

## Kajian Perbandingan Efektivitas Adsorben Ampas Kopi dan *Fly Ash* pada Penurunan Konsentrasi Amonia ( $\text{NH}_3$ ) dalam Limbah Cair Urea

Mimin Septiani<sup>1\*</sup>, Zakiyah Darajat<sup>2</sup>, Danar Kurniawan<sup>3</sup>, Ikrom Pasinda<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Teknik Kimia, Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang

\*E-mail: [mhimns@gmail.com](mailto:mhimns@gmail.com)

### Abstract

*Ammonia is an inorganic compound used as raw material for the manufacture of urea fertilizer so that the waste from urea production may contain ammonia. One method to treat ammonia waste in urea is the adsorption using activated charcoal. Coffee grounds have a high carbon content, and fly ash contains carbonate compounds so that both can be used as adsorbents. This study aims to analyze the comparison of the effectiveness of ammonia adsorption in wastewater using coffee grounds and fly ash adsorbents in variative amount. This research was conducted by mixing the adsorbate with a variation of the adsorbent dose of 0.5 grams; 1 gram; 1.5 grams; 2 grams; 2.5 grams. Mixing was done by stirring at a speed of 300 rpm for 30 minutes. The adsorbate obtained was tested with a Spectrophotometer UV-Vis. The results of this study indicate that the more the amount of adsorbent that is contacted on the adsorbate, the greater the removal of ammonia in the adsorbate. Coffee grounds are considered more effective because they have a greater absorption efficiency of 84.64%, with a smaller amount of adsorbent, which is 2 grams, while fly ash is only able to achieve adsorption efficiency of 75.16% with a total adsorbent of 2.5 grams. Adsorption with fly ash adsorbent meets Freundlich's equation with a correlation coefficient  $R^2$  of 0.7864 while the coffee grounds adsorbent meets Langmuir's equation with  $R^2$  of 0.95325.*

*Keywords : Adsorption, Fly ash, Coffee grounds, effectiveness*

### Abstrak

Amonia merupakan senyawa anorganik yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk Urea, sehingga limbah dari produksi urea dapat mengandung amonia. Salah satu cara pengolahan limbah amonia dalam urea adalah metode adsorpsi menggunakan arang aktif. Ampas kopi memiliki kandungan karbon yang tinggi dan *fly ash* yang mengandung senyawa karbonat sehingga keduanya dapat digunakan sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perbandingan efektivitas adsorpsi amonia dalam limbah cair urea menggunakan adsorben ampas kopi dan *fly ash* dengan menggunakan variabel jumlah adsorben. Penelitian ini dilakukan dengan mengkontakkan adsorbat terhadap variasi dosis adsorben, 0,5 gram; 1 gram; 1,5 gram; 2 gram; 2,5 gram. Pengontakan dilakukan dengan cara pengadukan pada kecepatan 300 rpm dan dalam waktu 30 menit. Adsorbat hasil adsorpsi diuji dengan Spektrofotometer UV-Vis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Semakin besar jumlah adsorben yang dikontakkan pada adsorbat maka semakin besar pula penyisihan amonia dalam adsorbat. Ampas kopi dianggap lebih efektif karena memiliki efisiensi penyerapan lebih besar yaitu 84,64 %, dengan jumlah adsorben lebih sedikit yaitu 2 gram, sedangkan *fly ash* hanya mampu mencapai efisiensi penyerapan 75,16 % dengan jumlah adsorben 2,5 gram. Adsorpsi dengan adsorben *fly ash* memenuhi persamaan Freundlich dengan Harga Koefisien korelasi  $R^2$  0,7864 sedangkan pada adsorben ampas kopi memenuhi persamaan Langmuir dengan  $R^2$  0,95325.

*Kata kunci : Adsorpsi, Fly ash, ampas kopi, Efektifitas*

### 1. Pendahuluan

Amonia merupakan senyawa anorganik yang digunakan sebagai bahan dasar pupuk [1]. Amonia bereaksi dengan karbondioksida pada

temperatur dan tekanan tertentu menghasilkan urea [2]. Limbah dari proses produksi urea mengandung amonia. Senyawa amonia dengan konsentrasi tinggi dalam limbah cair jika tidak

dilolah sebelum dibuang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Nitrogen dalam bentuk Amonia ( $\text{NH}_3$ ) dapat menyebabkan kerusakan biota air karena mempercepat proses eutrofikasi [3], amonia juga dapat mengurangi konsentrasi oksigen dalam air sehingga beberapa jenis ikan bisa mati [4].

Pengolahan limbah ammonia dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya *breakpoint chlorination*, nitrifikasi-denitrifikasi [1][5] serta proses adsorpsi dengan adsorben Arang aktif [3]. Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan gas atau molekul pada permukaan benda padat [6]. Arang aktif adalah padatan berpori dari bahan organik yang mengandung karbon melalui proses pemanasan pada suhu tinggi. Daya serap karbon aktif dipengaruhi oleh luas permukaannya [7].

Tingginya konsumsi kopi dewasa ini, meningkatkan jumlah ampas kopi. Ampas yang tidak dimanfaatkan hanya akan menjadi limbah yang berbahaya bagi lingkungan, karena proses penguraiannya akan melepas gas metana ke udara. Ampas kopi memiliki kandungan karbon sebesar 47,8% – 58,9% [8] dan lignoselulosa dengan gugus aktif hidroksi dan karbonil yang dapat menyerap logam berbahaya dan zat warna.

Adsorben dari ampas kopi dapat digunakan untuk menghilangkan bahan organik dan kontaminan anorganik dalam air. *Spent Coffee Ground* (SCG) yang diaktivasi dengan NaOH dapat menghilangkan nitrobenzene dalam air. NaOH dapat meningkatkan sifat hidrofobik, sehingga kapasitas adsorpsi pada nitrobenzene juga meningkat [9]. Pada adsorpsi *tetracycline* dalam air menggunakan adsorben ampas kopi, daya serapnya mencapai 83,1% - 97,2% [10]. Filter adsorben ampas kopi juga dapat menurunkan kadar Fe dalam air dengan tingkat efisiensi 29,18% - 87,76% pada ketebalan filter 80 cm dengan diameter tabung 3 inch [8].

Pada proses adsorpsi Cu, proses penyerapannya dipengaruhi oleh waktu perendaman. Di dalam proses perendaman terjadi interaksi adsorben ampas kopi terhadap adsorbat [11]. Penelitian analisa morfologi

menggunakan SEM pada proses adsorpsi amonia juga telah dilakukan dan menunjukkan adanya penebalan pada dinding-dinding pori adsorben, hal ini menunjukkan amonia telah melekat pada ampas kopi [12].

Selain ampas kopi, *fly ash* juga merupakan salah satu material yang banyak digunakan sebagai adsorben. Di dalam *Fly ash* mengandung senyawa mineral yaitu kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) dan *mullite* ( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ), mineral karbonat yang berfungsi sebagai senyawa alkali seperti aragonite ( $\text{CaCO}_3$ ), *periclase* (MgO) dan *thomsonite* ( $\text{NaCa}_2(\text{Al}_5\text{Si}_5)\text{O}_{20}$ ) [13]. Adsorben *fly ash* dapat menurunkan COD pada limbah cair, menyerap gas organik, ion logam berat dan gas polutan [14]. Penelitian dengan memodifikasi *fly ash* dan  $\text{TiO}_2$  dapat mengeliminasi 79% amonia dalam waktu 3 jam [1]. *Fly ash* juga efektif menyerap logam Cu, proses adsorpsinya dipengaruhi oleh pH larutan dan proses presipitasi [15].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perbandingan efektivitas adsorpsi amonia dalam limbah cair amonia menggunakan adsorben ampas kopi dan *fly ash* dengan menggunakan variabel jumlah adsorben.

## 2. Metoda Penelitian

### 2.1 Alat dan Bahan

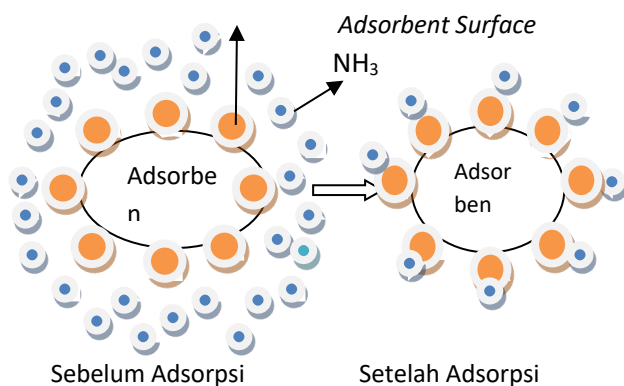
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif dari ampas kopi dan *fly ash*, *Reagent* dari Laboratorium PT. Black Bear Resources Indonesia seperti EDTA, Garam Rochelle, Pereaksi Nessler dan HCl 4%. Sampel limbah cair Urea yang diperoleh dari PT Pupuk Kaltim. Alat yang digunakan *Strirrer Plate*, *Alat Refluks*, *Dryer*, Spektrofotometer UV-VIS, *Muffle Furnace*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan variabel jumlah adsorben dari dua jenis adsorben berturut-turut; 0,5 gram; 1 gram; 1,5 gram; 2 gram; 2,5 gram.

### 2.2 Pre-treatment Adsorben

Adsorben Ampas kopi yang telah dicuci air demin, dimasukkan ke dalam *muffle furnace* untuk proses karbonisasi pada 400 °C selama 3,5 jam dengan N<sub>2</sub> flow 200 mL/menit. Setelah proses karbonisasi, dilakukan pengayakan untuk memperoleh ukuran yang homogen yaitu 100 mesh. Kemudian dilakukan refluks dengan menggunakan HCl 4% selama 120 menit pada *stirrer plate* dengan kecepatan putaran pengaduk 100 rpm. Dilakukan pencucian kembali menggunakan air demin, hingga diperoleh pH netral. Ampas kopi ini kemudian dimasukkan ke dalam *oven dryer* pada temperatur 110 °C selama 12 jam. Sedangkan untuk *fly ash* diaktivasi menggunakan aktivasi fisika dengan pemanasan 600 °C.

### 2.3 Tahap Adsorpsi (Metode Pengadukan)

200 ml limbah cair urea dikontakkan dengan adsorben ampas kopi dan *fly ash* selama 30 menit secara periodik untuk setiap variabel. dengan kecepatan pengadukan 300 rpm. Hasil pengadukan kemudian dipisahkan menggunakan kertas saring untuk mengambil adsorbat. Selanjutnya dilakukan pengujian pada adsorbat



Gambar 1. Skema proses Adsorpsi

### 2.4 Tahap Uji Spektrofotometri UV-VIS

50 ml adsorbat yang telah dikontakkan dengan adsorben dipindahkan ke dalam labu ukur 100 ml, diencerkan dengan air demin 50

ml, ditambahkan 2 ml pereaksi *Nessler*. Jika sampel mengandung banyak Ca dan Mg atau ion-ion lain yang mengakibatkan kekeruhan atau endapan pada penambahan pereaksi *Nessler*, dilakukan penambahan 1 tetes (0,05 ml) pereaksi EDTA atau 1-2 tetes garam *rochelle*.. Diencerkan sampai garis miniskus, lalu didiamkan selama 30 menit sebelum diukur absorbansinya menggunakan *Spektrofotometer UV-VIS* pada panjang gelombang 400 nm. Konsentrasi dapat dihitung dengan persamaan :

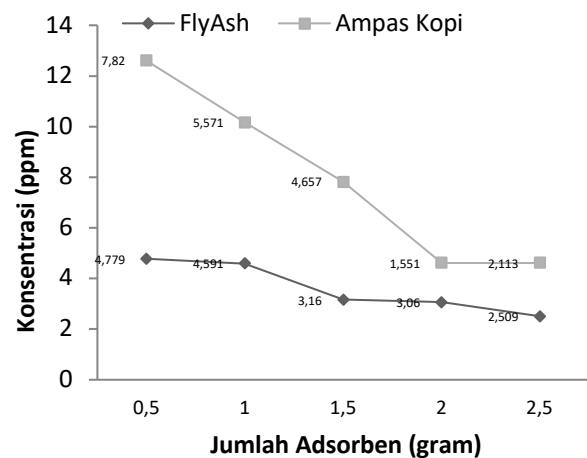
$$\text{Konsentrasi} = \text{ABS} \times \text{Faktor Kalibrasi NH}_3 \dots (1)$$

Faktor Kalibrasi NH<sub>3</sub> (pada Spektrofotometer yang digunakan) = 10, 989

## 3. Hasil Penelitian

### 3.1. Pengaruh Jumlah Adsorben terhadap Konsentrasi Amonia

Data pada Gambar 2. menunjukkan penurunan konsentrasi Amonia dalam limbah Urea setelah dikontakkan selama 30 menit dengan adsorben ampas kopi dan *fly ash* dengan variasi jumlah adsorben yang berbeda, dan kecepatan pengadukan yang tetap.



Gambar 2. Grafik hubungan antara jumlah adsorben terhadap konsentrasi amonia

Konsentrasi amonia menurun secara signifikan seiring bertambahnya jumlah adsorben yang dikontakkan. Dari data ini diperoleh kondisi optimum penyisihan amonia untuk adsorben *fly ash* yaitu pada jumlah 2.5

gram dengan penurunan konsentrasi hingga 2,509 ppm. Hal ini dapat terjadi karena dengan penambahan jumlah adsorben maka jumlah partikel penyerap bertambah, luas permukaan meningkat, jumlah ruang tempat mengikat ion bertambah sehingga semakin banyak zat yang terserap [16].

Untuk adsorben ampas kopi optimal pada jumlah 2 gram dengan penurunan konsentrasi hingga 1,551 ppm. Konsentrasi ini lebih rendah dibanding pada jumlah adsorben 2,5 gram. Hal ini dapat disebabkan oleh kecenderungan struktur adsorben ampas kopi yang mudah rusak oleh perubahan pola pengadukan. Pengadukan yang tidak tepat dapat merusak struktur adsorben, sehingga penyerapannya tidak optimal [17].

### 3.2 Efisiensi Adsorpsi

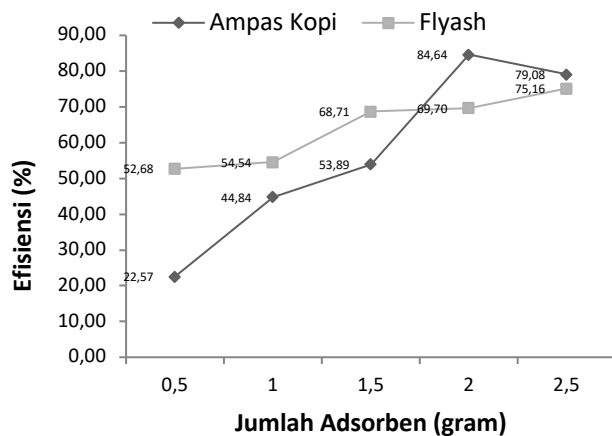
Presentase efisiensi dinyatakan dalam persamaan :

$$\% E = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} \times 100 \% \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$C_i$  = Konsentrasi adsorbat mula-mula (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)



Gambar 3. Hubungan antara nilai konduktivitas terhadap jumlah adsorben.

Gambar 3 menunjukkan efisiensi penyerapan optimum adsorben *fly ash* adalah 75,16 % dengan jumlah adsorben 2,5 gram. Efisiensi penyerapan optimum pada ampas kopi

sebesar 84,64 % dengan jumlah adsorben sebesar 2 gram. Daya serap ampas kopi yang besar menunjukkan bahwa permukaan arang aktif ampas kopi memiliki pori yang lebih luas sehingga memberikan peluang yang besar bagi adsorbat untuk mengisi pori tersebut.

Dari data pada Gambar 3 terlihat bahwa seiring bertambahnya jumlah adsorben, daya serap menjadi besar. Efisiensi adsorpsi berbanding lurus dengan tingkat penyerapan logam atau ion. Semakin banyak yang terserap, maka semakin besar pula nilai efisiensi penyerapannya.

### 3.3 Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dinyatakan dalam persamaan :

$$q_e = \frac{(C_i - C_e)}{W} \times V \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

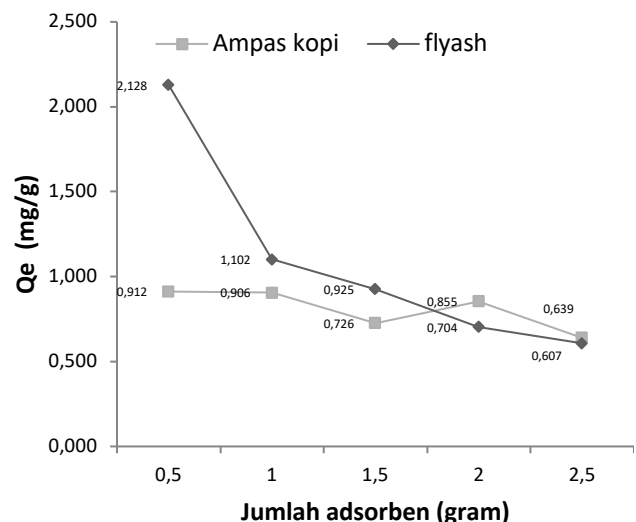
$q_e$  = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

$C_i$  = Konsentrasi adsorbat mula-mula (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)

$W$  = Jumlah Adsorben (g)

$V$  = Volume Sample (L)



Gambar 4. Hubungan antara nilai konduktivitas terhadap jumlah adsorben

Grafik 4 menunjukkan kapasitas adsorpsi terendah pada adsorben *fly ash* adalah

0,639 mg/g, sedangkan pada ampas kopi adalah 0,607 mg/g.

Kapasitas adsorpsi menyatakan jumlah adsorbat yang mampu terakumulasi pada permukaan adsorben [18]. Semakin besar konsentrasi adsorbat dalam larutan, maka semakin banyak substansi yang terkumpul pada permukaan adsorben [19]. Ketika jumlah adsorben ditingkatkan, kapasitas adsorpsi menurun, karena pada saat itu konsentrasi adsorbat juga menurun.

Konsentrasi adsorbat yang sama jika dikontakkan pada dosis adsorben yang berbeda-beda akan memberikan nilai kapasitas adsorpsi yang berbeda pula. Pada kasus ini, meningkatkan dosis adsorben sama dengan menambah ruang tempat ion atau logam mengikatkan diri, akibatnya jumlah adsorbat yang terakumulasi pada setiap gram adsorben, akan semakin sedikit.

### 3.4. Karakterisasi Isoterm Adsorpsi

Hasil analisis data dimasukkan ke dalam persamaan isotherm Langmuir dan Freundlich dengan model persamaan :

Isoterm Langmuir dapat ditulis sebagai berikut:

$$q_e = \frac{bQ_0C_e}{1+bC_e} \dots\dots\dots(4)$$

Persamaan dapat diturunkan ke dalam bentuk linier menjadi [20]:

$$\frac{C_e}{Q_0} = \frac{1}{Q_0b} + \frac{C_e}{Q_0} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- q<sub>e</sub> = Kapasitas adsorpsi (mg/g)
- b = Konstanta Langmuir
- C<sub>e</sub> = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/ L)
- Q<sub>0</sub> = Kapasitas maksimum adsorpsi (mg/g)

Sedangkan model isotherm adsorpsi Freundlich dapat dituliskan sebagai berikut :

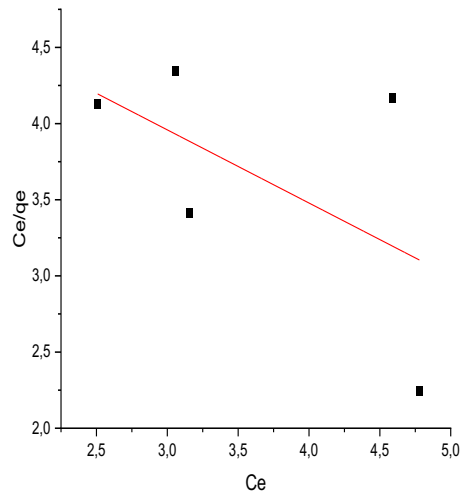
$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots(6)$$

Persamaan dapat diturunkan ke dalam bentuk linier menjadi [21]:

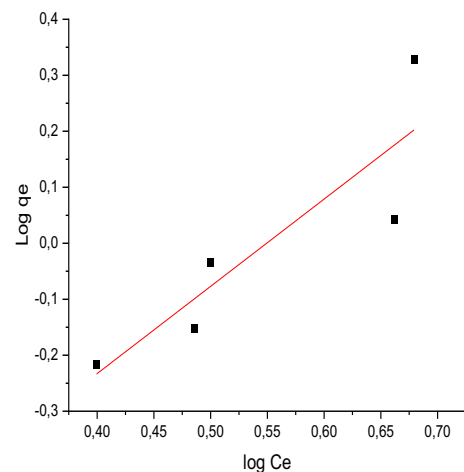
$$\log q_e = \text{Log } K_f + \frac{1}{n} \log C_e \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

- K<sub>f</sub> = Konstanta Freundlich
- n = eksponensial Freundlich



Gambar 5. Plot isotherm Langmuir untuk *fly ash*



Gambar 6. Plot isotherm Freundlich untuk *fly ash*

Dari dua grafik kesetimbangan di atas, terlihat bahwa model isotherm adsorpsi amonia dengan adsorben *fly ash* memiliki harga koefisien korelasi yang berbeda, yaitu Isoterm Langmuir R<sup>2</sup> = 0,30987 dan Isoterm Freundlich R<sup>2</sup> = 0,7864. Penentuan model isotherm

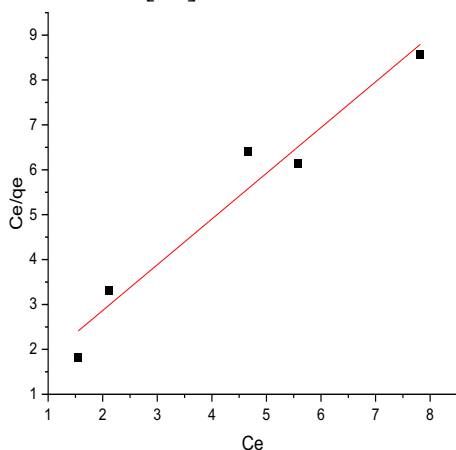
adsorpsi yang sesuai adalah nilai  $R^2$  yang semakin mendekati 1. Pada proses adsorpsi dengan *fly ash* ini, cenderung memenuhi persamaan Freundlich.

Harga  $K_f$  dan  $n$  menunjukkan kapasitas adsorpsi suatu adsorben. Jika harga Freundlich ( $K_f$ ) adsorpsi dari adsorben yang diuji akan semakin besar maka adsorpsi dari adsorben yang diuji akan semakin baik [22]. Nilai  $n$  menentukan afinitas adsorpsi. [23].

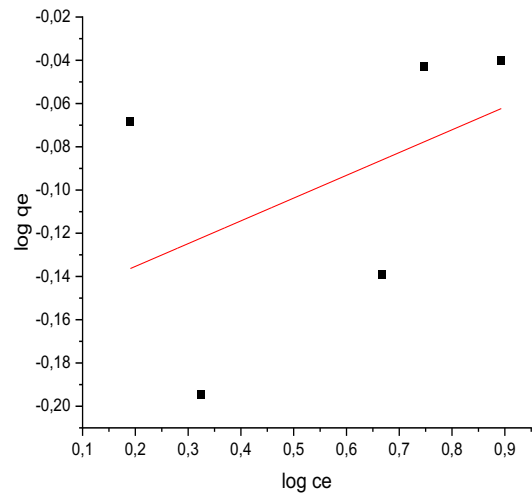
Tabel.1 Parameter isoterm Freundlich

Parameter	Value
n	0,6417
$R^2$	0,7864
$K_f$	7,1795

Asumsi Freundlich menyatakan, Adsorpsi yang terjadi adalah jenis fisisorpsi, atau adsorpsi fisika. Adsorpsi ini terjadi karena adanya ikatan Van der Waals antara adsorbat dan adsorben [23]. Freundlich juga mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (multilayer) dan sisi bersifat heterogen sehingga terjadi perbedaan energi ikatan pada tiap-tiap sisi [24]. Molekul-molekul yang diadsorpsi secara fisisorpsi tidak akan terikat secara kuat pada permukaan dan dapat mengalami proses *reversible* yang cepat, sehingga bersifat mudah diganti dengan molekul lain [25].



Gambar 7. Plot isoterm Langmuir untuk *Ampas Kopi*



Gambar 8. Plot isoterm untuk Freundlich *Ampas Kopi*

Dari dua grafik isoterm di atas, terlihat bahwa model adsorpsi amonia dengan adsorben ampas kopi memenuhi persamaan Langmuir dengan harga koefisien korelasi  $R^2 = 0,95325$ . Dari analisis regresi linear diperoleh data pada tabel 2.

Tabel.2 Parameter isoterm Langmuir

Parameter	Value
$Q_0$	1,2058
$R^2$	0,95325
b	0,8142

Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi amonia dengan menggunakan adsorben ampas kopi bersifat homogen, adsorbat teradsorpsi dalam bentuk tunggal (*monolayer*) dan proses yang *irreversible* [26]. Pada permukaan adsorben terdapat sejumlah sisi aktif yang sebanding dengan luas permukaan. Pada setiap sisi aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul [27].

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. *Fly ash* dan Ampas kopi adalah jenis adsorben yang baik dalam menurunkan kadar amonia dalam Limbah Urea. Semakin besar jumlah adsorben yang dikontakkan maka semakin besar pula massa ion amonia yang teradsorpsi.



2. Adsorpsi dengan Ampas kopi dianggap lebih efektif karena memiliki nilai efisiensi penyerapan hingga 84,64 %, jenis adsorpsi monolayer dan *irreversible*. Sedangkan nilai efisiensi fly ash hanya mencapai 75,16 %, jenisnya multilayer dan *reversible*.
3. Adsorpsi dengan adsorben *fly ash* memenuhi persamaan Freundlich dengan Harga Koefisien korelasi  $R^2$  0,7864 sedangkan pada adsorben ampas kopi memenuhi persamaan Langmuir dengan  $R^2$  0,95325.

## 5. Saran

Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variabel waktu kontak, sehingga dapat dianalisis dari segi kinetika reaksi dan kesetimbangan.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] S. Slamet and K. K. Imas, "Pemanfaatan Limbah Flyash Untuk Penanganan Limbah Cair Amonia," *J. Kim. dan Kemasan*, vol. 39, no. 2, pp. 69–78, 2017.
- [2] D. Darmadi, "Pengolahan Limbah Cair Pabrik Pupuk Urea Menggunakan Advanced Oxidation Processes," *J. Rekayasa Kim. Lingkungan*, vol. 10, no. 1, pp. 6–11, 2014.
- [3] N. Nurhidayanti and D. Ardiatma, "Penurunan Kadar Amonia Menggunakan Karbon Aktif dalam Air Limbah di PT Puradelta Lestari," *Pelita Teknol. J. Ilm. Inform. Arsit. dan Lingkungan*, vol. 14, no. 1, pp. 67–73, 2019.
- [4] M. Hibban, A. Rezagama, and P. Purwono, "Studi Penurunan Konsentrasi Amonia Dalam Limbah Cair Domestik dengan Teknologi Biofilter Aerobmedia Tubular Plastik pada Awal Pengolahan," *J. Tek. Lingkungan*, vol. 5, no. 2, pp. 68–70, 2016.
- [5] A. . Pretzer, P. . Carlson, and J. . Boyd, "The Effect of Pt Oxidation State and Concentration on the Photocatalytic Removal of Aqueous Ammonia with Pt-Modified Titania," *J. Photochem. Photobiol.*, vol. 246, no. 53, 2008.
- [6] C. Irawan, "Pengaruh Konsentrasi Adsorbat Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Fe dengan Menggunakan Fly Ash sebagai Adsorben," pp. 291–293, 2018.
- [7] P. Baryatik, A. D. Moelyaningrum, U. Asihta, W. Nurcahyaningih, A. Baroroh, and H. Riskianto, "Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi sebagai Adsorben Kadmium pada Air Sumur," *J. Teknol. Lingkung. Lahan Basah*, vol. 02, no. 1, pp. 11–19, 2019.
- [8] Y. Sarasati, I. Thohari, and B. Sunarko, "Perbedaan Ketebalan Filter Arang Aktif Ampas Kopi Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) Pada Air Bersih," *J. Penelit. Kesehat. Suara Forikes*, vol. 9, no. 4, pp. 231–237, 2018.
- [9] Y. Dai, D. Zhang, and K. Zhang, "Nitrobenzene-adsorption capacity of NaOH-modified spent coffee ground from aqueous solution," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 68, pp. 232–238, 2016.
- [10] Y. Dai, K. Zhang, X. Meng, J. Li, X. Guan, and Q. Sun, "New use for spent coffee ground as an adsorbent for tetracycline removal in water," *ECSN*, 2018.
- [11] A. F. Samosir, B. Yulianto, and C. A. Suryono, "Arang Aktif dari Ampas Kopi sebagai Adsorben Logam Cu Terlarut dalam Skala Laboratorium," vol. 8, no. 3, pp. 237–240, 2019.
- [12] F. Aman, M. Mariana, M. Mahidin, and F. Maulana, "Penyerapan limbah cair amonia menggunakan arang aktif ampas kopi Ammonia," *J. Litbang Ind.*, vol. 8, no. 1, pp. 47–52, 2018.
- [13] A. P. Gobel, E. Nursanto, and W. D. Ratminah, "Efektifitas Pemanfaatan Fly Ash Batubara Sebagai Adsorben Dalam Menetralisir Air Asam Tambang pada Settling Pond Penambangan Banko PT. Bukit Asam (Persero), Tbk," *J. Miner.*

- Energi dan Lingkungan*, vol. 2, no. 1, p. 1, 2018.
- [14] M. Naufa and Azwardi, "Karakterisasi Dan Pembuatan Adsorben Dari Fly Ash Pt. Evergreen International Paper," *J. Tek. dan Teknol.*, vol. 12, no. 24, pp. 49–54, 2017.
- [15] L. Darmayanti, S. Notodarmodjo, and E. Damanhuri, "Penyisihan Logam Cu (II) dari Larutan dengan Fly Ash Batu Bara," *J. Neo Tek.*, vol. 4, no. 1, pp. 30–38, 2018.
- [16] W. Wardalia, "Pengaruh Massa Adsorben Limbah Sekam Padi Terhadap Penyerapan Konsentrasi Timbal," *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 13, no. 1, p. 71, 2017.
- [17] I. Syaunqiah, M. Amalia, and H. A. Kartini, "Analisis Variasi Waktu Dan Kecepatan Pengaduk Pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat Dengan Arang Aktif," *Info Tek.*, vol. 12, no. 1, pp. 11–20, 2011.
- [18] A. Asnawati, R. R. Kharismaningrum, and N. Andarini, "Penentuan Kapasitas Adsorpsi Selulosa Terhadap Rhodamin B dalam Sistem Dinamis," *J. Kim. Ris.*, vol. 2, no. 1, p. 23, 2017.
- [19] D. S. Dewi, Z. Z. Dewi, and M. Maryono, "PENGARUH WAKTU KONTAK DAN pH TERHADAP ION Cr (VI) DALAM LIMBAH TEKSTIL MENGGUNAKAN BIOADSORBEN DAUN JAMBU BIJI DAN DAUN TEH," *Tek. J. Tek.*, vol. 5, no. 2, p. 141, 2019.
- [20] I. E. Wijayanti and E. A. Kurniawati, "Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben," *EduChemia (Jurnal Kim. dan Pendidikan)*, vol. 4, no. 2, p. 175, 2019.
- [21] G. Haghdoost, H. Aghaie, and M. Monajjemi, "Investigation of Langmuir and Freundlich adsorption isotherm of Co<sup>2+</sup> ion by micro powder of cedar leaf," *Orient. J. Chem.*, vol. 33, no. 3, pp. 1569–1574, 2017.
- [22] A. Khilya and A. T. Prasetya, "Optimasi Aplikasi Arang Aktif Alang–Alang Dalam Menurunkan Kadar Cd<sup>2+</sup> Pada Larutan," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 5, no. 1, 2016.
- [23] K. A. M. Said *et al.*, "Application of freundlich and Temkin isotherm to study the removal of Pb(II) via adsorption on activated carbon equipped polysulfone membrane," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 3.18 Special Issue 18, pp. 91–93, 2018.
- [24] M. Handayani and E. Sulistyono, "Uji Persamaan Langmuir Dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom (Vi) Oleh Zeolit," *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Nukl.*, no. Vi, pp. 130–136, 2009.
- [25] H. Apriyanti, I. N. Candra, and Elvinawati, "Karakteristik Isoterm Adsorpsi dari Ion Logam Besi (Fe) Pada Tanah di Kota Bengkulu," *ALOTROP J. Pendidik. dan Ilmu Kim.*, vol. 2, no. 1, pp. 14–19, 2018.
- [26] Patiha, E. Heraldly, Y. Hidayat, and M. Firdaus, "The langmuir isotherm adsorption equation: The monolayer approach," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 107, no. 1, 2016.
- [27] M. Murtihapsari, B. Mangallo, and D. D. Handyani, "Model isoterm freundlich dan langmuir oleh adsorben arang aktif bambu andong (g. verticillata (wild) munro) dan bambu ater (G. atter (Hassk) Kurz ex Munro)," *J. Sains Nat.*, vol. 2, no. 1, p. 17, 2017.