

KARAKTERISASI DAN PEMANFAATAN ABU TERBANG AKTIVASI FISIKA DALAM MENJERAP ION LOGAM Cu^{2+}

Ahmad Zakaria¹, Henny Rochaeni¹, Witri Djasmasari¹,
Yustinus Purawamargapratala² dan Agus Taufiq¹

¹Akademi Kimia Analisis Bogor

Jl. Ir. H. Juanda No. 7, Bogor 16122

²Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

ABSTRAK

KARAKTERISASI DAN PEMANFAATAN ABU TERBANG AKTIVASI FISIKA DALAM MENJERAP ION LOGAM Cu^{2+} . Abu terbang merupakan padatan hasil pembakaran batu bara. Limbah abu terbang batu bara banyak dihasilkan dari unit pembangkit listrik dan menimbulkan masalah dalam lingkungan. Percobaan bertujuan untuk mengetahui potensi abu terbang sebagai adsorben ion logam berat Cu^{2+} . Dalam percobaan ini abu terbang diaktivasi secara fisika dengan pemanasan dan aliran uap panas. Selanjutnya abu terbang yang telah diaktivasi dikarakterisasi dengan parameter kapasitas tukar kation, kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon terikat dan daya serap terhadap *iodine*. Kondisi optimum percobaan ditentukan dengan menggunakan metode respon permukaan *Central Composite Design*. Kondisi optimum diperoleh pada pH adsorbat sebesar 2,9 pada konsentrasi adsorben 90 mg/50 mL larutan dan waktu kontak 115 menit. Hasil percobaan pada kondisi optimum, diperoleh kapasitas adsorpsi isothermal berdasarkan model *Langmuir* dan *Freundlich* berturut-turut sebesar 1,443 mg/g dan 0,964 mg/g dengan koefisien korelasi (*r*) sebesar 0,9930 dan 0,9203. Faktor pemisahan dihitung berdasarkan model *Langmuir* berada pada rentang 0,230 hingga 0,053.

Kata kunci: Abu terbang, *Central composite design*, Model *Langmuir* dan *Freundlich*, Adsorpsi isothermal, Faktor pemisahan

ABSTRACT

CHARACTERIZATION AND UTILIZE OF FLY ASH ON ADSORBENT OF HEAVY METAL Cu^{2+} . Fly ash is solid as by product from combustion of coal. The waste is mainly produced from electrical power generator unit and gives serious problems in their removal to the environment. The aim of their research was utilizing the potency of fly ash as adsorbent of heavy metal such as Cu^{2+} . In their research, the fly ash was activated physically and characterization by several parameters such as cation exchange capacity, water content, ash, flying matter, bonded carbon, and iodine adsorption number. Optimum parameters were evaluated using response surface methods *Central composite design* and gave result for pH of adsorbate of 2.9 in adsorbent concentration of 90 mg/50 mL solution, and contact time of 115 minutes. Experimental result at optimum condition gave adsorption capacity at isothermal condition of 1.443 mg/g and 0.964 mg/g with the coefficient of correlation of 0.9930 and 0.9203, based on *Langmuir* and *Freundlich* adsorption isotherms, respectively. Separation factor was also calculated and found that it was in the range of 0.230-0.053 based on *Langmuir* equation.

Keywords: Fly ash, *Central composite design*, *Langmuir* and *Freundlich* models, Adsorption isotherms, Separation factor

PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang cukup pesat di berbagai negara menyebabkan polusi industri meningkat secara signifikan. Oleh karena itu permasalahan limbah industri semakin berkembang menjadi permasalahan global yang serius. Hal ini mengakibatkan perlakuan dalam pengolahan limbah industri menjadi topik global karena limbah dari berbagai sumber dapat terakumulasi di tanah atau masuk ke dalam sistem perairan. Logam

berat seperti tembaga merupakan contoh kontaminan yang memiliki potensi merusak sistem fisiologi manusia dan sistem biologis lainnya jika melewati tingkat toleransi. Logam tembaga banyak dihasilkan antara lain oleh industri pelapisan logam (*plating*), pencampuran logam (*alloy*), baja, pewarna, kabel listrik, insektisida, jaringan pipa dan cat [1,2]. Oleh karena itu pemerintah melalui Kep-51/MenLH/10/1995 menetapkan baku mutu

limbah cair industri golongan 1 kandungan logam tembaga kurang dari 2 mg/L dan untuk industri plating di bawah 0,6 mg/L

Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben yang efektif dalam berbagai aplikasi serta paling banyak digunakan dalam proses adsorpsi untuk perlakuan limbah industri cair [3]. Namun, pengambilan ion logam dengan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif komersial membutuhkan biaya relatif mahal. Karbon aktif juga dapat mengalami penurunan aktivitas sebesar 10% hingga 15% selama regenerasi. Selain itu karbon aktif merupakan bahan yang bersifat dapat terbakar (*combustible material*), sehingga kurang tepat jika diaplikasikan pada suhu tinggi [4]. Oleh karena itu adsorben yang lebih murah sebagai alternatif bahan baku pembuatan karbon aktif menjadi banyak diminati dan menarik perhatian di kalangan peneliti [5]. Beberapa penelitian tentang metode adsorpsi telah dilakukan menggunakan material dasar diantaranya adalah kaolin [6], *Neem Sawdust* [7], *Sargassum* [8], zeolit [9] dan abu terbang batu bara/*fly ash* [10].

Pada penelitian ini dipelajari model isoterm adsorpsi Cu(II) oleh adsorben abu terbang batu bara teraktivasi secara fisika pada kondisi optimum dengan menggunakan persamaan *Langmuir* dan *Freundlich*. Kondisi optimum yang dievaluasi diantaranya bobot adsorben, pH dan waktu kontak dengan metode respon permukaan *central composite design*. Model isoterm yang diperoleh diharapkan dapat memberikan tambahan informasi tentang sistem pengolahan limbah yang mengandung ion logam Cu(II) oleh adsorben abu terbang batu bara aktivasi fisika.

TEORI

Abu Terbang Batu Bara

Abu terbang batu bara merupakan limbah padat yang dihasilkan pembangkit listrik yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar dan dihasilkan dalam jumlah besar, sehingga timbul masalah dalam penanganannya. Pada tahun 2000, limbah abu terbang batu bara di seluruh dunia mencapai 500 juta ton per tahun, dan enam tahun kemudian naik tajam mencapai 2 milyar ton per tahun dan diprediksikan akan semakin bertambah [5,12]. Hal ini merupakan masalah cukup besar jika tidak dicarikan alternatif solusinya.

Abu terbang batu bara pada dasarnya mempunyai potensi besar sebagai penjerap ion logam karena memiliki porositas yang banyak, murah, dan dapat ditemukan dalam jumlah besar. Abu terbang batu bara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang dapat lebih kecil dari 75 mikron, sedangkan kerapatannya mencapai 2100 kg/m³ hingga 3000 kg/m³ dan luas permukaan spesifiknya mencapai 170 m²/Kg hingga 10.000 m²/Kg [12]. Berdasarkan karakteristik sifat fisika

tersebut maka abu terbang ini memiliki potensi yang besar untuk dijadikan adsorben logam berat seperti yang telah dilakukan sebelumnya untuk menjerap ion logam cadmium [11].

Abu terbang batu bara berpotensi besar dimanfaatkan dalam bidang pertanian [13] dan kegunaan yang lain diantaranya adalah sebagai penyusun beton untuk jalan, penimbun bahan bekas pertambangan, bahan baku keramik, gelas, batu bata, bahan penunjang pada semen, bahan penggosok atau *polisher* dan konversi menjadi zeolit [12-14]. Abu terbang batu bara yang berasal dari pembangkit listrik memiliki kandungan silika (SiO₂) dapat mencapai 60% dan alumina (Al₂O₃) 35%. Kandungan mineral ini tergantung dari jenis batu bara yang digunakan bituminous, subbituminous ataupun lignit. Pembakaran batu bara lignit dan subbituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous, namun memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon lebih sedikit daripada bituminous. Dari hasil penelitian sebelumnya [11] ternyata abu terbang tersebut potensial sekali dijadikan adsorben logam berat Cd(II) karena porositasnya cukup banyak. Untuk meningkatkan potensi abu terbang batubara sebagai adsorben maka dilakukan aktivasi dengan pemanasan disertai aliran udara panas.

Ion Logam Berat Tembaga

Keberadaan beberapa senyawa logam berat dalam lingkungan perairan perlu diperhatikan karena sifat racun yang dimilikinya. Logam berat seperti merkuri (Hg), kadmium (Cd), nikel (Ni), kromium (Cr), selenium (Se), timbel (Pb), dan tembaga (Cu) sangat beracun karena logam berat tersebut tidak dapat terdegradasi dan dapat mengalami biokonsentrasi, dan bioakumulasi serta biomagnifikasi dalam vegetasi, hewan, ikan, dan kerang-kerangan, bahkan manusia sebagai rantai makanan tertinggi. Menurut *Governor's Office Appropriate Technology California* [14] bahwa logam Cu secara statistik terbukti mempunyai efek akut terhadap manusia dengan merusak sistem saraf, pernafasan, dan kulit serta bersifat karsinogenik. Logam berat dalam bentuk garamnya dapat berikatan dengan sisi aktif protein ataupun jaringan biologis yang dapat menyebabkan bioakumulasi dan menghambat kegiatan ekskresi. Selain itu logam beratpun dapat bereaksi dengan senyawa organik membentuk reaksi kompleks yang dapat meningkatkan mobilitas sehingga potensi bahaya akan meningkat [15].

Unsur tembaga juga merupakan sumber polutan anorganik yang potensial berkontribusi pada perusakan lingkungan. Cemaran logam ini selain berasal dari pelapukan batuan, juga didominasi oleh kegiatan manusia seperti industri pencampuran logam, cat, kabel listrik, mesin-mesin, elektroplating, jaringan pipa dan insektisida. Kandungan tembaga yang terlalu tinggi lebih

dari 0,1 mg/L pada air minum dapat menyebabkan kerusakan hati. Tingkat toksisitas tembaga (EC_{50}) terhadap mikroalga *Scenedesmus quadricauda* berkisar 0,1mg/L-0,3 mg/L dan nilai LC_{50} terhadap avertebrata air tawar dan hingga air laut biasanya < 0,5mg/L, sedangkan nilai LC_{50} terhadap ikan air tawar dari 0,02 mg/L sampai dengan 1,0 mg/L [16].

Adsorpsi Isotermal

Adsorpsi isotermal merupakan adsorpsi yang terjadi pada kondisi suhu konstan. Adsorpsi yang terjadi harus dalam keadaan kesetimbangan, yaitu laju desorpsi dan adsorpsi berlangsung relatif sama. Kesetimbangan adsorpsi biasanya digambarkan dengan persamaan isoterm, parameter-parameternya menunjukkan sifat permukaan dan afinitas dari adsorben pada kondisi suhu dan pH tetap. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menyelidiki isoterm adsorpsi ion logam berat dan hubungannya terhadap pH, jumlah adsorben, konsentrasi ion sekutu, waktu kontak dan suhu [6,9]. Terdapat beberapa jenis persamaan isoterm adsorpsi yang sering digunakan secara luas, yaitu *Isoterm Langmuir* dan *Isoterm Freundlich* sesuai Persamaan (1) dan Persamaan (2) [6]:

$$C_e/q_e = 1/(bq_m) + (1/q_m)C_e \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- C_e = Konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan pada fasa cair (mg/L)
- q_e = Konsentrasi adsorbat pada fasa padat/ adsorben (mg/g)
- $1/q_m$ = Kemiringan atau sensitifitas
- q_m = Kapasitas adsorpsi optimum (mg/g)
- $1/(bq_m)$ = Intersep
- bq_m = Konstanta keseimbangan

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- K_f = Kapasitas adsorpsi mg/g
- n = Intensitas adsorpsi

Kurva persamaan garis lurus *Langmuir* dan *Freundlich* diperoleh dengan memplot berturut-turut C_e/q_e terhadap C_e dan $\log q_e$ terhadap $\log C_e$, dan dari persamaan isoterm tersebut dapat dicari kapasitas adsorpsi optimum adsorben terhadap adsorbat.

Persamaan *Langmuir* juga digunakan untuk memperoleh nilai R yang menggambarkan dimensi parameter kesetimbangan atau faktor pemisahan dengan Persamaan 3 [17].

$$R = \frac{1}{1 + K_L C_e} \dots\dots\dots (3)$$

berdasarkan nilai R, bentuk isoterm dapat ditafsirkan sebagai $R > 1$ menggambarkan adsorpsi yang kurang

baik, $R = 1$ adsorpsi linear, $0 < R < 1$ adsorpsi yang bagus, $R = 0$ adsorpsi *irreversible*. Persamaan *Langmuir* banyak digunakan untuk membahas adsorpsi *monolayer* (lapisan tunggal) sedangkan persamaan *Freundlich* digunakan untuk adsorpsi bersifat *bilayer*.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari model isoterm adsorpsi Cu(II) dalam sistem larutan pada kondisi optimum menggunakan persamaan *Langmuir* dan *Freundlich*. Kondisi operasional yang dievaluasi adalah pH adsorbat, bobot adsorben, dan waktu kontak dengan metode respon permukaan *central composite design*.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat dalam mendesain sistem pengolahan limbah industri, khususnya yang banyak mengandung ion logam Cu(II) oleh adsorben abu terbang batu bara aktivasi fisika.

METODE PERCOBAAN

Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg, *shaker*, termometer, spektrofotometer serapan atom (*FAAS GBC*), *Oven Memmert*, Agitator, pH meter, corong *buchner*, pompa vakum, gelas piala teflon, *termometer*, buret, erlenmeyer 100 mL, pipet volumetri 25 mL, corong, labu takar 50 mL dan 100 mL serta alat-alat gelas lainnya.

Bahan-bahan yang dibutuhkan terdiri atas bahan uji dan bahan kimia. Bahan uji yang digunakan adalah *fly ash* atau abu terbang batu bara yang merupakan sisa pembakaran pembangkit listrik PLTU Suralaya, sedangkan bahan kimia yang digunakan terdiri atas NaOH, HCl, H_2SO_4 , $CuSO_4$, $Na_2S_2O_3$, *ethylendiamine*, I_2 (semua bahan kualitas Pro analisis dari *Merck*).

Cara Kerja

Tahapan penelitian terdiri karakterisasi dan aplikasi sampel adsorben sebagai penyerap logam berat Cu(II) dengan metode *batch adsorption*. Untuk aplikasi terdiri dari 2 rangkaian percobaan. Pertama, penentuan kondisi optimum percobaan dengan metode *Central Composite Design*.

Karakterisasi

Pada sampel abu terbang dilakukan karakterisasi meliputi parameter: kadar air (SNI 1995), adsorpsi terhadap iod (SNI 1995), dan kapasitas tukar kation [17].

Aplikasi Percobaan

Penentuan Kondisi Optimum

Percobaan dilakukan pada kondisi suhu kamar dan digunakan *shake/agitator* dengan kecepatan 150 rpm, sedangkan 3 variabel bebas, yaitu pH, waktu

kontak, dan bobot adsorben divariasikan secara simultan sehingga interaksi antar variabel dapat diketahui secara optimum. Metode optimasi yang digunakan adalah *Central Composite Design (CCD)* dengan rentang pH yang digunakan 2 hingga 6, waktu 5 menit hingga 90 menit dan bobot adsorben 30 mg hingga 150 mg. Dari hasil analisis *CCD* dihasilkan 20 perlakuan percobaan seperti ditampilkan pada Tabel 1. Kondisi optimum ditentukan dengan melihat besarnya nilai % efisiensi adsorpsi pada kondisi percobaan. Nilai % efisiensi adsorpsi diolah dengan *CCD* untuk mendapatkan kontur dan kondisi optimum percobaan. Percobaan optimasi menggunakan konsentrasi awal adsorbat Cu(II) 2,5 mg/L. Prosedur percobaan dilakukan dengan cara menambahkan sejumlah 50 mL larutan adsorbat Cu²⁺ dengan pH tertentu ke dalam erlenmeyer 100 mL yang telah berisi sejumlah adsorben dengan bobot tertentu (lihat Tabel 1). Setelah itu erlenmeyer digoyang dengan kecepatan 150 rpm selama waktu yang telah ditentukan (lihat Tabel 1), lalu disaring dan filtratnya diukur menggunakan AAS.

Adsorpsi Isotermal

Percobaan ini dilakukan setelah percobaan optimasi dan diperoleh data kondisi optimum percobaan, yaitu pH adsorbat, waktu kontak dan bobot adsorben optimum. Sejumlah 50 mL larutan adsorbat Cu²⁺ (pH optimum) dengan konsentrasi 3,0Vmg/L, 5,0 mg/L, 8,0 mg/L, 10 mg/L, 12 mg/L, 14 mg/L dan 16 mg/L masing-masing ditambahkan ke dalam adsorben abu terbang batu bara aktivasi fisika (bobot optimum) pada gelas erlenmeyer 100 mL. Setelah itu, erlenmeyer di

Tabel 1. Rancangan percobaan optimasi respon *surface central composite design* untuk adsorpsi Cu²⁺ oleh abu terbang batu bara aktivasi fisika

No.	Waktu (menit)	pH	Bobot Adsorben (mg)
1.	22,2	2,81	54,3
2.	22,2	5,18	54,3
3.	22,2	2,81	125,6
4.	22,2	5,18	125,6
5.	72,7	2,81	54,3
6.	72,7	5,18	54,3
7.	72,7	2,81	125,6
8.	72,7	5,18	125,6
9.	47,5	2,0	90,0
10.	47,5	6,0	90,0
11.	47,5	4,0	30,0
12.	47,5	4,0	150,0
13.	5,0	4,0	90,0
14.	90,0	4,0	90,0
15.	47,5	4,0	90,0
16.	47,5	4,0	90,0
17.	47,5	4,0	90,0
18.	47,5	4,0	90,0
19.	47,5	4,0	90,0
20.	47,5	4,0	90,0

goyang (*agitate*) dengan alat *shaker* pada kecepatan 150 rpm selama waktu optimum. Selanjutnya dibiarkan sebentar dan disaring dengan kertas saring *Whatman* 42, kemudian konsentrasi Cu(II) dalam filtrat diukur menggunakan spektrofotometer serapan atom atomisasi nyala api pada panjang gelombang 217 nm. Kemudian data diolah untuk mendapatkan kapasitas adsorpsi optimum berdasarkan persamaan *Langmuir* dan *Freundlich*.

Data konsentrasi dari spektrofotometer serapan atom dikonversikan menjadi efisiensi adsorpsi dengan menggunakan Persamaan (4) :

$$PersenEfisiensi = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

- Co = Konsentrasi awal (mg/L)
- Ce = Konsentrasi kesetimbangan pada waktu t (mg/L)

Model isoterm adsorpsi dapat dipelajari menggunakan persamaan *Langmuir* pada Persamaan (3) dan *Freundlich* pada Persamaan (4) sebagai pembanding.

$$C_e/q_e = 1/Q_0b + C_e/Q_0 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- C_e = Konsentrasi adsorbat pada waktu kesetimbangan
- q_e = Jumlah (gram) adsorbat yang teradsorpsi per gram biosorben b dan Q₀ merupakan konstanta

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

- K_f = Kapasitas adsorpsi mg/g
- n = Intensitas adsorpsi

Nilai q_e diperoleh dari konversi nilai C_e. Untuk mengetahui bahwa adsorpsi ini mengikuti persamaan *Langmuir*, maka dibuat grafik C_e/q_e terhadap C_e, dan dicari koefisien korelasinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi

Abu terbang batu bara merupakan senyawa yang banyak mengandung pori, sehingga memiliki banyak rongga dan luas permukaannya mencapai 2,4 m²/g, sedangkan volume pori dan diameter mencapai 4660 mL/g dan 77 Å [19]. Untuk meningkatkan potensi abu terbang tersebut sebagai adsorben maka dilakukan proses aktivasi fisika dengan pemanasan sampai suhu 600 °C, kemudian dilanjutkan dengan pengaliran uap air selama 1 jam. Proses aktivasi dapat memperluas lapisan pori dengan cara membersihkan lapisan struktur mikropori tersebut. Untuk mengetahui pengaruh aktivasi terhadap pembersihan lapisan mikropori harus dilakukan

Tabel 2. Karakterisasi Abu Terbang Aktivasi Fisika

Adsorben	Kadar air (%)	Daya serap terhadap iod (mg/g)	KTK (meq/100g)	Zat Terbang (%)	Abu (%)	Karbon Terikat (%)
Abu Terbang Aktivasi Fisika	0,55	60,76	Tidak Terdeteksi	0,55	99,17	0,28
Arang Aktif (SNI 06-3730-95)	Maks 15	Min 750	---	Maks 25	10	65

foto topografi adsorben menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Selain itu dengan pengujian menggunakan *SEM* dapat diperkirakan diameter pori dan tingkat keteraturan struktur mikropori yang terbentuk. Pada penelitian ini tidak dilakukan foto *SEM* sehingga tidak dapat diketahui secara pasti tingkat kebersihan pori. Adsorben tersebut dikarakterisasi dengan parameter dan hasil uji yang ditampilkan pada Tabel 2

Pada Tabel 2 nilai KTK abu terbang aktivasi fisika tidak terdeteksi, hal ini disebabkan keberadaan ion logam yang dapat dipertukarkan dimungkinkan telah terlepas ketika dilakukan perendaman dengan air selama 6 jam atau struktur rangka yang membentuk pori pada abu terbang bukan merupakan struktur aluminasilikat yang bermuatan negatif. Untuk memastikan hal tersebut maka pada penelitian selanjutnya diharapkan uji kadar logam pada air sisa perendaman dan uji penentuan struktur. Jika dibandingkan dengan abu terbang tanpa perlakuan, abu terbang tersebut masih memiliki nilai kapasitas tukar kation sebesar 31,36 meq/100g [20]. Dengan demikian proses adsorpsi oleh adsorben abu terbang aktivasi fisika tidak berdasarkan mekanisme pertukaran ion.

Nilai daya serap terhadap iod relatif kecil jika dibandingkan dengan karbon aktif komersil, namun hal ini masih memungkinkan abu terbang tersebut berfungsi sebagai adsorben. Besarnya daya serap iod berkaitan dengan efektivitas suatu zat sebagai adsorben. Besarnya daya serap tergantung pada kondisi optimum proses aktivasi, yang meliputi konsentrasi zat pengaktivasi, jenis zat pengaktivasi, temperatur dan lamanya waktu aktivasi. Proses aktivasi yang optimum ditandai oleh semakin banyaknya porositas dari adsorben sehingga permukaannya semakin luas dan kapasitas adsorpsi semakin besar. Banyaknya struktur mikropori yang terbentuk dapat dilihat dari besarnya daya serap terhadap iod. Dari hasil pengujian diperoleh tingkat pencapaian adsorpsi iod hanya 8% dari SNI karbon aktif.

Hal ini menunjukkan proses aktivasi untuk pembersihan lapisan struktur mikropori kurang sempurna, sehingga dimungkinkan kemampuan penyerapan abu terbang tersebut menjadi kurang optimum. Abu terbang merupakan limbah sisa pembakaran batu bara, jadi hampir sebagian besar senyawanya merupakan oksida logam, sedangkan karbonnya sebagian besar terbakar sebagai sumber energi sehingga struktur mikropori yang terbentuk relatif sedikit.

Kondisi Optimum Percobaan

Tahap pertama percobaan adsorpsi adalah menentukan kondisi optimum adsorpsi Cu(II) menggunakan *Respons Surface Metode* dan metode yang digunakan adalah *Central Composite Design (CCD)*, yaitu metode yang menggabungkan beberapa variabel dalam suatu percobaan. Sehingga interaksi antar variabel dapat diketahui secara optimal dengan sedikit jumlah percobaan yang harus dilakukan dibandingkan dengan teknik lainnya. Variabel yang digunakan dalam percobaan ini adalah pH adsorbat dengan rentang pH 2 hingga 6, bobot adsorben 30 mg hingga 150 mg dan waktu kontak 5 menit hingga 90 menit [6,10,13, 20]. Hasil pengolahan menggunakan *CCD* tersebut diperoleh 20 variasi percobaan seperti yang tertera pada Tabel 3.

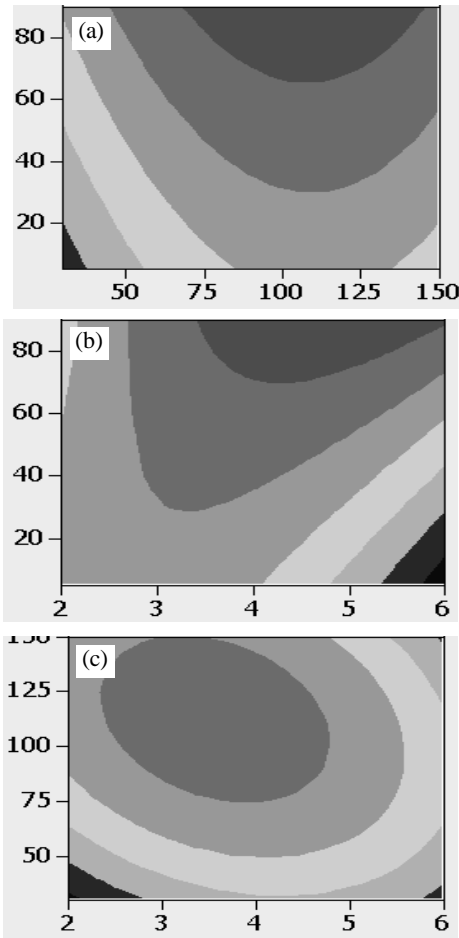
Nilai persen efisiensi adsorpsi Cu(II) oleh adsorben abu terbang aktivasi fisika nilainya berfluktuatif hingga mencapai persen efisiensi negatif. Persen efisiensi negatif disebabkan tidak hanya oleh proses desorpsi Cu²⁺ yang sudah terjerap di dalam adsorben bahkan proses desorpsi logam Cu yang terkandung pada adsorben tersebut. Dari percobaan yang dilakukan [18], ternyata abu terbang mengandung logam Cu mencapai 3000 ppm, sehingga hal ini membuktikan proses penambahan konsentrasi larutan adsorbat Cu(II) pada fase kesetimbangan berasal dari migrasi logam Cu dari abu terbang batu bara.

Pada Gambar 1 dapat dilihat kontur plot % efisiensi adsorpsi dan kontur permukaan. Dari Gambar tersebut, memberikan gambaran kisaran kondisi optimasi percobaan yang harus dilakukan.

Interaksi bobot dan pH menghasilkan % efisiensi optimum jika pH diatur antara 2,5 hingga 4,5 dan bobot

Tabel 3. Persen efisiensi adsorpsi abu terbang batu bara aktivasi fisika pada ragam waktu, pH dan bobot adsorben

No.	Waktu (menit)	pH	Bobot Adsorben (mg)	%Efisiensi Adsorpsi Abu Terbang Aktivasi Fisika
1.	22,23	2,81	54,32	-17,20
2.	22,23	5,19	54,32	70,25
3.	22,23	2,81	125,68	100,00
4.	22,23	5,19	125,68	100,00
5.	72,77	2,81	54,32	18,70
6.	72,77	5,19	54,32	74,22
7.	72,77	2,81	125,68	-26,22
8.	72,77	5,19	125,68	87,57
9.	47,50	2,00	90,00	-29,60
10.	47,50	6,00	90,00	100,00
11.	47,50	4,00	30,00	11,09
12.	47,50	4,00	150,00	47,20
13.	5,00	4,00	90,00	34,67
14.	90,00	4,00	90,00	38,44
15.	47,50	4,00	90,00	25,49
16.	47,50	4,00	90,00	28,22
17.	47,50	4,00	90,00	31,41
18.	47,50	4,00	90,00	34,94
19.	47,50	4,00	90,00	32,80
20.	47,50	4,00	90,00	26,99



Gambar 1. Kontur plot persen efisiensi adsorpsi Cu(II) oleh abu terbang batu bara aktivasi fisika pada (a). ragam waktu, (b). pH dan (c). bobot adsorben

adsorben > 75 mg, interaksi antara waktu dan pH menghasilkan persen efisiensi optimum apabila pH diatur pada rentang 3,5 hingga 6 dan waktu > 70 menit, serta interaksi waktu dan bobot menghasilkan efisiensi optimum dengan mengatur bobot lebih dari 75 mg dan waktu > 70 menit. Dari hasil pengolahan data menggunakan CCD untuk adsorben abu terbang tersebut diperoleh kondisi optimum pH 2,9 bobot adsorben 115 mg dan waktu kontak 90 menit.

Adsorpsi Isotermal

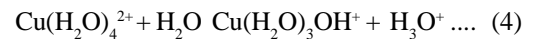
Penentuan kapasitas adsorpsi Cu(II) untuk adsorben abu terbang batu bara aktivasi fisika dilakukan pada kondisi suhu kamar dengan menggunakan kondisi optimum yang sudah diperoleh sebelumnya. Pada percobaan ini dilakukan variasi konsentrasi dari 3 mg/L hingga 16 mg/L dengan perolehan efisiensi adsorpsi berkisar 89% hingga 26% sedangkan kapasitas adsorpsinya 0,89 mg/g hingga 1,387 mg/g, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, telah terjadi kenaikan pH jika dibandingkan dengan pH awal adsorbat. Peningkatan pH akhir atau pH kesetimbangan diduga karena terjadinya

Tabel 4. Kapasitas dan persen efisiensi adsorpsi, serta pH kesetimbangan pada proses adsorpsi Cu(II) oleh adsorben abu terbang batu bara aktivasi fisika

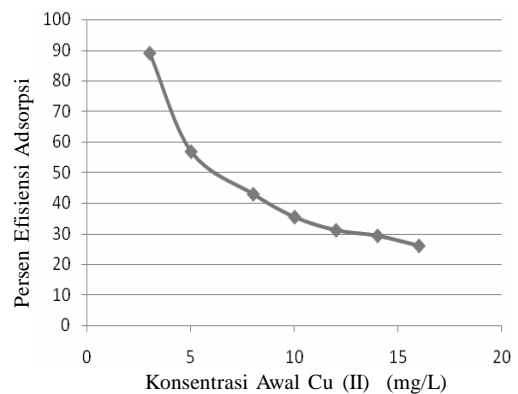
Konsentrasi Adsorbat Cu(II) (mg/L)		pH Kesetimbangan		Persen Efisiensi Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi (mg/g) qe
Awal	Akhir	Awal	Akhir		
3	0,33	2,9	5,1	89,0	0,890
5	2,16	2,9	4,8	56,8	0,947
8	4,57	2,9	4,4	42,9	1,143
10	6,46	2,9	4,1	35,4	1,180
12	8,27	2,9	3,8	31,1	1,243
14	9,90	2,9	3,4	29,3	1,367
16	11,84	2,9	3,1	26,0	1,387

desorpsi logam besi, alkali dan alkali tanah, baik dalam bentuk ion maupun oksidanya yang terkandung pada abu terbang batu bara aktivasi secara fisika, sehingga ion maupun oksida logam tersebut mengalami pertukaran ataupun hidrolisis dan selanjutnya pH larutan meningkat [21]. Pada konsentrasi adsorbat yang lebih tinggi kenaikan pH cenderung kecil. Fenomena ini diduga dengan melimpahnya konsentrasi ion Cu(II) dalam larutan, maka pembentukan kation logam terhidrasi Cu(H₂O)₄²⁺ semakin melimpah. Kation terhidrasi tersebut dapat terhidrolisis menghasilkan asam, reaksinya seperti pada Persamaan (4) :

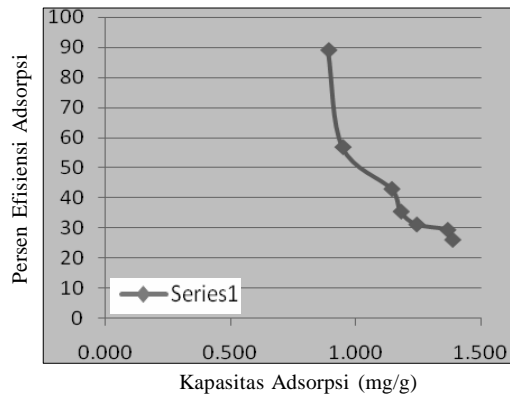


sehingga pH akhir (kesetimbangan) cenderung turun.

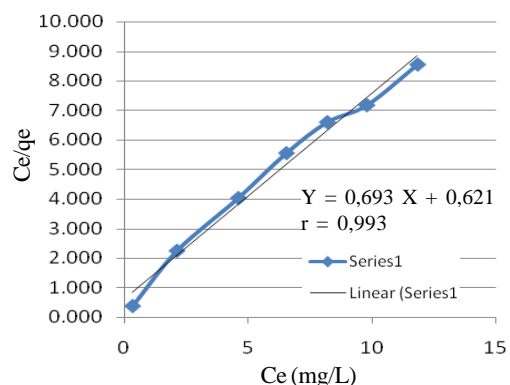
Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa dengan semakin besar konsentrasi adsorbat maka efisiensi adsorpsi semakin kecil. Hal ini disebabkan jumlah ketersediaan sisi aktif tidak sesuai dengan penambahan konsentrasi adsorbat walaupun proses kesetimbangan bergeser kearah kompleks adsorben-adsorbat. Akan tetapi pada Gambar 3, kapasitas adsorpsi cenderung meningkat dengan bertambahnya konsentrasi adsorbat karena terjadinya peningkatan kompetisi antar adsorbat dengan sisi aktif yang akan menggeser kesetimbangan kearah kompleks logam - sisi aktif [6]. Selain itu fenomena berbanding terbaliknya kurva persen efisiensi dengan kurva kapasitas adsorpsi karena perbedaan penggunaan



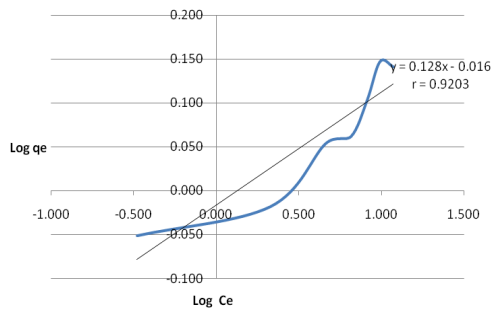
Gambar 2. Hubungan persen efisiensi terhadap konsentrasi awal adsorbat Cu(II)



Gambar 3. Hubungan kapasitas adsorpsi terhadap konsentrasi awal Cu(II)



Gambar 4. Hubungan konsentrasi adsorbat dalam larutan dengan adsorbat pada fase padatan dalam kondisi kesetimbangan model Langmuir



Gambar 5. Hubungan konsentrasi adsorbat dalam larutan dengan adsorbat pada fasa padatan dalam kondisi kesetimbangan model Freundlich

pembanding, persen efisiensi menggunakan konsentrasi awal yang selalu bertambah sedangkan kapasitas adsorpsi menggunakan bobot adsorben yang relatif tetap sebagai pembandingnya.

Data percobaan adsorpsi isothermal Cu(II) oleh adsorben abu terbang batu bara aktivasi fisika dianalisis menggunakan 2 model persamaan isothermal, yaitu model Langmuir dan Freundlich. Persamaan ini digunakan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi optimum, hasil yang diperoleh cenderung mengikuti persamaan Langmuir karena dihasilkan koefisien korelasi (r) yang lebih besar dibandingkan persamaan Freundlich dengan

nilai 0,9930 dan 0,9203 (Gambar 4 dan Gambar 5). Hal ini menunjukkan bahwa adsorben tersebut bersifat monolayer dan homogen, sehingga interaksi adsorben dengan adsorbat hanya membentuk 1 lapisan dan kapasitas adsorpsi ditentukan oleh perbandingan ketersediaan sisi aktif adsorben dengan jumlah ion logam.

Nilai kapasitas adsorpsi optimum (q_m) adsorben abu terbang batu bara aktivasi fisika menurut model Langmuir 1,443 mg/g dan 0,964 mg/g menurut model Freundlich., tetapi nilai kapasitas adsorpsi model Freundlich memiliki bias yang lebih besar terhadap kapasitas adsorpsi percobaan dibandingkan dengan model Langmuir.

Proses adsorpsi pada dasarnya merupakan proses kesetimbangan dan ditinjau dari faktor pemisahannya (R_L), maka adsorben tersebut memiliki nilai 0,230 hingga 0,053 yang berarti proses adsorpsi mudah terjadi karena nilai R_L berada pada $0 < R_L < 1$, hal ini merupakan faktor yang sangat menguntungkan jika digunakan sebagai adsorben [17].

KESIMPULAN

Abu terbang batu bara memiliki karakteristik yang berbeda dengan adsorben arang aktif dan tidak memiliki kemampuan sebagai penukar kation. Proses adsorpsi didominasi oleh peristiwa penjerapan secara fisika.

Hasil optimasi adsorpsi Cu(II) menggunakan metode *central composite design* diperoleh kondisi optimum percobaan pada pH adsorbat 2,96, waktu kontak 90 menit dan bobot adsorben 115 mg. Berdasarkan percobaan adsorpsi pada kondisi optimum, nilai kapasitas adsorpsi Cu(II) oleh adsorben abu terbang batu bara aktivasi fisika adalah 1,443 mg/g menurut model Langmuir dan 0,964 mg/g menurut model Freundlich. Model adsorpsi mengikuti pola persamaan isotherm Langmuir dibandingkan Freundlich dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,993. Nilai faktor pemisahan (R_L) berdasarkan model Langmuir berkisar 0,230 hingga 0,053 yang mengindikasikan kemudahan proses adsorpsi.

DAFTAR ACUAN

- [1]. NOTODARMOJO S., Pencemaran tanah dan air tanah. Penerbit ITB Bandung, (2005)
- [2]. SARKAR B. XI Y, MEGHARAJ M., KRISHNAMURTI GSR, RAJARATHNAM D., NAIDU R., *Journal of Hazardous Materials*, **183** (2010) 87-97
- [3]. JUSOHA, SHIUNG LS, ALIN, NOOR MJMM A. *Desalination*, **206** (2007) 9-16
- [4]. YENISOY-KARAKAS S, AYGUNA, GUNES M, TAHTASAKALE., *Carbon*, **42** (2004) 477-484
- [5]. HUI KS, CHAO CYH, KOT SC., *Journal of Hazardous Materials*, **B 127** (2005) 89-101.
- [6]. GUPTASS, BHATTACHARAYYAGK., *Journal of Enviromental Management*, **87** (2008) 46-58.

- [7]. JIANG MQ, JIN QY, LU XQ, CHEN ZL., *Desalination*, **252** (2010) 33-39.
- [8]. VINODHINI V, DAS N., *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, **4**(4) (2002) 324-329
- [9]. BARKHODAR B, GHIASHHEDDIN M., *Iranian J. Environmental Health Science Eng.*, **1**(2) (2004) 58-64
- [10]. PANAYOTOVA MI., *Waste Management*, **21** (2001) 671-676
- [11]. BENDIYASA IM, ASTUTI RO, SETIAWAN DM., Penggunaan fly ash sebagai adsorben dalam pemungutan logam Cd(II) dari air limbah simulasi: Studi kesetimbangan, *Laporan Penelitian Laboratorium Teknologi Kimia Umum*, Jurusan Teknik Kimia, FT-UGM, (2004)
- [12]. HARDIYANTI A., Unsur-unsur yang Dibebaskan dari Proses Pencucian Abu Terbang dari PLTU Suralaya, *Skripsi Fakultas Pertanian-IPB*, Bogor, (2011)
- [13]. JHAVK, NAGAEM, MATSUDAM, MICHICHIRO M., *Journal of Environmental Management*, **90** (2009) 2507-2514
- [14]. MUSYOKA NM, PETRIK LF, BALFOUR G, NATASHAM, GITARI W, MABOVU B., Removal of Toxic Elements from Brine using Zeolit Na-P1 Made from A South African Coal Fly Ash, *Proceedings Pretoria South Africa*, (2009)
- [15]. MANAHAN SE., *Toxicological Chemistry and Biochemistry* 3rdEdition, *Lewis Publishers, Washingto*, (2003)
- [16]. MOORE JW., *Inorganic Contaminant of Surface Water*, Springer Verlag, New York, (1991) 334
- [17]. HO YS, *Water Research*, **34** (2003) 2323-2330
- [18]. BERGAYA F., VAYER M., *Applied Clay Science*, **12** (1997) 275-280
- [19]. ZAKARIA, et al., Adsorpsi Cu(II) Menggunakan Zeolit Sintetis dari Abu Terbang Batu Bara. *Master Thesis-IPB*, Bogor, (2011)
- [20]. FAN T, LIU Y, FENG B, ZENG G, YANG C, ZHOU M, ZHOU H, TAN Z, WANG X., *Journal of Hazardous Materials*, **160** (2008) 655-661
- [21]. WANG S, TERDKIATBURANA T, TADE MO., *Separation and Purification Technology*, **62** (2008) 64-70