

KESETIMBANGAN ADSORPSI LOGAM Fe (II) MENGGUNAKAN KARBON AKTIF DARI AMPAS TEBU SEBAGAI ADSORBEN

Mira Yuanita¹⁾, Silvia Reni Yenti²⁾, Chairul²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293

ABSTRACT

Bagasse is a by-product from pressing liquid sugar. One of the efforts to control the bagasse is processed into activated carbon. This study aims to activated carbon from bagasse, study the effect of Fe (II) concentration on activated carbon from bagasse and adsorption equilibrium model. Processing bagasse into actived carbon carbonization process is carried out at a temperature of 320 °C for 2 (two) hours. After that activated with KOH ratio 3:1. 2 grams of activated carbon was added to the beaker containing the solution of Fe (II) at various concentration (20; 30; and 40 ppm), and the reaction temperature (40; 50; and 60 °C). The results showed that activated carbon adsorption for 20 ppm and 40 °C is 90,80%, followed equilibrium Freundlich and Langmuir isotherm models (with regretion 0,986 and 0,985) and the heat of reaction of 2,24 kcal/mol°K.

Keywords : *adsorption, ion Fe (II), adsorption isotherm, activated carbon*

1. Pendahuluan

Tebu merupakan tanaman bahan baku pembuatan gula yang hanya dapat ditanam di daerah beriklim tropis. Tanaman tebu di Indonesia banyak ditanam oleh para petani kecil baik atas usaha sendiri maupun atas usaha kerjasama dengan pabrik gula atau pabrik gula yang menyewa lahan pertanian penduduk dan sekaligus mengupah tenaganya dalam usaha mengembangkan tanaman tebu bagi keperluan memenuhi bahan baku bagi pabriknya [Kartasapoetra, 1988].

Pada serat ampas tebu terdapat selulosa yang mengandung gugus aktif karboksil dan lignin yang mengandung gugus fenolat. Menurut Husin [2007], komposisi kimia ampas tebu terdiri dari adanya selulosa (37,65%), lignin (22,09%), pentosa (27,97%), SiO₂ (3,01%), abu (3,82%), dan sari (1,81%). Dari komposisi, ampas tebu bisa dikonversi menjadi sumber karbon sehingga berperan penting pada proses adsorpsi.

Karbon aktif merupakan salah satu bahan alternatif yang digunakan untuk penyerapan larutan logam besi. Karbon aktif atau sering juga disebut sebagai arang aktif adalah suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang sangat besar. Hanya dengan satu gram dari karbon aktif, akan didapatkan suatu material yang memiliki luas permukaan kira – kira sebesar 500 m² (didapat dari pengukuran adsorpsi gas nitrogen). Biasanya pengaktifan hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaannya saja, namun beberapa usaha juga berkaitan dengan meningkatkan beberapa kemampuan adsorpsi karbon aktif itu sendiri sehingga mampu menyerap sejumlah pengotor dalam air. Dalam penentuan proses adsorpsi dilakukan kesetimbangan adsorpsi. Model kesetimbangan adsorpsi ada dua yaitu Freundlich dan Langmuir. Model kesetimbangan Freundlich menunjukkan bahwa adsorben tersebut bersifat multilayer

dan terjadi secara fisika. Sedangkan Langmuir menunjukkan bahwa adsorben tersebut monolayer.

Besi (Fe) adalah logam dengan nomor atom 26, massa atom 55,85 g/mol, dan titik lebur 1536 °C. Jika besi berada didalam air, maka besi akan tersuspensi dan berwarna kecoklatan. Suspensi yang terbentuk akan menggumpal dan mengendap di dasar badan air. Sehingga diperlukan adsorben alternatif untuk mengadsorpsi larutan besi salah satunya dengan karbon aktif dari ampas tebu.

Sudibandriyo [2003], telah melakukan penelitian pembuatan karbon aktif dari ampas tebu dengan aktivasi kimia menggunakan KOH dan $ZnCl_2$ dengan rasio perbandingan aktivator dengan massa karbon 1:1; 2:1; 3:1. Aktivasi dilakukan selama 1 jam pada suhu 700 °C. Diperoleh hasil penelitian dengan luas permukaan tertinggi sebesar 938,2 m²/gram dengan aktivasi menggunakan KOH dengan perbandingan aktivator dengan massa karbon aktif 3:1.

Asbahani [2013], telah melakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah ampas tebu dengan proses karbon aktif untuk menurunkan kadar logam Fe (II) yang terdapat pada air sumur dengan proses karbonisasi pada suhu 320 °C selama 2 jam. Penelitian ini memvariasikan massa karbon aktif sebanyak 0,5; 1; 1,5; dan 2 gram pada sistem batch dengan kecepatan pengadukan 100 rpm selama 30; 60; 90; 120 dan 150 menit. Didapatkan penyerapan logam Fe (II) dengan efisiensi sebesar 90,32% pada waktu 90 menit dengan massa karbon 2 gram.

Munandar dkk [2014], telah melakukan proses adsorpsi logam Pb (II) dan Fe (II) dengan menggunakan zeolit alam teraktivasi menggunakan asam sulfat 0,5 M yang digunakan untuk mengadsorpsi logam Pb (II) dan Fe (II) dan mempelajari kesetimbangan dan kinetika adsorpsinya. Dengan memvariasikan waktu kontak 15; 30; 45; 60; dan 75 menit dan variasi konsentrasi 10; 30; 50; 70; 90; 150; 200; dan 500 ppm. Hasilnya isotherm langmuir

baik untuk satu komponen dan untuk multikomponen.

2. Metodologi Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ampas tebu yang diambil dari limbah penjualan air tebu di daerah Pekanbaru, KOH, Aquades, $FeSO_4 \cdot 2H_2O$.

Alat yang digunakan yaitu pengayak 60 mesh, stirrer magnetik, gelas kimia, termometer, furnace, oven, pompa vakum, timbangan analitik, dan labu ukur.

Variabel tetap dalam penelitian ini berupa volume larutan Fe (II) 0,5 L, massa karbon aktif 2 gram, dan kecepatan pengadukan 200 rpm. Sedangkan untuk variabel tidak tetap berupa konsentrasi larutan $FeSO_4 \cdot 2H_2O$ (20; 30; dan 40 ppm), suhu reaksi (40; 50; dan 60 °C), dan waktu adsorpsi (30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit, 180 menit, 210 menit, 240 menit, 270 menit, dan 300 menit) pada penentuan waktu kesetimbangan.

2.1 Tahap Penelitian

2.1.1 Aktivasi Karbon Aktif Dari Ampas Tebu

Bahan baku karbon aktif didapat dari sisa penjualan pedagang air tebu yang berada di sekitar Pekanbaru. Dalam persiapan bahan baku, dilakukan pencucian terlebih dahulu pada ampas tebu untuk menghilangkan kotoran yang terdapat pada bahan baku. Bahan baku dipotong kecil – kecil ± 3 cm kemudian di keringkan dibawah sinar matahari selama satu hari.

Ampas tebu yang telah dikeringkan kemudian akan dijadikan sebagai bahan baku karbon aktif pada temperatur 320 °C selama 2 jam (Asbahani, 2013). Setelah proses karbonisasi selesai, arang dari ampas tebu tersebut didinginkan selama 15 menit menggunakan desikator. Kemudian setelah dingin arang diayak menggunakan saringan berukuran 60 – 80 mesh. Arang tersebut kemudian diaktivasi menggunakan KOH dengan perbandingan 1:3 sebanyak 300 gram KOH dan 100 gram karbon aktif [Sudibandriyo, 2011]. Aktivasi dilakukan

pada temperatur 200 °C selama 1 jam. Setelah proses aktivasi selesai, karbon aktif tersebut disaring dan dibilas menggunakan aquadest sampai mendekati pH netral, kemudian dikeringkan menggunakan oven sampai bahan tersebut benar – benar kering dan didinginkan kembali menggunakan desikator.

2.1.2 Penentuan Waktu Kesetimbangan

Proses adsorpsi ion Fe (II) menggunakan karbon aktif dari ampas tebu dilakukan secara batch. Untuk penentuan waktu kesetimbangan larutan Fe (II) dengan konsentrasi 20; 30; dan 40 ppm dan suhu reaksi 40; 50; dan 60 °C dengan volume 500 ml dimasukan kedalam gelas kimia 1 L, kemudian ditambah jumlah massa karbon aktif 2 gram. Campuran diaduk dengan stirrer magnetik dengan kecepatan 200 rpm dengan pengambilan sampel tiap 30 menit selama 5 jam. Setelah itu dipisahkan padatan karbon aktif dengan cairan Fe (II) menggunakan kertas saring. Konsentrasi Fe (II) ditentukan dengan AAS, selanjutnya daya jerap karbon aktif terhadap ion Fe (II) dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \dots\dots\dots(3-1)$$

Dimana :

Q_e = Jumlah adsorbat terjerap (mg Fe (II) /gram Karbon Aktif)

C_0 = Konsentrasi awal Fe (II) (ppm)

C_e = Konsentrasi Fe (II) pada kesetimbangan (ppm)

m = Massa adsorben (gram)

v = Volume larutan (L)

Berdasarkan data yang diperoleh dibuatlah kurva waktu vs daya jerap untuk menentukan waktu kesetimbangan ion Fe (II) pada karbon aktif dari ampas tebu.

2.1.3 Penentuan Daya Jerap

Setelah ditentukan waktu kesetimbangan larutan Fe (II) dengan variasi konsentrasi 20; 30; dan 40 ppm dan

suhu reaksi 40; 50; dan 60 °C dengan volume 500 mL dimasukan kedalam gelas kimia 1 L, kemudian ditambahkan jumlah massa karbon aktif 2 gram. Campuran ini diaduk dengan stirrer magnetik kecepatan 200 rpm dan menggunakan waktu kesetimbangan yang telah diperoleh pada percobaan 2.1.2. Setelah itu dipisahkan padatan karbon aktif dengan cairan Fe (II). Konsentrasi logam Fe (II) setelah proses adsorpsi ditentukan daya jerap karbon aktif menggunakan AAS.

2.1.4 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Untuk penentuan model isoterm adsorpsi logam Fe (II) pada karbon aktif dari ampas tebu, data yang diperoleh pada percobaan 2.1.3 diolah dengan ketentuan adsorpsi isoterm.

Pengujian model isoterm adsorpsi Freundlich dilakukan dengan cara pembuatan kurva log Q_e terhadap C_e , dan pengujian model isoterm Langmuir dilakukan dengan pembuatan kurva $1/Q_e$ terhadap $1/C_e$, pola adsorpsi ditentukan dengan cara membandingkan tingkat kelinieran kurva yang ditunjukkan oleh harga R^2 . Harga R^2 yang dapat diterima adalah $\geq 0,95$ atau $\geq 95\%$ [Suardana, 2008].

3. Hasil dan Pembahasan

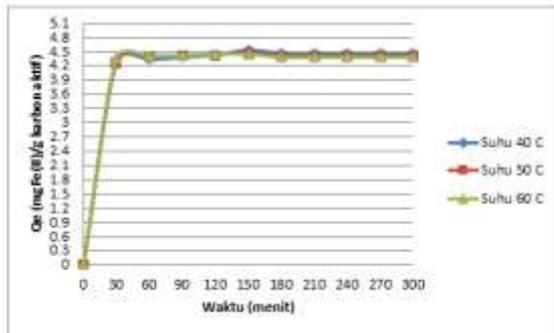
3.1 Waktu Kesetimbangan Penjerapan Logam Fe (II) oleh Karbon Aktif dari Ampas Tebu

Percobaan pendahuluan bertujuan untuk mendapatkan waktu kesetimbangan penjerapan logam Fe (II) oleh karbon aktif dari ampas tebu. Waktu kesetimbangan diperoleh jika tidak ada lagi perubahan konsentrasi adsorben pada sampel.

Untuk persentase penjerapan logam Fe (II) pada konsentrasi 20 ppm dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Persentase Penjerapan Logam Fe (II) pada Konsentrasi 20 ppm

Waktu (menit)	Konsentrasi Fe (II) setelah penyerapan (ppm) pada suhu			Persen Penyerapan (%)			Qe (mgFe(II)/g karbon aktif)		
	40 °C	50 °C	60 °C	40 °C	50 °C	60 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	20	20	20	0	0	0	0	0	0
30	2,71	2,93	2,565	86,35	85,35	87,175	4,31	4,26	4,35
60	2,67	2,46	2,431	86,68	87,68	87,845	4,33	4,38	4,39
90	2,43	2,39	2,341	87,83	88,05	88,295	4,35	4,40	4,41
120	2,36	2,31	2,231	88,69	88,45	88,845	4,43	4,42	4,44
150	1,83	2,11	2,211	90,87	89,45	88,945	4,54	4,47	4,44
180	2,11	2,38	2,49	89,44	88,11	87,55	4,47	4,40	4,37
210	2,11	2,38	2,49	89,44	88,11	87,55	4,47	4,40	4,37
240	2,11	2,38	2,49	89,44	88,11	87,55	4,47	4,40	4,37
270	2,11	2,38	2,49	89,44	88,11	87,55	4,47	4,40	4,37
300	2,11	2,38	2,49	89,44	88,11	87,55	4,47	4,40	4,37

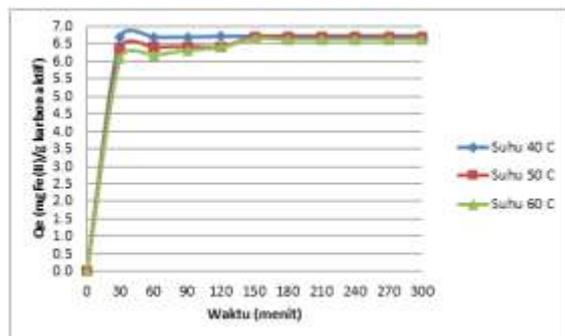


Gambar 3.1 Penyerapan Logam Fe (II) oleh Karbon Aktif dari Ampas Tebu pada Konsentrasi 20 ppm

Untuk persentase penyerapan logam Fe (II) pada konsentrasi 30 ppm dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Gambar 3.2

Tabel 3.2 Persentase Penjerapan Logam Fe (II) pada Konsentrasi 30 ppm

Waktu	Konsentrasi Fe (II) setelah penyerapan (ppm) pada suhu			Persen Penyerapan (%)			Qe (mgFe(II)/g karbon aktif)		
	40 °C	50 °C	60 °C	40 °C	50 °C	60 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	30	30,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	3,31	4,56	5,68	88,97	84,80	81,07	6,67	6,36	6,08
60	3,29	4,45	5,36	89,01	85,17	82,13	6,68	6,39	6,16
90	3,26	4,34	4,78	89,13	85,53	84,07	6,69	6,42	6,31
120	3,17	4,38	4,45	89,43	85,40	85,17	6,71	6,41	6,39
150	3,14	3,24	3,43	89,53	89,20	88,50	6,72	6,69	6,64
180	3,11	3,31	3,56	89,63	88,97	88,13	6,72	6,67	6,61
210	3,11	3,31	3,56	89,63	88,97	88,13	6,72	6,67	6,61
240	3,11	3,31	3,56	89,63	88,97	88,13	6,72	6,67	6,61
270	3,11	3,31	3,56	89,63	88,97	88,13	6,72	6,67	6,61
300	3,11	3,31	3,56	89,63	88,97	88,13	6,72	6,67	6,61

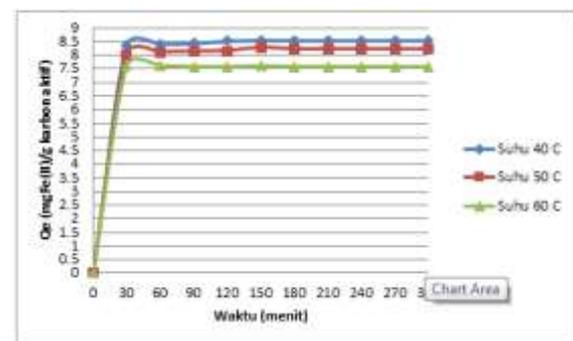


Gambar 3.2 Penyerapan Logam Fe (II) oleh Karbon Aktif dari Ampas Tebu pada Konsentrasi 30 ppm

Untuk persentase penyerapan logam Fe (II) pada konsentrasi 40 ppm dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Gambar 3.3

Tabel 3.3 Persentase Penjerapan Logam Fe (II) pada Konsentrasi 40 ppm

Waktu	Konsentrasi Fe (II) setelah penyerapan (ppm) pada suhu			Persen Penjerapan (%)			Qe (mgFe(II)/g karbon aktif)		
	40 °C	50 °C	60 °C	40 °C	50 °C	60 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	40	40	40	0	0	0	0	0	0
30	6,49	7,89	9,60	83,77	86,28	75,90	8,38	8,03	7,60
60	6,34	7,36	9,57	84,15	81,10	76,07	8,42	8,11	7,61
90	6,23	7,45	9,67	84,43	81,38	75,82	8,44	8,14	7,58
120	5,89	7,36	9,71	85,28	81,60	75,73	8,53	8,16	7,57
150	5,78	6,90	9,59	85,55	82,76	76,02	8,56	8,28	7,60
180	5,83	7,12	9,70	85,48	82,20	75,76	8,55	8,22	7,58
210	5,81	7,12	9,70	85,48	82,20	75,76	8,55	8,22	7,58
240	5,81	7,12	9,70	85,48	82,20	75,76	8,55	8,22	7,58
270	5,81	7,12	9,70	85,48	82,20	75,76	8,55	8,22	7,58
300	5,81	7,12	9,70	85,48	82,20	75,76	8,55	8,22	7,58



Gambar 3.3 Penyerapan Logam Fe (II) oleh Karbon Aktif dari Ampas Tebu pada Konsentrasi 40 ppm

Pada Tabel 3.1 sampai Tabel 3.3 dan Gambar 3.1 dan Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa pada waktu adsorpsi 0 menit sampai 30 menit terjadi kenaikan efisiensi logam Fe (II) yang besar dibandingkan pada waktu adsorpsi selanjutnya. Hal ini disebabkan pada awal adsorpsi, penyerapan terjadi cepat karena masih kosongnya pori – pori karbon aktif yang digunakan untuk menyerap logam Fe (II) [Sari, 2009]. Setelah 30 menit, peningkatan efisiensi terjadi tidak jauh berbeda. Hal ini menandai bahwa proses adsorpsi logam Fe (II) menggunakan karbon aktif mendekati kesetimbangan dimana pada waktu setimbang tidak ada terjadi kenaikan maupun penurunan dari efisiensi karbon aktif tersebut. Ditinjau dari kapasitas efisiensi, dapat dilihat efisiensi terbesar pada konsentrasi larutan Fe (II) pada 20 ppm dan suhu 40 °C sebesar 90,80%.

3.2 Proses Adsorpsi Ion Fe (II) pada Karbon Aktif

Hasil penentuan konsentrasi Fe (II) sebelum dan setelah adsorpsi pada karbon aktif yang ditentukan pada waktu kesetimbangan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.4 Hasil Penentuan Adsorpsi Ion Fe (II) pada Karbon Aktif pada Variasi Konsentrasi dan Suhu

Konsentrasi ion Fe(II) sebelum Adsorpsi (ppm)	Konsentrasi ion Fe(II) setelah diadsorpsi pada Suhu (ppm)		
	40 °C	50 °C	60 °C
20	1,83	1,23	2,21
30	2,31	4,45	6,22
40	3,02	6,89	9,59

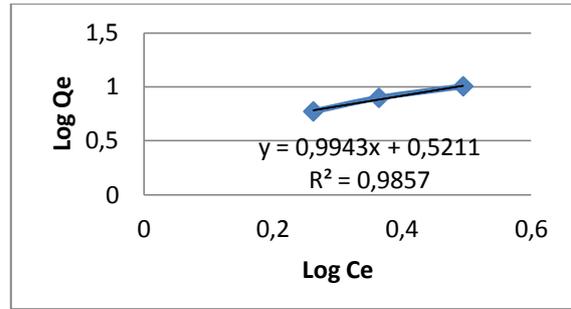
Pada tabel 3.4 dapat dilihat bahwa semakin meningkat konsentrasi adsorbat ion Fe (II), maka kemampuan adsorpsi karbon aktif semakin menurun, sampai tercapai kapasitas terjerap adsorben maksimum. Hal ini terjadi karena pada konsentrasi tinggi, tumbukkan antara adsorben semakin meningkat, sehingga jumlah adsorbat yang terjerap semakin banyak.

3.3 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Penentuan model isoterm adsorpsi ion Fe (II) pada karbon aktif dilakukan dengan metode regresi linier, sesuai dengan ketentuan isoterm adsorpsi freundlich, dan Langmuir . Hasil pengolahan data menurut model isoterm Freundlich dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Model Isoterm Adsorpsi Pada Suhu 40 °C

Co	Ce	Qe	Log Ce	Log Qe
20	1,83	5,92	0,26	0,77
30	2,32	7,92	0,36	0,89
40	3,12	10,13	0,49	1,01

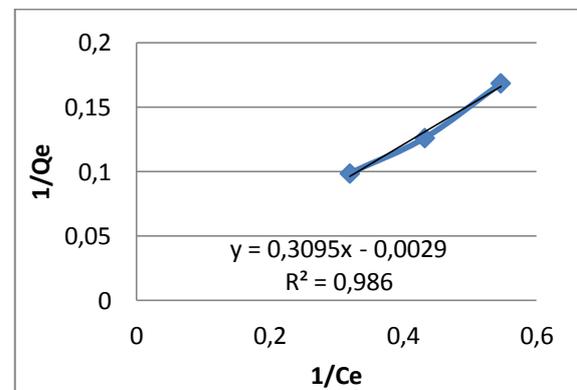


Gambar 3.4 Kurva Hubungan log Qe terhadap log Ce pada suhu 40 °C

Hasil pengolahan data menurut model isoterm Langmuir dapat dilihat pada Tabel 3.6

Tabel 3.6 Model Isoterm Langmuir Pada Suhu 40 °C

Co	Ce	Qe	1/Ce	1/Qe
20	1,83	5,92	0,54	0,16
30	2,31	7,92	0,43	0,12
40	3,12	10,13	0,32	0,09



Gambar 3.5 Kurva Hubungan 1/Qe terhadap 1/Ce

Berdasarkan Gambar 3.4 sampai Gambar 3.5 maka dibuatlah sebuah rangkuman yang dapat dilihat pada Tabel 3.7

Tabel 3.7 Perbandingan Hasil penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Parameter	Freundlich	Langmuir
R ²	0,985	0,986
Qo	-	14,92
K	5,47	0,57
N	1,94	-

Keterangan :

R^2 = Koefisien Relasi

Q_0 = Kapasitas jerap maksimum adsorben terhadap adsorbat (mg Fe(II)/gr karbon aktif

K = Kesetimbangan Adsorpsi

N = faktor heterogenitas

Pada tabel 3.7 dapat dilihat perbandingan nilai koefien relasi (R^2) dari kedua model isoterm adsorpsi yaitu Freundlich dan Langmuir, maka dapat disimpulkan bahwa model isoterm adsorpsi ion Fe (II) pada karbon aktif sesuai dengan model isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir. Hal ini mengindikasikan bahwa penyerapan bisa secara fisis dan juga secara kimia.

3.4 Panas Adsorpsi

Untuk model kesetimbangan langmuir, nilai panas adsorpsi (ΔH) berhubungan dengan konstanta kesetimbangan (K), yang dinyatakan dengan persamaan [Levenspiel, 1999].

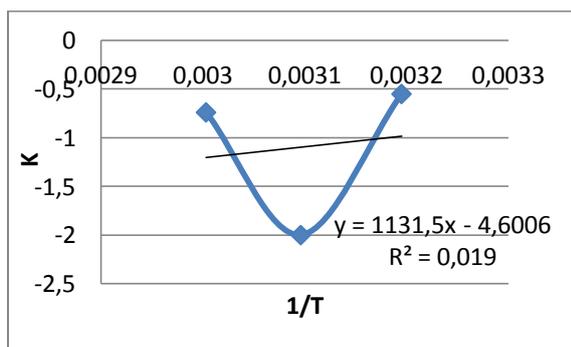
$$K = K_0 \exp\left(\frac{-\Delta H}{RT}\right) \dots\dots\dots (3.1)$$

Dalam bentuk linier dapat ditulis :

$$\ln K_L = \ln K_0 \frac{-\Delta H}{R} \cdot \frac{1}{T} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$y = a + bx \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan memplotkan harga K pada setiap variasi suhu, diperoleh hubungan suhu terhadap K , seperti terlihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Grafik Suhu Adsorpsi dengan Konstanta Kesetimbangan

Dari persamaan 3.1 dan 3.2 dapat diketahui panas adsorpsi senilai 2,24 kkal/mol, kita dapat mengetahui bahwa adsorpsi yang lebih didominasi dengan adsorpsi fisika, karena panas adsorpsinya dibawah 10 kkal/mol.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Kesimpulan

Pada penelitian adsorpsi logam Fe dengan adsorben karbon aktif dari ampas tebu, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Ampas tebu bisa dijadikan sebagai karbon aktif untuk penyerapan logam Fe (II)
2. Semakin besar konsentrasi logam Fe (II) dan suhu adsorpsi maka efisiensi adsorpsi karbon aktif akan semakin menurun.
3. Mekanisme adsorpsi logam Fe (II) oleh karbon aktif dari ampas tebu lebih didominasi oleh model isoterm Freundlich dan Langmuir dengan nilai regresi 0,985 dan 0,986.

4.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar melakukan perbandingan kesetimbangan adsorpsi sebelum karbon aktif diaktivasi dengan KOH dan sesudah diaktivasi.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama ini. Terima kasih kepada kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

Asbahani. 2013. Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu Sebagai Karbon Aktif Untuk Menurunkan Kadar Besi Pada Air Sumur. *Jurnal Teknik Sipil UNTAN*. 13(1), 105-114.
 Husin, A. A. (2007). *Pemanfaatan Limbah Untuk Bahan Bangunan*.

http://www.kimpraswil.go.id/balitbang/puskim/Homepage%20Modul%202003/modulc1/MAKALAH%20C1_3.pdf (diakses pada tanggal 11 Mei 2015)

- Kartasapoetra. 1988. “Kerusakan Tanah Pertanian dan Usaha Untuk Merehabilitasinya”. Penerbit Swadaya. Jakarta.
- Munandar, A., Didik, K., Khamidinal., Artsanti, P. 2014. Adsorpsi Logam Pb dan Fe dengan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfat. Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia VI. Surakarta.
- Sudibandriyo, M. 2003. A Generalized Ono-Kondo Lattice Model for High Pressure on Carbon Adsorben. Disertasi. State University, Oklahoma.