kemudian didiamkan selama 18 jam. Setelah itu disaring dan residu yang dihasilkan dioven hingga kering, kemudian dianalisis dengan FTIR.

#### Pembuatan Silika Gel-MBT

Sebanyak 4, 18125 gram MBT ditambah 250 mL natrium karbonat disertai dengan pengadukan, sehingga dihasilkan larutan merkaptobenzotiazol. Sebanyak 40 mL natrium silikat ditambah dengan larutan MBT 0,1 M sebanyak 40 mL. Kemudian ditambahkan dengan HCl 6 N beberapa tetes sambil diaduk hingga mencapai pH 7. Setelah pH 7, kemudian didiamkan selama 18 jam dan disaring. Residu yang dihasilkan kemudian dioven hingga kering, selanjutnya dikarakterisasi dengan FTIR.

#### Adsorpsi Hg dengan Silika gel\_MBT

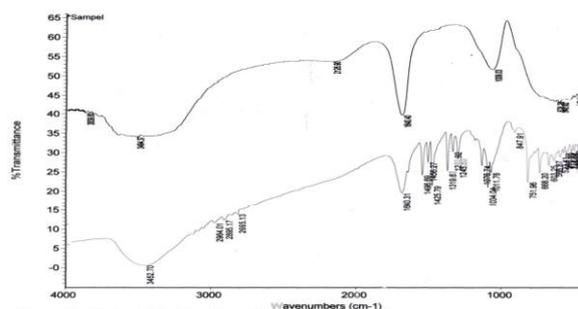
Sebanyak 200 mL larutan Hg (II) 100 ppm ditambahkan dengan adsorben silika gel dengan berat yang berbeda-beda, yaitu 0,3; 0,5; 0,75; dan 1 g. Kemudian larutan diaduk hingga 24 jam. Setelah diaduk hingga 24 jam, kemudian masing-masing larutan diambil 5 mL, setelah itu masing-masing larutan ditambah dengan 1 mL larutan EDTA, 5 mL larutan buffer, 2 mL larutan phenantrolin, dan 1 mL larutan gelatin. Kemudian didiamkan selama lebih dari 6 jam, setelah itu larutan ditambah dengan 5 mL larutan eosin selanjutnya diencerkan hingga 25 mL, kemudian dianalisis dengan menggunakan UV-Vis.

Sebanyak 200 mL sampel yang mengandung larutan Hg (II) 100 ppm ditambah dengan 1 gram adsorben silika, kemudian diaduk. Setelah itu, sebanyak 5 mL larutan sampel diambil setiap 1 menit sekali hingga 5 menit pertama, kemudian diambil 5 mL setiap 5 menit sekali hingga 25 menit pertama, dan diambil 5 mL setiap 10 menit hingga akhir percobaan. Selanjutnya masing-masing larutan yang diambil tersebut ditambah dengan 1 mL larutan EDTA, 5 mL larutan buffer, 2 mL larutan phenantrolin, dan 1 mL larutan gelatin, kemudian didiamkan selama lebih dari 6 jam. Setelah didiamkan kemudian masing-masing larutan ditambah dengan 5 mL larutan eosin dan diencerkan hingga 25 mL setelah itu dianalisis dengan menggunakan UV-Vis.

## Hasil dan Pembahasan

### Karakterisasi Silika Gel-MBT

Silika gel dan silika gel-MBT yang diperoleh dianalisis dengan spektroskopi FTIR. Berdasarkan hasil spektra spektra FTIR silika gel dan silika gel-MBT, terlihat bahwa kedua spektra tersebut terdapat perbedaan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Spektra Infra Red untuk Silika Gel Hasil Sintesis dan Silika gel Keisel

Berdasarkan spektra FTIR Gambar 4 dan Tabel 3 di atas, tampak bahwa silika gel-MBT mempunyai serapan pada panjang gelombang 3452,70 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya vibrasi ulur O-H dari Si-OH. Pita serapan pada bilangan gelombang 2964,01 cm<sup>-1</sup> merupakan vibrasi ulur C-H alifatik. Pita serapan yang terdapat pada bilangan gelombang 1640,31 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi tekuk dari ikatan molekul H<sub>2</sub>O, adanya gugus ini menandakan bahwa di dalam silika gel-MBT masih mengandung air. Pada bilangan gelombang 2665,13 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi ulur –SH. Hal lain yang menunjukkan bahwa MBT dapat terikat pada silika gel adalah adanya serapan sekitar 2895,17 cm<sup>-1</sup> dan 2964,01 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan vibrasi ulur C-H.

Munculnya pita serapan pada panjang gelombang 1076,74 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi ulur asimetri dari Si-O-Si, sementara vibrasi ulur simetri dari Si-O-Si terdapat pada panjang gelombang 668,20 cm<sup>-1</sup>. Munculnya pita serapan pada bilangan gelombang 479,69 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi ulur dari Si-O. Pita serapan 847,91 cm<sup>-1</sup> merupakan daerah vibrasi tekuk dari Si-H, menunjukkan bahwa dalam silika gel-MBT masih terdapat ikatan Si-H yang kemungkinan dalam pembuatan silika gel yang dimodifikasi dengan MBT masih belum sempurna (Khalifah, 2008).

Pada hasil spektra FTIR silika gel-MBT memiliki perbedaan dengan hasil spektra FTIR silika gel yaitu terdapatnya daerah serapan gugus tiolat (SH). Hal ini menunjukkan bahwa MBT dapat terikat pada silika gel meskipun hanya terikat secara fisik. Keberadaan gugus tiolat (-SH) dari MBT terlihat pada daerah serapan pada panjang gelombang 2665,13 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan vibrasi ulur gugus -SH, hal lain yang mendukung bahwa MBT dapat terikat pada silika gel adalah adanya serapan di sekitar panjang gelombang 2800-2900 cm<sup>-1</sup> (Prastiyanto dkk, 2008).

Interaksi antara MBT dengan silika gel merupakan interaksi yang lemah. MBT pada silika gel berfungsi untuk menambah situs-situs aktif silika gel sekaligus sebagai adsorben yang selektif. Hal ini disebabkan oleh adanya gugus tiolat (R-SH) pada MBT yang bersifat sebagai basa lunak, sebagaimana konsep asam-basa HSAB yang dikemukakan oleh Pearson. Menurut Pearson basa lunak cenderung akan berinteraksi dengan ion-ion yang berkarakter asam lunak seperti ion Hg (II) dengan membentuk ikatan kovalen (Sugiyarto, 2000).

Pita serapan pada bilangan gelombang 1496,69 cm<sup>-1</sup>, 1456,27 cm<sup>-1</sup>, dan 1425,79 cm<sup>-1</sup>, menunjukkan adanya vibrasi tekukan CH<sub>3</sub>. Pita serapan pada bilangan gelombang 1076,74 cm<sup>-1</sup>, 1034,04 cm<sup>-1</sup>, dan 1011,76 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya tekukan C-H aromatik. Pada bilangan gelombang 668,20 cm<sup>-1</sup> dengan serapan lemah menunjukkan adanya tekukan O-H.

Hasil spektra FTIR silika gel terdapat pita serapan pada bilangan gelombang 3494,37 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan adanya vibrasi ulur O-H dari SiOH. Pita serapan yang terdapat pada bilangan gelombang 1640,40 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi tekuk O-H dari ikatan molekul H<sub>2</sub>O, adanya gugus ini menandakan bahwa di dalam silika gel masih mengandung air. Munculnya pita serapan pada panjang gelombang 1009,03 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi ulur asimetri dari Si-O-Si, sedangkan vibrasi ulur simetri dari Si-O-Si terdapat pada panjang gelombang 578,28 cm<sup>-1</sup>. Munculnya pita serapan pada bilangan gelombang 443,84 cm<sup>-1</sup> dan 415,03 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya vibrasi ulur dari Si-O. Munculnya spektra dari gugus Si-OH dan Si-O-Si pada silika gel menunjukkan keberhasilan dalam sintesis silika gel (Sriyanti dkk, 2005).

#### Adsorpsi Hg dengan Silika gel\_MBT

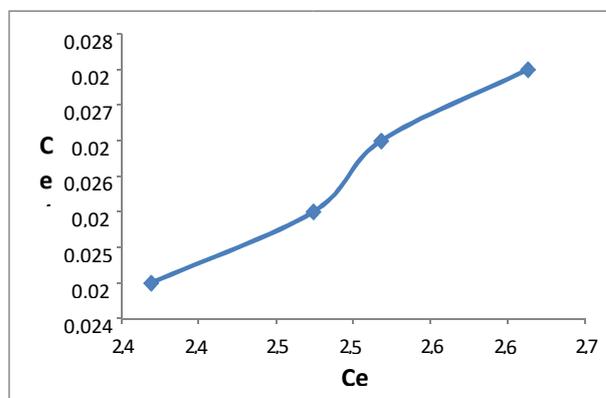
Dua model kesetimbangan adsorpsi yang digunakan adalah isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich. Model isoterm Langmuir dan Freundlich merupakan persamaan yang lazim digunakan untuk menggambarkan data adsorpsi dari suatu

larutan. Kemungkinan orde reaksi dari kedua model tersebut adalah semi orde pertama. Tidak semua data percobaan dapat sesuai dengan penggunaan model isoterm adsorpsi Langmuir ataupun Freundlich, karena masing-masing model memiliki asumsi tersendiri yang berbeda.

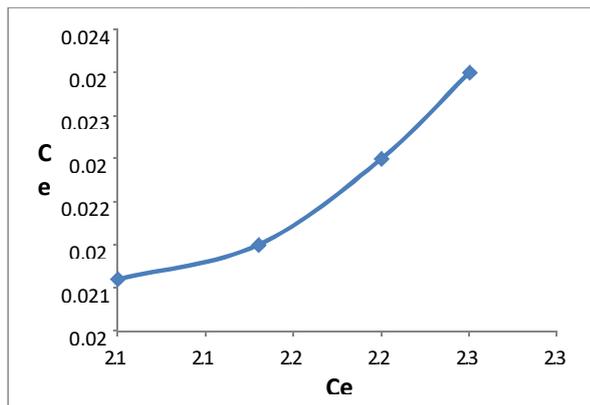
Gambar 2 hingga 8 tersebut menunjukkan kurva hubungan antara  $C_e$  dengan  $C_e/Q_e$  pada model Langmuir dan hubungan antara  $\ln C_e$  dengan  $\ln Q_e$  pada model Freundlich yang ditransformasikan mengikuti bentuk garis lurus (linear). Sementara itu, ukuran untuk melihat tingkat kesesuaian dari data percobaan ditentukan berdasarkan nilai korelasi ( $R^2$ ) terbesar. Nilai parameter adsorpsi isotermal menggunakan model Langmuir dan Freundlich untuk masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

Penentuan penggunaan model isoterm adsorpsi yang sesuai untuk kedua jenis adsorben dapat diketahui dengan melihat nilai korelasi ( $R^2$ ) terbesar, pada penelitian ini, data yang diperoleh pada adsorben silika gel tidak sesuai dengan model Freundlich. Hal tersebut dapat terlihat pada Tabel 4, dimana nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) pada adsorben silika gel lebih besar dibandingkan dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) pada adsorben silika gel-MBT. Nilai koefisien determinasi yang lebih besar menunjukkan bahwa proses adsorpsi pada adsorben silika gel tidak sesuai dengan beberapa asumsi model Freundlich. Hal tersebut disebabkan oleh proses adsorpsi yang terjadi pada adsorben silika gel adalah secara kimia, yaitu terjadi ikatan antara adsorben dengan adsorbat. Ikatan yang terjadi antara adsorben adalah ikatan hidrogen yaitu dengan lepasnya ion H<sup>+</sup> dari gugus fungsional tiol (-SH) dengan ion logam Hg (II). Ikatan hidrogen yang terdapat pada adsorben dengan adsorbat lebih kuat dan kemampuan adsorpsi pada adsorben silika gel lebih kecil dibandingkan adsorben silika gel-MBT.

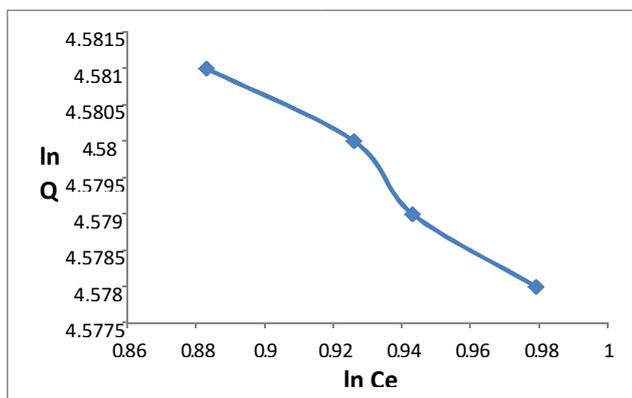
Proses adsorpsi pada adsorben silika gel yang diperoleh merupakan sistem memiliki tingkat energi yang homogen, sehingga afinitas molekul yang terserap sama disetiap lokasinya. Selain itu, adsorbat yang terserap membentuk lapisan tunggal (monolayer) dan tidak terdapat interaksi antara molekul yang terserap. Grafik regresi antara  $C_e$  dengan  $C_e/Q_e$  pada adsorben silika gel dan silika gel-MBT untuk isoterm Langmuir dapat dilihat pada Gambar 2.



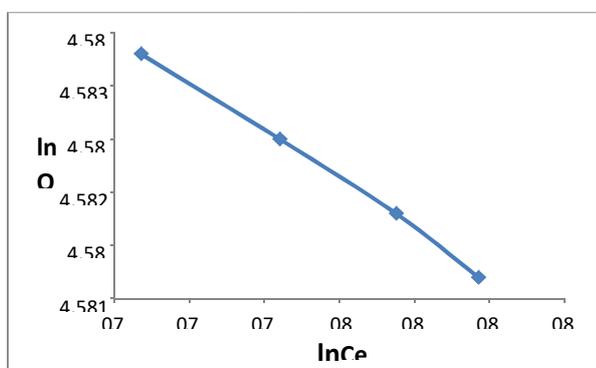
(a)



(b)



(c)



(d)

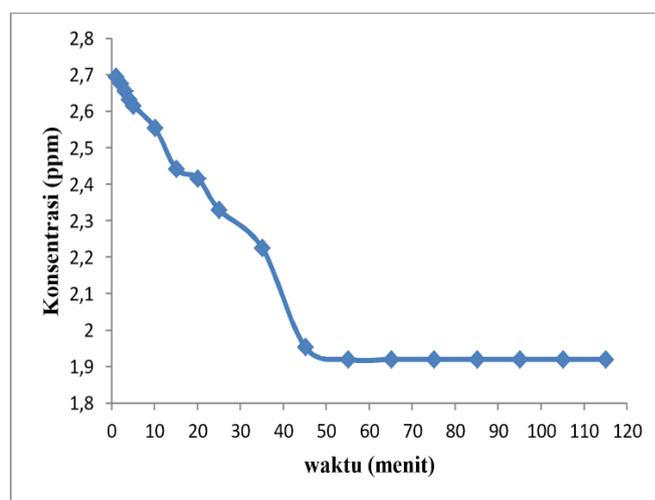
**Gambar 2.** kurva isotherm adsorpsi (a) Langmuir Silika gel, (b) Langmuir Silika gel-MBT, (c) Fruendlich Silika gel (d) Fruendlich Silika gel-MBT.

Data penelitian yang diperoleh pada adsorben silika gel-MBT sesuai dengan model isotherm Freundlich. Hal tersebut terjadi karena proses adsorpsi yang terjadi adalah secara fisika. Ikatan antara adsorben silika gel-MBT dengan adsorbat cenderung lebih lemah, akan tetapi adsorben silika gel-MBT memiliki daya adsorpsi yang lebih besar daripada adsorben silika gel.

Proses adsorpsi pada adsorben silika gel-MBT terjadi pada banyak lapisan (multilayer). Hal ini sesuai dengan penelitian

yang dilakukan oleh Sriyanti dan Taslimah (2004), bahwa proses adsorpsi yang terjadi pada adsorben yang dimodifikasi dengan MBT adalah secara fisika atau fisisorpsi. Adsorpsi secara fisika dapat terjadi jika gaya intermolekuler lebih besar dari gaya tarik antar molekul atau gaya tarik-menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Gaya ini disebut gaya Van der Waals, dimana adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben.

Jenis adsorpsi secara fisika ini berlangsung sangat cepat dan reaksinya reversibel. Hal ini terjadi akibat energi yang dibutuhkan relatif rendah, sehingga gaya yang terjadi pada adsorpsi fisika ini termasuk lemah. Jika ditinjau dari energi aktivasinya tidak lebih dari 1 kkal/mol. Panas adsorpsi yang dilepaskan pada adsorpsi secara fisika ini lebih rendah jika dibandingkan dengan panas adsorpsi secara kimia yaitu sekitar 5-10 kkal/gram-mol (Widiastuti dkk, 2009).



**Gambar 3.** Kurva hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada silika gel

Model isotherm Freundlich juga menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan adalah heterogen, dimana tidak semua permukaan adsorben memiliki daya adsorpsi. Grafik regresi antara konsentrasi Hg (II) yang teradsorpsi ( $\ln Q_e$ ) dengan konsentrasi Hg (II) dalam silika gel dan silika gel-MBT untuk isotherm Freundlich dapat dilihat pada Gambar 2.

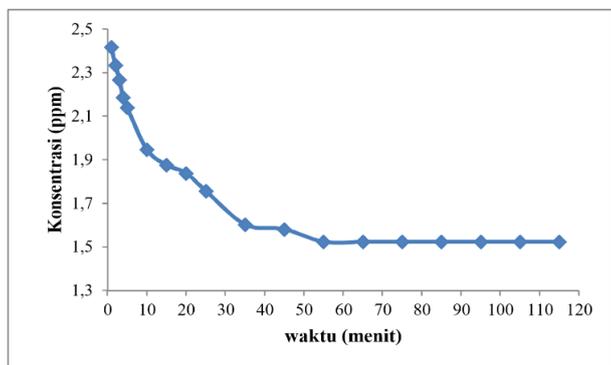
Berdasarkan Gambar 2 dari kurva Freundlich pada adsorben silika gel dan silika gel-MBT didapatkan nilai kemiringan persamaan laju reaksi adsorpsi yang merupakan konstanta laju adsorpsi ( $k_f$ ) dan ( $n$ ) yang menunjukkan indeks efisiensi adsorpsi. Penentuan nilai konstanta laju adsorpsi dilakukan pada adsorben yang berbeda, yaitu adsorben silika gel dan silika gel-MBT. Nilai konstanta laju adsorpsi dan indeks efisiensi adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 2.

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai  $n$  yang dihasilkan kurang dari satu dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) dari adsorben silika gel-MBT yang dihasilkan lebih besar atau mendekati satu. Hal tersebut mengindikasikan efisiensi adsorpsi masih berada dalam batas kecenderungan dan berkaitan dengan bentuk dari isotherm adsorpsi. Nilai konstanta  $n$  dari adsorben

silika gel-MBT adalah mendekati 0 pada model Freundlich, hal ini menunjukkan bahwa permukaan dari adsorben semakin heterogen (Afrizal, 2007).

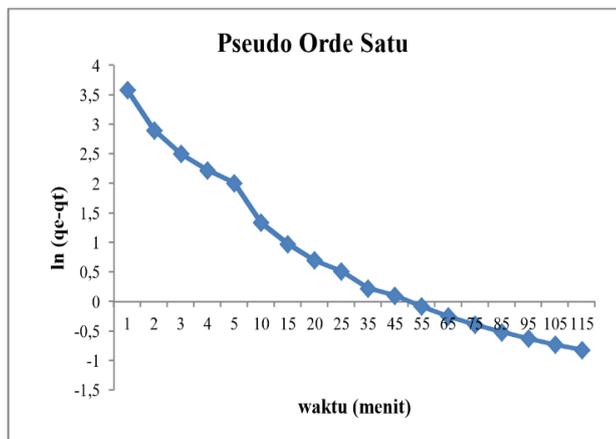
Penentuan kinetika adsorpsi Hg (II) dapat dilakukan dengan bervariasi waktu. Variasi waktu yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan yang diambil pada setiap 1 menit hingga 5 menit pertama, kemudian 5 menit hingga 25 menit pertama dan selanjutnya 10 menit hingga 115 menit. Penentuan variasi waktu tersebut digunakan untuk mengetahui seberapa cepat proses adsorpsi berlangsung. Proses adsorpsi dilakukan pada ion logam Hg (II) dengan konsentrasi awal 100 ppm.

Berdasarkan hasil pengamatan dengan membuat kurva hubungan antara waktu dengan konsentrasi Hg (II) yang teradsorpsi diperoleh kurva seperti Gambar 4.

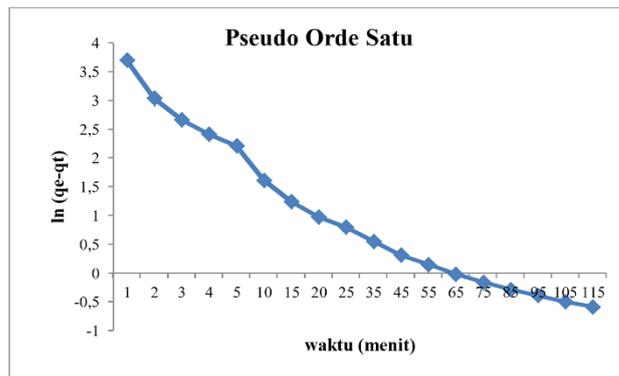


Gambar 4. Kurva hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada silika gel-MBT

Dari hasil data penelitian dilihat bahwa jumlah adsorbat yang teradsorpsi berbanding lurus dengan banyaknya posisi aktif pada adsorben yang belum berikatan dengan adsorbat. Pada Gambar 9 dan 10 konsentrasi Hg (II) mengalami penurunan sampai akhirnya konstan setelah dicapai suatu batas maksimum dalam proses adsorpsi logam Hg (II). Hal ini dapat terjadi akibat berkurangnya kemampuan adsorben untuk berikatan lagi dengan logam Hg (II), sehingga ikatan yang terjadi akan semakin lemah dan memungkinkan ada logam Hg (II) yang kembali terlepas dari ikatan pada adsorben.

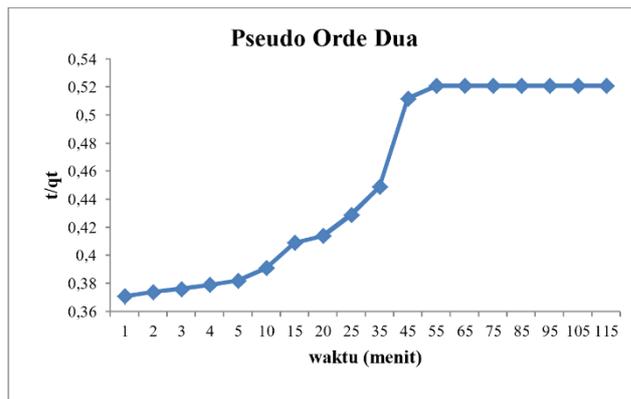


Gambar 5. Kurva hubungan antara waktu dengan ln(qe-qt) pada silika gel



Gambar 6. Kurva hubungan antara waktu dengan ln(qe-qt) pada silika gel-MBT

Untuk mempelajari kinetika adsorpsi yang berlangsung, data adsorpsi pada berbagai waktu interaksi diolah dengan menggunakan beberapa model kinetika. Model kinetika yang digunakan adalah model kinetika pseudo orde satu dan pseudo orde dua. Istilah pseudo orde satu dan dua diperkenalkan sejak tahun 1998, yaitu untuk membedakan dari persamaan kinetika yang diturunkan berdasarkan konsentrasi adsorbat dalam larutan (Ho dkk, 2000).

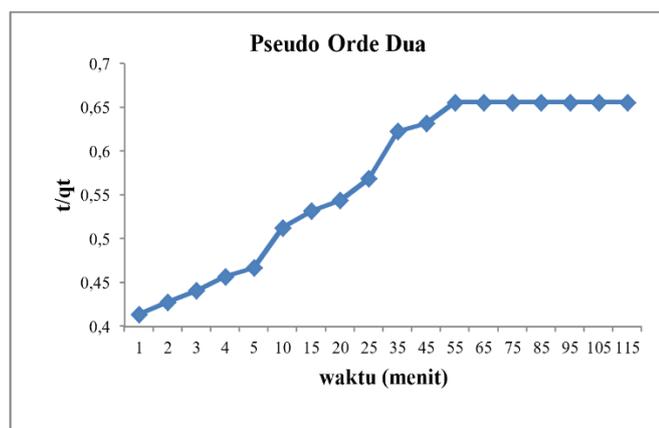


Gambar 7. Kurva hubungan antara waktu dengan t/qt pada silika gel

Berdasarkan data pada terlihat bahwa adsorpsi yang berlangsung pada adsorben silika gel dan silika gelMBT mengikuti pseudo orde satu, hal tersebut ditunjukkan dengan besarnya nilai korelasi (R<sup>2</sup>) pseudo orde satu dari masing-masing adsorben yang lebih besar dibandingkan dengan nilai korelasi (R<sup>2</sup>) dari pseudo orde dua. Nilai harga tetapan laju adsorpsi (k<sub>1</sub>) untuk adsorpsi Hg (II) pada adsorben silika gel relatif lebih besar dibandingkan dengan harga tetapan laju adsorpsi Hg (II) pada adsorben silika gel-MBT. Semakin besar harga tetapan laju, maka semakin cepat pula adsorpsi yang terjadi. Akan tetapi, adsorben silika gelMBT memiliki daya adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan adsorben silika gel. Hal ini diduga karena adanya substitusi langsung gugus -SH dari MBT terhadap gugus silanol pada silika gel. Adanya substitusi langsung gugus -SH dari MBT terhadap gugus siloksan pada silika gel dapat membuat

silika gel tersebut memiliki gugus -SH yang sangat berperan besar pada saat proses adsorpsi (Sriyanti dkk, 2005).

Gugus -SH dari MBT merupakan suatu basa lunak, sehingga gugus ini memiliki kemampuan untuk megadsorp ion logam Hg (II) yang merupakan asam lunak. Hal ini sesuai dengan prinsip HSAB, bahwa kekuatan interaksi adsorpsi juga dipengaruhi oleh sifat keras-lemahnya dari adsorben maupun adsorbat (Pearson 1963 dalam Amri dkk, 2004). Prinsip HSAB menunjukkan bahwa interaksi akan lebih mudah apabila asam keras dengan basa keras dan asam lunak dengan basa lunak.



**Gambar 8.** Kurva hubungan antara waktu dengan  $t/q_t$  pada silika gel- MBT

Berdasarkan Gambar 13 dan 14 yang menunjukkan kurva hubungan antara waktu dengan  $t/q_t$  diperoleh nilai  $R^2 = 0,891$  untuk adsorben silika gel dan  $R^2 = 0,909$  untuk adsorben silika gel-MBT. Nilai konstanta laju adsorpsi ( $k_2$ ) dan kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan ( $q_e$ ) yang dihitung dari nilai kemiringan dan perpotongan linier model kinetika pseudo orde kedua dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, nilai  $q_e$  hasil dari perhitungan dan percobaan pada interaksi antara Hg (II) dengan adsorben silika gel memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben silika gel-MBT. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi silika gel lebih besar dibandingkan dengan adsorben silika gel-MBT. Akan tetapi, nilai  $k_2$  untuk adsorpsi Hg (II) dengan adsorben silika gel-MBT memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan adsorpsi Hg (II) yang menggunakan silika gel. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi Hg (II) dengan silika gel-MBT lebih cepat dibandingkan dengan adsorpsi silika gel, karena semakin banyak posisi aktif yang dapat diisi oleh adsorbat, maka akan semakin mudah pula terjadinya adsorpsi sehingga laju reaksinya akan semakin cepat.

Dari fakta tersebut dapat disimpulkan bahwa adsorpsi logam Hg (II) lebih efektif dengan menggunakan adsorben silika gel-MBT dibandingkan dengan adsorben silika gel, karena adsorben silika gel-MBT memiliki nilai laju reaksi yang lebih tinggi, sehingga adsorben silika gel-MBT memiliki kemampuan untuk menyerap Hg (II) lebih banyak. Selain itu, adsorben silika gel-MBT juga memiliki nilai korelasi ( $R^2$ ) yang lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben silika gel.

Berdasarkan data hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa adsorben silika gel dan silika gel-MBT mengikuti kinetika adsorpsi pseudo orde satu. Hal ini ditunjukkan pada nilai korelasi ( $R^2$ ) pada pseudo orde satu terhadap masing-masing adsorben yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan nilai korelasi ( $R^2$ ) pada pseudo orde dua terhadap masing-masing adsorben. Pada adsorben silika gel mengikuti pseudo orde satu yaitu dengan memiliki laju adsorpsi yang lebih besar daripada adsorben silika gel-MBT, akan tetapi adsorben silika gel-MBT memiliki daya adsorpsi yang lebih tinggi daripada adsorben silika gel meskipun adsorben memiliki laju reaksi yang lebih lambat.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai bahwa kesetimbangan adsorpsi Hg (II) dengan adsorben silika gel yang tidak dimodifikasi dengan MBT mengikuti model kesetimbangan Langmuir. Proses adsorpsi yang terjadi adalah secara kimia. Kesetimbangan adsorpsi Hg (II) dengan adsorben silika gel yang dimodifikasi dengan MBT mengikuti model kesetimbangan Freundlich. Proses adsorpsi yang terjadi adalah secara fisika. Kinetika adsorpsi pada adsorben silika gel yang tidak dimodifikasi dengan MBT mengikuti pseudo orde satu, yaitu adsorben memiliki laju reaksi yang lebih besar, akan tetapi adsorben silika gel memiliki daya adsorpsi yang lebih kecil daripada adsorben silika gel-MBT. Kinetika adsorpsi pada adsorben silika gel yang dimodifikasi dengan MBT mengikuti pseudo orde satu, yaitu adsorben memiliki daya adsorpsi yang relatif lebih besar, akan tetapi adsorben silika gel-MBT memiliki laju reaksi yang lebih kecil daripada adsorben silika gel.

## Daftar Pustaka

- Afrizal, 2007, Selulosa Bakterial Nata De Coco Sebagai Adsorben pada Proses Adsorpsi Logam Cr (III), Jurnal Gradien (4) 1
- Alfian, Z., 2006, Merkuri : Antara Manfaat dan Efek Penggunannya bagi Kesehatan Manusia dan Lingkungan, USU Press: Medan
- Amri, A., Supranto, dan Fahrurrozi, M., 2004, Kesetimbangan Adsorpsi Optional Campuran Biner Cd (II) dan Cr (III) dengan Zeolit Alam Terimpregnasi 2- Merkapto-benzotiazol, Jurnal Natur Indonesia 6 (2) : 111-117
- Budiono, A., 2003, Pengaruh Pencemaran Merkuri terhadap Biota Air, Institut Pertanian Bogor : Bogor
- Ho, Y.S., Mc Kay, G., Wase, DAJ, dan Foster, C.F., 2000, Study of the Sorption of Divalent Metal Ions Onto Peat, Adsorp. Sci. Technol., 18: 639-643
- Khalifah, S.N., 2008, Studi Keseimbangan Adsorpsi Merkuri pada Biomassa
- Daun Enceng Gondok yang Diimmobilisasi pada Matriks polisilat, Universitas Negeri Malang: Malang
- Prastiyanto, A., Azmiyawati, C., dan Darmawan, A., 2008, Pengaruh Penambahan Merkapto-benzotiazol (MBT) terhadap Kemampuan Adsorpsi Gel Silika dari Kaca pada Ion logam Kadmium, Universitas Diponegoro : Semarang

- Putra, S.E. dan Johan, A.P., 2007, Bioremoval Metode Alternatif untuk Menanggulangi Pencemaran Lingkungan, Universitas Brawijaya: Surabaya
- Ramlawati dan Darminto, 2010, Karakterisasi Adsorben Selektif Zeolite-MBT, Universitas Negeri Makassar: Makassar
- Raya, I., Narsito, dan Bambang, R., 2002, Kinetika Adsorpsi Ion Logam Aluminium (III) dan Kromium (III) oleh Biomassa *Chaetoceros Calcitrans* yang Terimmobilisasi pada Silika Gel, *Jurnal Kimia Indonesia*
- Sriyanti dan Taslimah, 2004, Evaluasi Model Langmuir-Hinshelwood untuk Kinetika Adsorpsi Besi (III) pada 2-Merkaptobenzotiazol-Zeolit Alam, *JKSA* 7 (2)
- Sriyanti, Taslimah, Nuryono, dan Narsito, 2005, Sintesis Bahan Hibrida Amino Silika dari Abu Sekam Padi melalui Proses Sol-Gel, *JKSA* 1 (8) ; 1-3
- Saito, T., 2004, *Text Book of Inorganic Chemistry, Hard and Soft Acide and Bases*, Kanagawa University: Japan
- Widiastuti, Nurul, dan Intan, P.S., 2009, Adsorpsi Metylen Blue dengan Abu Dasar PT. IPMOMI Probolinggo Jawa Timur dan Zeolit Berkarbon