**Penerapan Lima Model Kesetimbangan Adsorpsi Isoterm pada**

**Adsorpsi Ion Logam Chrom VI oleh Zeolit**

**Syarifah Aini dan Supratikno**

**Jurusan Teknik Sipil Universitas Widya Dharma Klaten**

Jl. Ki Hajar Dewantara, Klaten 57438 Telp. 0272-322363 Fax. 0272-323288

Email: [aini07931@gmail.com](mailto:aini07931@gmail.com)

ABSTRAK

Ion logam chrom VI termasuk limbah logam berat yang perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut dengan menggunakan adsorben. Zeolit adalah adsorben yang cocok untuk menyerap ion logam chrom VI karena zeolit merupakan mineral alam yang mempunyai luas permukaan aktif per satuan massa yang besar dan daya afinitas yang cukup kuat. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan model yang cocok untuk kesetimbangan adsorpsi ion logam chrom VI oleh zeolit beserta nilai parameternya, dan mengetahui daya serap zeolit optimal terhadap ion logam chrom VI. Data Sekunder diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Handayani dan Sulistyono (2009), data yang didapat adalah konsentrasi ion logam chrom VI pada saat setimbang ( dan konsentrasi ion logam chrom VI yang teradsorpsi oleh zeolit pada saat setimbang pada berbagai konsentrasi ion logam chrom VI dalam sampel mula-mula yaitu konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm. Penelitian ini mengunakan metode penerapan model kesetimbangan adsorpsi isoterm yang meliputi 5 persamaan yaitu Adsorpsi Linier (Henry’s Law), Adsorpsi Isoterm Freundlich, Adsorpsi Isoterm Langmuir, Isoterm Brunauer-Emmett-Teller (BET), Persamaan Sigmoidal Chapman. Dari kelima model ini dilakukan fitting data untuk mencari model yang lebih mendekati data. Pencocokan data dilakukan dengan minimasi yang dilakukan oleh program Matlab. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang cocok yaitu model Adsorpsi Isoterm BET dengan nilai parameter yaitu nilai konstanta adsorpsi isoterm BET (CBET) sebesar 0,5183 l/mg, kapasitas maksimal adsorben saat setimbang secara teoritis (qs) adalah 149,9977 mg/g dan konsentrasi adsorbat jenuh pada lapisan monolayer (Cs) adalah 184,1691 mg/l.

**Kata kunci: Adsorben, Isoterm BET, Model Kesetimbangan Adsorpsi, Zeolit**

**I. Pendahuluan**

1.1 Latar Belakang

Limbah logam berat khususnya chromium merupakan limbah yang sering dibuang ke perairan oleh industri electroplating, penyamakan kulit atau industri kimia yang lain karena limbah ini termasuk limbah yang proses pemisahan ion logamnya cukup sulit dipisahkan melalui proses pengendapan ataupun proses koagulasi. Oleh karenanya, maka limbah ini perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut yaitu dengan proses adsorpsi. Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit, karena zeolit merupakan mineral alam yang mempunyai luas permukaan aktif per satuan massa yang besar dan mempunyai daya afinitas yang cukup kuat.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah menentukan model kesetimbangan adsorpsi ion logam chrom VI oleh zeolit beserta nilai nilai parameternya, dan menggunakan model kesetimbangan adsorpsi yang cocok untuk meramalkan daya serap zeolit optimal terhadap ion logam chrom VI melalui teori model kesetimbangan isoterm adsorpsi.

* 1. Tinjauan Pustaka

Adsorpsi dapat terjadi di permukaan adsorben padat, di dalam makropori dan mesopori, namun luas permukaaan ( surface area) adsorben padat sangat kecil sekali bila dibandingkan luas permukaan mikropori di mana sejumlah material teradsorpsi (internal surface area), sehingga ini biasanya diabaikan. Ketika laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi maka kesetimbangan telah tercapai dan kapasitas adsorben dapat diketahui. Secara teori, kapasitas penjerapan suatu adsorben terhadap kontaminan dapat dihitung dengan menerapkan adsorpsi isoterm (Metcalf dan Eddy, 2003).

Keberhasilan proses adsorpsi padat – cair tergantung pada performa adsorben yang digunakan, baik dalam hal kesetimbangan maupun kinetikanya. Adsorben dengan kapasitas yang tinggi (porous) tetapi memiliki afinitas yang rendah akan menjerap molekul cairan yang rendah, karena molekul cairan membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai permukaan padatan. Sementara adsorben dengan afinitas yang tinggi tetapi pori – pori sedikit hanya mampu menjerap molekul cairan dalam jumlah sedikit, sehingga adsorpsi kurang sempurna (Laksito, 2008).

Jumlah adsorbat yang dapat terjerap oleh absorben merupakan fungsi dari karakteristik & konsentrasi adsorbat serta temperatur. Karakteristik adsorbat seperti kelarutan, struktur molekul, berat molekul, polaritas dan hydrocarbon saturation merupakan hal yang penting. Pada umumnya, jumlah bahan yang teradsorpsi dapat dihitung sebagai fungsi dari konsentrasi pada temperatur konstan, dan fungsi ini dikenal sebagai Adsorption Isoterm (Metcalf dan Eddy, 2003).

1.4 Landasan Teori

Penelitian ini mengambil lima model kesetimbangan adsorpsi isoterm yaitu adsorpsi linier/Henry, Freudlich, Langmuir, Brunauer–Emmett– Teller (BET) dan Chapman. Adsorpsi linier berlaku pada sistem larutan yang sangat encer dan dinyatakan sebagai (Noll,dkk., 1992) :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Persamaan Freundlich berasumsi bahwa adsorpsi terjadi secara multilayer dan permukaan adsorben heterogen. Persamaan isoterm Freundlich dinyatakan sebagai (Metcalf dan Eddy, 2003) :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Persamaan Langmuir berdasarkan asumsi bahwa adsorpsi terjadi secara monolayer, bersifat reversible dan dinyatakan sebagai (Metcalf dan Eddy, 2003) :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Isoterm BET berlaku pada sistem adsorpsi multilayer dan dirumuskan sebagai berikut (Foo dan Hameed, 2010):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Persamaan ini menyatakan adsorpsi sangat kecil pada konsentrasi rendah namun adsorpsi akan meningkat dengan semakin meningkatnya konsentrasi larutan, persamaan sigmoidal Chapman dinyatakan sebagai (Chatterjee,dkk., 2010):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

Kadar chromium yang teradsorpsi oleh zeolit pada saat setimbang dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

1.5 Solusi dan Manfaat

Solusi yang ditawarkan dalam penelitian ini adalah menghasilkan model kesetimbangan adsorpsi isoterm yang cocok untuk proses adsorpsi ion logam chrom VI oleh zeolit melalui fitting data dengan bantuan *fminsearch* dalam MATLAB.

Manfaat penelitian ini adalah dapat memberikan kontribusi kepada khasanah ilmu pengetahuan tentang pengelolaan limbah logam berat khususnya ion logam chrom VI melalui proses kesetimbangan adsorpsi dengan penerapan 5 model kesetimbangan isoterm adsorpsi.

**II. Metode Penelitian**

2.1 Metode Pengambilan Data Sekunder

Data Sekunder diambil dari data primer yaitu penelitian yang dilakukan oleh Handayani dan Sulistyono (2009), data yang didapat adalah konsentrasi ion logam chrom VI pada saat setimbang ( dan konsentrasi ion logam chrom VI yang teradsorpsi oleh zeolit pada saat setimbang pada berbagai konsentrasi ion logam chrom VI dalam sampel mula-mula yaitu konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm.

Dari data sekunder ini dilakukan fitting data dengan menggunakan program Matlab yang sudah dibuat berdasarkan model kesetimbangan adsorpsi isoterm, kemudian model yang cocok akan dapat diamati dari visualisasi dan minimasi SSE. Model yang cocok dapat digunakan untuk memprediksi optimalisasi daya serap zeolit diberbagai konsentrasi ion logam chrom VI.

* 1. Model dan Analisis Data

Model yang dipakai dalam penelitian ini adalah model kesetimbangan adsorpsi isotherm yang meliputi 5 persamaan yaitu Adsorpsi Linier (Henry’s Law), Adsorpsi Isoterm Freundlich, Adsorpsi Isoterm Langmuir, Isoterm Brunauer-Emmett-Teller (BET), Persamaan Sigmoidal Chapman. Dari kelima model ini dilakukan fitting data untuk mencari model yang lebih mendekati data.

Data yang didapat adalah konsentrasi ion logam chrom VI pada saat setimbang ( dan konsentrasi ion logam chrom VI yang teradsorpsi oleh zeolit pada saat setimbang pada berbagai konsentrasi ion logam chrom VI dalam sampel mula-mula yaitu konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm.

Dalam penentuan nilai tetapan kesetimbangan, seperti nilai K untuk model Henry, nilai Kf & nilai n untuk model Freundlich dan seterusnya, maka nilai tetapan kesetimbangan tersebut ditebak terlebih dahulu dan kemudian dilakukan proses pencocokan terhadap data qe sampel dengan minimasi SSE. Proses minimasi dilakukan dengan program Matlab, menggunakan alat bantu berupa *fminsearch.* Selain berdasarkan nilai SSE, penentuan model kesetimbangan yang cocok juga berdasarkan penilaian secara visual, kedekatan model dengan data percobaan

**III. Hasil dan Pembahasan**

3.1 Kesetimbangan Adsorpsi pada Berbagai Model

Kesetimbangan adsorpsi merupakan informasi penting yang dapat menunjukkan distribusi molekul adsorbat pada fase cair dan padat ketika proses adsorpsi mencapai kesetimbangan. Percobaan kesetimbangan adsorpsi pada berbagai jenis ukuran partikel zeolit dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum zeolit dalam menyerap

ion logam Chrom VI. Hasil pencocokan data percobaan dengan berbagai model kesetimbangan ditampilkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1.** Hasil Pencocokan Data Adsorpsi Ion Chrom VI oleh Zeolit pada Berbagai Model Kesetimbangan

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Co data  (ppm) | Ce data  (ppm) | qe  data  (mg/g) | Henry  qe hitung (mg/g) | Freundlich  qe hitung  (mg/g) | Langmuir  qe hitung  (mg/g) | BET  qe hitung  (mg/g) | Chapman  qe hitung  (mg/g) |
| 5  10  15  20 | 4,11  8,15  12,13  16,14 | 1,78  3,70  5,74  7,71 | 1,92  3,81  5,67  7,54 | 2,62  4,18  5,48  6,65 | 2,04  3.92  5,66  7,32 | 1,79  3,68  5,66  7,80 | 1,15  4,14  6,28  7,37 |



**Gambar 3.1.** Kesetimbangan Ion Chrom VI dalam Zeolit pada Berbagai Model

**Tabel 3.2.** Nilai Parameter Masing-Masing

Model Kesetimbangan

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Model Kesetimbangan** | **Konstanta** | |
| Henry | K (l/g)  SSE | 0,4671  0,0655 |
| Freundlich | Kf (l/g)  n  SSE | 0,9957  1,4635  2,1272 |
| Langmuir | a (mg/g)  b (l/mg)  SSE | 63,4667  0,0081  0,2745 |
| BET | qs ( mg/g)  CBET (l/mg)  Cs (mg/l)  SSE | 149,9993  0,5183  184,1691  0,015 |
| Chapman | α (mg/g)  β  γ  SSE | 8,2002  0,2227  3,844  0,9977 |

Dari tabel dan gambar diatas dapat diamati bahwa semakin tinggi konsentrasi ion logam chrom VI , maka akan semakin banyak ion logam chrom VI yang teradsorpsi. Hal ini disebabkan dengan semakin tinggi konsentrasi ion logam chrom VI akan semakin banyak ion yang berinteraksi dengan rongga-rongga zeolit sehingga ion-ion tersebut akan lebih banyak terserap oleh zeolit pada keseimbangan

tertentu dan menyebabkan tingkat adsorpsinya semakin besar.

Secara visual pada gambar 3.1 dapat dilihat bahwa garis model yang lebih mendekati data percobaan adalah model Henry, Langmuir dan BET. Sedangkan pada tabel 3.2 nilai SSE yang paling kecil adalah nilai SSE pada model BET. Kedua hal ini bisa dijadikan pertimbangan untuk menentukan model mana yang paling cocok untuk proses kesetimbangan adsorpsi ion logam chrom VI oleh zeolit. Maka dalam hal ini akan kita bahas satu per satu model mana yang tepat dan dapat digunakan untuk mewakili proses kesetimbangan ini, dengan menampilkan berbagai grafik pada berbagai model kesetimbangan yang telah diajukan dalam penelitian ini.

**Model Henry**

**Gambar 5.2.** Kesetimbangan Ion Chrom VI dalam Zeolit pada Model Henry

Dari gambar 5.2 terlihat bahwa model Henry mendekati data percobaan atau eksperimen dari proses kesetimbangan adsorpsi ion logam chrom VI oleh zeolit, dengan nilai SSE = 0,0655 dan nilai konstanta kesetimbangan isoterm Henry (K) sebesar 0,4671 l/g.

**Model Freundlich**

**Gambar 5.3.** Kesetimbangan Ion Chrom VI dalam Zeolit pada Model Freundlich

Gambar 5.3 memperlihatkan bahwa model Freundlich tidak mendekati data percobaan atau eksperimen dari proses kesetimbangan adsorpsi ion logam chrom VI oleh zeolit, hal ini terlihat nilai SSE = 2,1272, nilai tetapan kesetimbangan Freundlich (Kf) sebesar 0,9957 l/g dan nilai parameter intensitas Freundlich (1/n) = 0,6833.

**Model Langmuir**

**Gambar 5.4.** Kesetimbangan Ion Chrom VI dalam Zeolit pada Model Langmuir

Dari gambar 5.4 terlihat bahwa model Langmuir mendekati data percobaan atau eksperimen dari proses kesetimbangan adsorpsi ion logam chrom VI oleh zeolit, dengan nilai SSE = 0,2745 dan nilai konstanta kesetimbangan Langmuir (b) sebesar 0,0081 l/mg dan konsentrasi maksimal zeolit (a) adalah 63,4467 mg/g.

**Model BET**

**Gambar 5.5.** Kesetimbangan Ion Chrom VI dalam Zeolit pada Model BET

Dari gambar 5.5 terlihat bahwa model BET sangat mendekati data percobaan atau eksperimen dari proses kesetimbangan adsorpsi ion logam chrom VI oleh zeolit, dengan nilai SSE = 0,015, nilai konstanta adsorpsi isoterm BET (CBET) sebesar 0,5183 l/mg, kapasitas maksimal adsorben saat setimbang secara teoritis (qs) adalah 149,9977 mg/g dan konsentrasi adsorbat jenuh pada lapisan monolayer (Cs) adalah 184,1691 mg/l.

**Model Chapman**

**Gambar 5.6.** Kesetimbangan Ion Chrom VI dalam Zeolit pada Model Chapman

Dari gambar 5.6 terlihat bahwa model Chapman kurang mendekati data percobaan atau eksperimen dari proses kesetimbangan adsorpsi ion logam chrom VI oleh zeolit, dengan nilai SSE = 0,9977, nilai tetapan kesetimbangan (β) sebesar 0,2227, nilai tetapan kesetimbangan (γ) adalah 3,8449 dan konsentrasi maksimal adsorben (α) adalah 8,2002 mg/g.

**IV. Kesimpulan**

Secara visual gambar dari kelima grafik kesetimbangan ion logam chrom VI dalam zeolit, model yang mendekati data eksperimen ada 3 model yaitu model Henry, model Langmuir, dan model BET.

Model BET ditentukan sebagai model yang cocok untuk mewakili proses kesetimbangan adsorpsi ion logam chrom VI oleh zeolit.

Nilai parameter dari model BET adalah nilai konstanta adsorpsi isoterm BET (CBET) sebesar 0,5183 l/mg, kapasitas maksimal adsorben saat setimbang secara teoritis (qs) adalah 149,9977 mg/g dan konsentrasi adsorbat jenuh pada lapisan monolayer (Cs) adalah 184,1691 mg/l.

Maka estimasi nilai daya serap zeolit optimal dapat ditentukan dari model BET sebesar 149,9977 mg/g.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih penulis sampaikan kepada Universitas Widya Dharma Klaten, sebagai homebased dan tempat kami melakukan penelitian ini, dan kepada Kemenristek Dikti sebagai penyandang dana dalam penelitian ini, dan juga semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Chatterjee, S., Dae, S., Lee, Min, W., Seung, H., dan Woo. (2010). Enhanced Molar Sorption Ratio for Naphthalene through the Impregnation of Surfactant into Chitosan Hydrogel Beads. *Bioresour. Technol. 101*,4315–4325.

Do, D.D. (1998). *Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics*. London: Imperial College Press.

Foo, K.Y., dan Hameed, B.H.(2010). Review Insights Into the Modeling of Adsorption Isotherm Systems*. Chem. Eng. J. 156*, 2-10.

Hinz, C. (2001). Description of Sorption Data with Isotherm Equations. *Geoderma 99*, 225–243.

Laksito, D.(2008). *Kesetimbangan Fasa Amonia pada Air dan Sedimen di Sungai* (*Tesis*). Tersedia dari Digital Library UGM Yogyakarta.

Metcalf dan Eddy. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. (Fourth edition). New York: Mc. Graw hill.

Noll, K.E., Gounaris, V., dan Wang, S.H. (1992). *Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control*, USA: Lewis Publisher, Inc.

Saputra, B.W. (2008). *Desain Sistem Adsorpsi*. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.