

ISOTERM, TERMODINAMIKA DAN KINETIKA ADSORPSI LOGAM CU MENGUNAKAN ADSORBEN SERBUK KULIT UDANG

Hadi Ikrima¹⁾, Yelmida A²⁾, Syamsu Herman²⁾,

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

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

E mail : hadiikrimaa@yahoo.com

ABSTRACT

Most of the shrimp shell waste consists of chitin compounds which can be converted into chitosan. The use of chitin and chitosan are mainly as chelating agents, emulsifiers and adsorbents. In this study, shrimp shell waste was used directly as an adsorbent on Cu metal, without changing the shrimp shells to chitin or chitosan. Shrimp shell waste at the initial stage was treated including washing, drying, refining, sieving and being activated using 0.5 M HCl solution. The activated shrimp shell powder was then used as an adsorbent against Cu metal, by varying the temperature (30, 40 and 50 °C) and mass of the adsorbent (2,5 ; 5,0 and 7,5 grams) . The maximum adsorption capacity occurs at a temperature of 50°C and an adsorbent mass of 7.5 grams with a capacity of 93.59%. The isotherm model of the adsorption process follows the Harkins Jura isotherm model with a R² value of 0.9891. The kinetics of the adsorption process followed the pseudo second order kinetics with an adsorption rate constant of 0.019 and an R² value of 0.9974. The adsorption heat capacity (ΔH) is 7.90 kJ / mol and is endothermic.

Key words: adsorption, activation, shrimp shell waste, Cu metal.

1. Pendahuluan

Banyaknya udang ebi yang diproduksi menyebabkan bertambahnya limbah padat industri udang yang dapat mencemari lingkungan. Limbah kulit udang mengandung kitin sekitar 40-60%, kalsium dalam bentuk CaCO₃ 10-20% dan protein 30-65% basis kering. Salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam mengatasi limbah kulit udang adalah pemanfaatannya sebagai adsorben. Pada penelitian ini, proses adsorpsi terhadap ion Cu⁺² akan dilakukan secara batch menggunakan serbuk kulit udang.

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengetahui kinetika, termodinamika dan isotherm adsorpsi logam. Huang dkk

(2006), menggunakan alumina sebagai adsorben untuk mengadsorpsi Cu dengan memvariasikan temperatur adsorpsi (25°C, 35°C dan 45°C), dengan berat adsorban 0,2 gr dan waktu kesetimbangan diperoleh pada waktu 80 menit. Dari penelitian didapatkan model kesetimbangan mengikuti kesetimbangan freundlich, proses adsorpsinya bersifat endotermik yang ditunjukkan oleh nilai termodinamikanya yang positif sehingga berlangsung secara spontan, model kinetikanya mengikuti persamaan *pseudo second orde*.

Sukpreabprom dkk (2014) melakukan penelitian untuk menentukan kinetika, termodinamika serta isotherm dari proses adsorpsi logam Cd dan Zn menggunakan *buttom ash*. Penelitian dilakukan dengan

memvariasikan suhu adsorpsi (10°C, 20°C, 30°C, dan 40°C) dengan massa adsorben sebanyak 0,1 gr pada pH asam dengan range pH 4-6. Waktu kesetimbangan dari proses adsorpsi logam tersebut adalah 60 menit. Kapasitas adsorpsi meningkat dengan meningkatnya suhu. Pada kesetimbangan mengikuti model isoterm Langmuir, nilai kinetika mengikuti persamaan orde dua. Parameter termodinamika menunjukkan bahwa proses adsorpsi ion logam bersifat endotermik.

Udeh dan Agunwamba (2016) melakukan penelitian untuk menentukan keseimbangan dan kinetika dari proses adsorpsi logam Cd dan Pb menggunakan bamboo yang berbasis karbon aktif. Penelitian dengan memvariasikan massa adsorban (1, 2, 3, 4, dan 5 g) pada pH 7 dengan waktu kesetimbangan adsorpsi 60 menit. Dari adsorpsi logam Cd dan Pb memiliki kecocokan dengan kesetimbangan freudlich yang menunjukkan adsorpsi multilayer pada permukaan heterogen, model kinetiknya mengikuti persamaan *pseudo second orde*.

Pada penelitian ini, menggunakan adsorban dari limbah bahan alam yaitu kulit udang. Untuk meningkatkan daya jerap serbuk kulit udang, dilakukan proses aktivasi secara kimia menggunakan asam klorida. Proses aktivasi dapat dilakukan secara sulfonasi, nitrasi, asetilasi atau hidrosilasi (Azmi, 2009). Ikrima (2017) melakukan aktivasi pada serbuk kulit udang dengan aktivasi asam menggunakan HCL 0,5 M yang dapat secara langsung dijadikan adsorben, efisiensi adsorben serbuk kulit udang yang diaktivasi lebih optimal dibandingkan yang tanpa aktivasi pada ukuran partikel adsorben 100 mesh, konsentrasi adsorbat 40 ppm, dan kecepatan putaran 150 rpm.

Pada penelitian ini serbuk kulit udang akan diaktivasi menggunakan larutan HCl 0,5 M dan digunakan secara langsung sebagai adsorben logam Cu. Proses adsorpsi dilakukan secara *batch*, dengan memvariasikan suhu adsorpsi (30°C, 40°C dan 50°C) dan massa adsorben 2,5 ; 5 dan 7,5 gram. Analisis kadar logam Cu yang terjerap dilakukan menggunakan peralatan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Dari hasil analisis akan dihitung kapasitas adsorpsi serbuk kulit udang terhadap logam Cu. Selanjutnya akan dianalisis jenis isotherm, kinetika, dan termodinamika adsorpsi logam Cu menggunakan adsorben serbuk kulit udang.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan – Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah kulit udang, yang diperoleh dari hasil pengolahan industri udang ebi yang berasal dari desa Kuala Enok Kecamatan Inderagiri Hilir-Riau, larutan HCl 0,5 M, padatan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan akuades.

2.2 Alat – Alat yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, *magnetic stirrer*, kertas pH universal, ayakan *octagon*, neraca analitik, blender elektrik, *oven*, *beaker glass*, gelas ukur, labu takar, buret, statif, klemp, batang pengaduk, thermometer, dan seperangkat alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*).

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Persiapan Adsorben

Limbah kulit udang yang diperoleh dari pengolahan industri udang ebi yang berasal dari desa Kuala Enok Kecamatan Inderagiri Hilir-Riau, limbah kulit udang tidak langsung diaktivasi, tetapi harus melalui beberapa tahap persiapan sebagai berikut:

1. Limbah kulit udang dicuci sampai bersih dari lendir dan kotoran yang

- menempel kemudian dikeringkan dalam oven.
2. Kulit udang yang telah kering, dihaluskan dengan menggunakan blender kemudian diayak dengan menggunakan ayakan *octagon* ukuran 100 *mesh* dan tertahan pada ayakan 200 *mesh* untuk menghasilkan ukuran partikel yang diinginkan.
 3. Serbuk kulit udang siap untuk diaktivasi.

2.3.2 Pelaksanaan Aktivasi Serbuk Kulit Udang

Serbuk kulit udang yang kering ditimbang sekitar 100 gram kemudian dimasukkan ke dalam reaktor (*beaker glass*) yang berisi 500 ml larutan HCl dengan konsentrasi 0,5 M, kemudian diaduk dengan kecepatan 150 rpm selama 90 menit pada suhu kamar (Azmi, 2009). Kemudian, dicuci dengan aquades sampai pH air pencuci menjadi netral. Selanjutnya dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 80°C. Serbuk kulit udang yang sudah dikeringkan dalam oven adalah Adsorben yang telah diaktivasi.

2.3.3 Penentuan Kurva Standar

Pembuatan kurva standar untuk larutan CuSO₄ dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan standar pada konsentrasi 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15 dan 20 ppm dengan menggunakan peralatan AAS (*Atomic Absorbtion Spectrofotometer*). Hasil absorbansi dari berbagai konsentrasi yang digunakan, merupakan konsentrasi yang akan digunakan untuk pembuatan kurva standar dalam penelitian.

Data absorbansi dari masing-masing larutan standar kemudian diplotkan terhadap konsentrasi larutan standar (0, 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm) sehingga diperoleh kurva larutan

standar CuSO₄. Analisis AAS (*Atomic Absorbtion Spectrofotometer*) dilakukan di Laboratorium Pengujian dan Analisis Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau.

2.3.4 Penentuan Waktu Kesetimbangan Adsorben Kulit Udang

Penentuan waktu kesetimbangan dilakukan dengan mencampurkan 5 gram adsorben serbuk kulit udang teraktivasi ke dalam reaktor, yang berisi 500 ml larutan CuSO₄ 25 ppm. Larutan tersebut diaduk dengan *magnetic stirrer* pada kecepatan 150 rpm. Kemudian sampel diambil sebanyak 10 ml setiap 30 menit selama ±4 jam. Sampel yang diambil setiap 30 menit, dianalisis menggunakan peralatan AAS (*Atomic Absorbtion Spectrofotometer*), untuk menentukan kadar ion Cu⁺² yang tersisa dalam larutan. Dari hasil analisis akan didapatkan waktu kesetimbangan adsorpsi, yang selanjutnya waktu kesetimbangan ini akan digunakan pada proses adsorpsi.

2.3.5 Proses Adsorpsi Logam

Menggunakan Adsorben Kulit Udang

Tahap selanjutnya adalah proses adsorpsi dengan menggunakan adsorben serbuk kulit udang teraktivasi, dengan memvariasikan massa adsorben dan suhu adsorpsi. Untuk skema proses adsorpsi logam Cu dapat dilihat pada Gambar 3.3. Proses adsorpsi dilakukan secara *batch* menggunakan peralatan *hot plate* dan *magnetic stirrer*, yaitu dengan mencampurkan adsorben kulit udang teraktivasi ke dalam reaktor yang berisi 500 ml larutan CuSO₄·5H₂O. Larutan tersebut diaduk dengan kecepatan 150 rpm pada suhu yang divariasikan selama 1 jam.

Dan dilakukan pengambilan sampel awal tanpa perlakuan dan tiap 10 menit untuk data kinetika adsorpsi. Prosedur yang sama

juga dilakukan untuk variasi massa adsorben dan suhu serta variasi waktu kontak (dilakukan pengambilan pada 30, 60, 90, 120, 150, 180 menit).

2.3.6 Analisis Sampel Akhir

Sampel yang telah diambil saat proses adsorpsi diendapkan (sentrifugasi) menggunakan peralatan *centrifuge*. Larutan dan endapan hidroksiapatit dipisahkan. Uji larutan filtrate dengan alat spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang maksimum. Hasil analisis dicatat dan digunakan untuk analisis kinetika, termodinamika dan isotherm adsorpsi.

2.4 Metode Pengolahan Data

2.4.1 Analisis Isotherm Adsorpsi

Analisis isotherm adsorpsi pada penelitian ini menggunakan isotherm Langmuir persamaan, isotherm Freundlich, mengikuti persamaan persamaan, isotherm Harkins-Jura, isotherm Temkin dan untuk isotherm Dubinin-Radushkevich.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Kq_{max}} + \frac{1}{q_{max}} C_e \quad \dots\dots(2.1)$$

Dimana q_e adalah konsentrasi adsorbat per gram adsorben pada saat kesetimbangan (mg/g), C_e adalah konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan dalam fase cair, q_{max} adalah kapasitas *monolayer* (mg/L), dan K adalah konstanta langmuir (L/mg).

Slope dan intersep dari grafik untuk model isotherm adsorpsi langmuir ini dengan plot $\frac{C_e}{q_e}$ dan C_e , akan memberikan nilai q_{max} dan K .

$$\ln q_e = \ln k_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \dots\dots(2.2)$$

Slope dan intersep dari grafik untuk model isotherm adsorpsi freundlich ini dengan plot $\ln q_e$ dan $\ln C_e$, akan memberikan nilai n dan K .

$$\frac{1}{Q_e^2} = \frac{H_B}{H_A} - \frac{1}{H_A} \log C_e \quad \dots\dots(2.3)$$

Slope dan intersep dari grafik untuk model

isotherm adsorpsi Harkins jura ini dengan plot $\ln 1/Q_e^2$ dan $\log C_e$, akan memberikan nilai H_A dan H_B .

$$Q_e = \frac{RT}{b} \ln K_t + \frac{RT}{b} \ln C_e \dots\dots\dots (2.4)$$

Slope dan intersep dari grafik untuk model isotherm adsorpsi Temkin ini dengan plot Q_e dan $\ln C_e$, akan memberikan nilai konstanta Temkin (K_t).

$$\ln Q_e = \ln Q_D + B_D \left[RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_e} \right) \right]^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Slope dan intersep dari grafik untuk model isotherm adsorpsi Dubinin- Radushkevich ini dengan plot $\ln Q_e$ dan $(RT \ln (1+1/C_e))$, akan memberikan nilai B_D dan Q_D .

2.4.2 Analisis Termodinamika Adsorpsi

Analisis termodinamika adsorpsi menggunakan persamaan berikut ini:

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - \Delta S^\circ (T) \dots\dots\dots (2.7)$$

Slope dan intersep dari grafik untuk termodinamika adsorpsi dengan plot $\ln K_c$ dan $\frac{1}{T}$, akan memberikan nilai ΔH° dan ΔS° .

2.4.2 Analisis Kinetika Adsorpsi

Pada penelitian ini akan dianalisis persamaan laju adsorpsi atau kinetika adsorpsi untuk *pseudo first order*, *pseudo second order*, *Elovich model*, dan *Intraparticle Diffusion*.

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

Q_e = konsentrasi zat yang teradsorpsi pada waktu kesetimbangan, per berat adsorben (mg/g)

Q_t = konsentrasi zat yang teradsorpsi pada waktu t , per berat adsorben (mg/g)

k_1 = konstanta laju kinetika (min^{-1}).

dengan plot antara $\ln (Q_e - Q_t)$ vs. t akan memberikan persamaan garis lurus dengan *slope* berupa k_1 dan intersep berupa $\ln Q_e$.

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} t \dots\dots\dots (2.9)$$

Slope dan intersep dari grafik untuk model kinetika ini dengan plot t/Q_t dan t , akan memberikan nilai Q_e dan k_2 , dengan k_2 adalah konstanta laju kinetika (g/mg.min).

$$Q_t = \left(\frac{1}{\beta}\right) \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad \dots\dots (2.10)$$

Slope dan intersep dari grafik untuk model kinetika ini dengan plot $\ln t$ terhadap Q_t , yaitu $(1/\beta)$ dan $(1/\beta) \ln(\alpha\beta)$.

$$Q_t = k_{dif} t^{1/2} + c \quad \dots\dots (2.11)$$

Plot dari Q_t dan $t^{1/2}$ akan menjadi garis lurus dengan slope berupa k_{dif} , ketika difusi intrapartikel menjadi tahapan pembatas. Intersep dari plot grafik merefleksikan efek lapisan batas.

Setelah didapatkan nilai kinetika dari perhitungan menggunakan persamaan *pseudop first order* dan *pseudo second order* maka dapat ditentukan energi aktivasi pada percobaan tersebut dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$k = Ae \left(-\frac{E_a}{RT}\right) \dots\dots (2.12)$$

Dimana :

k = konstanta kecepatan reaksi (menit⁻¹)

A = frekuensi tumbukan

E_a = energi aktivasi (kal/g.mol K)

R = konstanta gas (kal/g.mol K)

T = Temperatur (K)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pembuatan Adsorben dari Limbah Kulit Udag

Pada kulit udang keberadaan kitin disertai adanya protein dan fraksi anorganik yang banyak mengandung kalsium (CaCO₃). Adsorben dari kulit udang dihasilkan dengan cara melakukan aktivasi terhadap limbah tersebut menggunakan larutan HCl 0,5 M. Limbah kulit udang yang telah di aktivasi menggunakan larutan HCl di netralkan pH nya menggunakan aquadest dan dikeringkan

selanjutnya serbuk tersebut digunakan sebagai adsorben penjerap logam Cu.

3.2 Kapasitas Jerap Serbuk Kulit Udag Terhadap Logam Cu dan Pengaruh Variabel Proses

Adsorben yang telah dihasilkan dari limbah kulit udang yang diaktivasi menggunakan larutan HCl. Proses adsorpsi dengan memvariasikan suhu adsorpsi dan massa adsorben, hasil dari proses adsorpsi tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini.

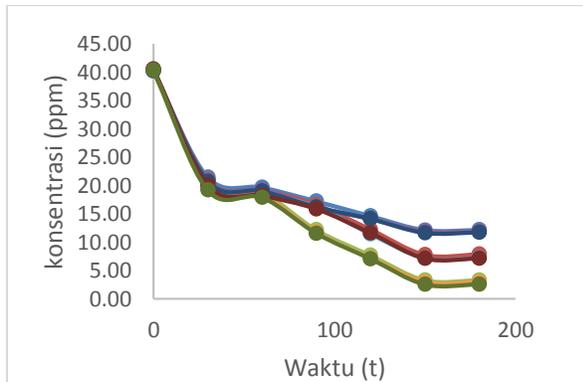
Tabel 3.1 Data hasil adsorpsi logam Cu

Suhu (°C)	Massa Adsorben (gram)	C ₀ (ppm)	C _e (ppm)	%RE (%)
30	2,5	40	24,25	69,86
	5		24,38	80,77
	7,5		23,98	91,77
40	2,5	40	24,42	70,09
	5		23,68	82,21
	7,5		23,61	92,68
50	2,5	40	24,05	71,06
	5		23,30	82,43
	7,5		23,25	93,59

Dapat dilihat pada tabel 4.1 bahwa adsorpsi optimum terjadi pada saat suhu adsorpsi 50°C dengan massa adsorben 7,5 gram dengan presentasi efisiensi adsorpsi yaitu 93,59%, hal tersebut disebabkan oleh pada suhu tinggi proses adsorpsi lebih optimal dibandingkan pada suhu rendah. Dan massa adsorben 7,5 gram lebih tinggi efisiensi adsorpsi dari pada massa adsorben 2,5 dan 5 gram dikarenakan luas permukaan adsorben yang lebih besar pada massa adsorben 7,5 gram. Presentasi dari efisiensi adsorpsi optimum didapatkan lebih tinggi dari pada adsorpsi yang dilakukan oleh Ikrima (2017) dikarenakan massa adsorben yang digunakan

pada penelitian lebih besar yaitu 7,5 gram dan dilakukan pada suhu 50⁰C, sedangkan Ikrima (2017) menggunakan massa adsorben 5 gram dan dilakukan pada suhu 30⁰C.

Pengaruh waktu kontak terhadap proses adsorpsi logam Cu menggunakan adsorben limbah kulit udang dapat dilihat dari gambar berikut ini:



Gambar 3.1 Pengaruh waktu kontak pada proses adsorpsi

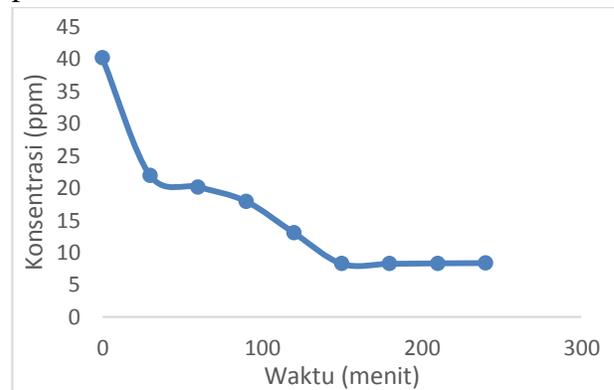
Pada gambar 3.1 terlihat proses adsorpsi logam Cu mengalami penurunan konsentrasi terbesar terjadi pada 30 menit pertama, hal tersebut disebabkan karena pada awal adsorpsi seluruh permukaan pori masih kosong dan molekul logam Cu akan menempel pada permukaan adsorben sehingga laju berlangsung cepat. Pada menit ke 150 proses adsorpsi logam Cu mengalami proses adsorpsi stabil hingga menit ke 180 hal tersebut disebabkan proses adsorpsi telah mencapai waktu optimum. Fenomena ini disebabkan karena ketika telah mencapai waktu kontak optimum maka adsorben telah mencapai waktu kontak optimum maka akan terjadi desorpsi diakibatkan sisi aktif yang tersedia pada permukaan adsorben berkurang karena logam Cu membentuk lapisan baru pada permukaan adsorben sehingga menutupi lapisan permukaan adsorben. Dari gambar diatas juga

dapat dilihat pada massa adsorben yang sama sedangkan konsentrasi meningkat maka kemampuan adsorpsi semakin berkurang, hal tersebut karena sedikitnya permukaan adsorben yang bertumbukan dengan konsentrasi larutan yang tinggi.

3.3 Isoterm dan Kinetika Adsorpsi

3.3.1 Penentuan Waktu Kesetimbangan

Penentuan waktu kesetimbangan dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi yang setimbang antara konsentrasi logam Cu pada larutan terhadap waktu selama proses penjerapan berlangsung. Grafik waktu kesetimbangan pada adsorpsi logam Cu menggunakan limbah kulit udang disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Penentuan Waktu Kesetimbangan dengan Memplotkan Waktu dengan Konsentrasi

Waktu kesetimbangan dicapai ketika tidak terjadi lagi perubahan konsentrasi logam Cu terhadap waktu. Gambar 3.2 menunjukkan adanya penurunan konsentrasi logam Cu terhadap waktu adsorpsi. Penurunan konsentrasi terjadi dari awal proses adsorpsi hingga menit ke-150, artinya selama waktu tersebut adsorben masih mampu menyerap adsorbat yang terkandung di dalam larutan. Konsentrasi logam Cu setelah menit ke-150 tidak mengalami perubahan atau telah mengalami kesetimbangan, dimana laju adsorpsi sebanding dengan laju desorpsi.

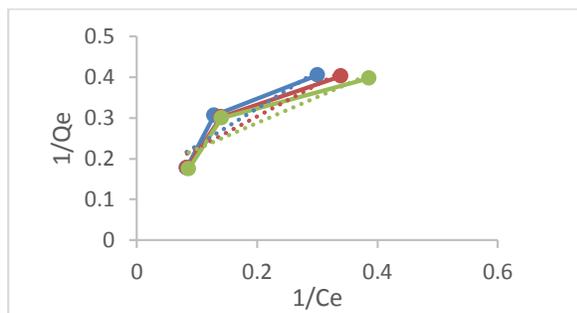
Berdasarkan Gambar 3.2 maka dapat ditentukan waktu kesetimbangan adsorpsi logam Cu menggunakan limbah kulit udang yaitu pada menit ke-150, dengan konsentrasi sisa sebesar 24,25 ppm. Waktu kesetimbangan yang diperoleh kemudian digunakan untuk seluruh variasi tahapan adsorpsi dalam penelitian.

3.3.2 Isoterm Adsorpsi

Untuk menentukan mekanisme adsorpsi, maka dilakukan pengujian model kesetimbangan adsorpsi. Pengujian model kesetimbangan bertujuan menentukan model kesetimbangan yang sesuai pada proses adsorpsi zat warna menggunakan hidroksiapatit. Pengujian model dilakukan menggunakan metode regresi linier untuk tiap variasi suhu. Model kesetimbangan yang diuji adalah model kesetimbangan Langmuir, Freundlich Harkins Jura, Temkin, dan Dubinin-Raduskevich. Untuk menentukan kecocokan model kesetimbangan dapat dilihat dari nilai *Correlation Factor* (R^2) yang diperoleh.

1. Model Isoterm Langmuir

Penentuan model kesetimbangan adsorpsi menggunakan model isoterm Langmuir dikaji dengan cara memplotkan $1/C_e$ versus $1/q_e$ pada grafik isoterm Langmuir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



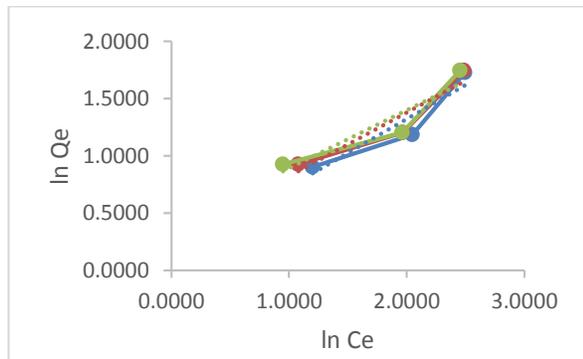
Gambar 3.3 Hubungan $1/q_e$ dengan $1/C_e$ pada model isoterm Langmuir

Gambar 3.3 menunjukkan linearisasi data penelitian pada model Langmuir sehingga menghasilkan persamaan dan *Correlation Factor* (R^2). Persamaan-persamaan yang dihasilkan pada model ini yaitu $y = 0,9116x + 0,1407$ untuk suhu 30°C , $y = 0,6351x + 0,1608$ untuk suhu 40°C dan $y = 65,867x + 68,902$ untuk suhu 50°C . Nilai R^2 yang dihasilkan pada suhu 30,40 dan 50°C masing-masing adalah sebesar 0,8509 ; 0,8319 dan 0,8777, dimana nilai R^2 yang paling mendekati angka 1 adalah penyerapan logam Cu pada suhu 50°C .

Persamaan pada plot antara $1/C_e$ dan $1/q_e$ pada masing-masing variasi suhu menghasilkan nilai kapasitas adsorpsi maksimum (q_m). Nilai q_m pada suhu 30,40 dan 50°C masing-masing yaitu sebesar 7,1073 mg/g; 6,2189 mg/g dan 0,0145 mg/g. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu maka maksimum adsorbat yang dapat terjerap cenderung semakin besar.

2. Model Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich dikembangkan untuk adsorpsi yang terjadi pada lebih dari satu lapisan tunggal (multilayer) dan permukaan yang heterogen. Model ini menggambarkan adsorpsi jenis fisika dimana adsorpsi terjadi pada beberapa lapis dan ikatannya tidak kuat (Nababan, 2017). Penentuan model kesetimbangan adsorpsi menggunakan model isoterm Freundlich dikaji dengan cara memplotkan $\ln C_e$ versus $\ln q_e$ pada grafik isoterm Freundlich seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



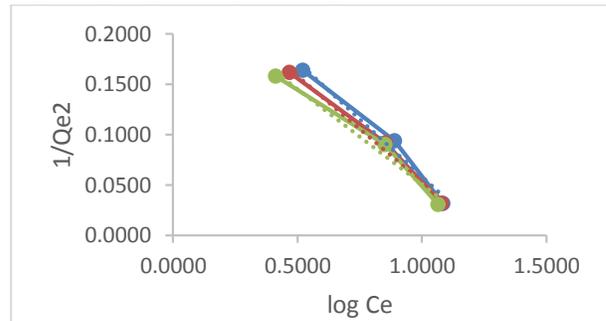
Gambar 3.4 Hubungan $\ln q_e$ dengan $\ln C_e$ pada persamaan freundlich

Gambar 3.4 menunjukkan linearisasi data penelitian pada model Freundlich sehingga menghasilkan persamaan dan *Correlation Factor* (R^2). Persamaan-persamaan yang dihasilkan pada model ini yaitu $y = 0,5946x + 0,1325$ untuk suhu 30°C , $y = 0,5539x + 0,2567$ untuk suhu 40°C dan $y = 0,5061x + 0,3853$ untuk suhu 50°C . Nilai R^2 yang dihasilkan pada suhu $30,40$ dan 50°C , masing-masing adalah sebesar $0,8749$; $0,8319$ dan $0,8777$, dimana nilai R^2 yang mendekati angka 1 adalah penyerapan logam Cu pada suhu 50°C .

Model Freundlich tidak dapat menunjukkan kapasitas maksimum suatu adsorben untuk menjerap suatu adsorbat. Persamaan pada plot antara $\ln C_e$ dan $\ln q_e$ pada masing-masing variasi pH menghasilkan nilai K_F dan $1/n$. Nilai konstanta isoterm (K_F) akan menunjukkan kapasitas adsorpsi secara kualitatif, dimana semakin besar nilai konstanta isoterm maka semakin besar pula kapasitas adsorpsi (Kumar, dkk., 2013). Nilai K_F pada suhu $30,40$ dan 50°C masing-masing yaitu sebesar $1,14$; $1,29$ dan $1,47$. Kapasitas adsorpsi paling besar terjadi pada suhu 50°C . Nilai n adalah nilai heterogenitas suatu permukaan. Pada model Freundlich, nilai n untuk suhu $30,40$ dan 50°C , masing-masing adalah sebesar $1,6818$; $1,8054$ dan $1,9759$.

3. Model Isoterm Harkins Jura

Penentuan model kesetimbangan adsorpsi menggunakan model isoterm Harkins Jura dikaji dengan cara memplotkan $1/Q_e^2$ versus $\log C_e$ pada grafik isoterm Harkins Jura seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



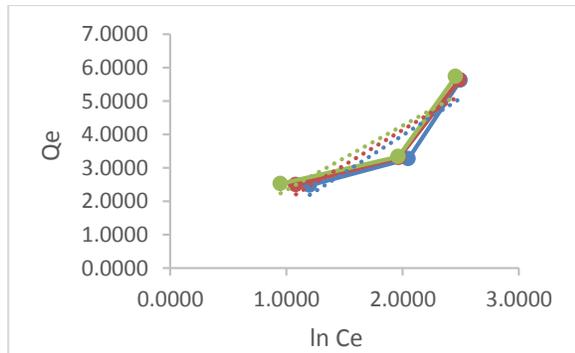
Gambar 3.5 Hubungan $\ln 1/Q_e^2$ dengan $\ln C_e$ pada persamaan harkins jura

Gambar 3.5 menunjukkan linearisasi data penelitian pada model Harkins Jura sehingga menghasilkan persamaan dan *Correlation Factor* (R^2). Persamaan-persamaan yang dihasilkan pada model ini yaitu $y = -0,2293x + 0,2872$ untuk suhu 30°C , $y = -0,2099x + 0,2631$ untuk suhu 40°C dan $y = -0,1888x + 0,2395$ untuk suhu 50°C . Nilai R^2 yang dihasilkan pada suhu $30,40$ dan 50°C masing-masing adalah sebesar $0,9796$; $0,9891$ dan $0,9757$, dimana nilai R^2 yang mendekati angka 1 adalah penyerapan logam Cu terjadi pada suhu 40°C .

Persamaan pada plot antara $\log C_e$ dan $1/Q_e^2$ pada masing-masing variasi suhu menghasilkan nilai H_A dan H_B . Nilai konstanta Harkins jura (H_A) akan menunjukkan kapasitas adsorpsi secara kualitatif, dimana semakin kecil nilai konstanta isoterm maka semakin kecil kapasitas adsorpsi. Nilai H_A pada suhu $30,40$ dan 50°C masing-masing yaitu sebesar $4,3611$; $4,7642$ dan $5,2966$. Kapasitas adsorpsi paling besar terjadi pada suhu 50°C .

4. Model Isoterm Temkin

Isoterm Temkin menjelaskan interaksi antara adsorben dengan adsorbatnya. Penentuan model kesetimbangan adsorpsi menggunakan model isoterm Temkin dikaji dengan cara memplotkan Q_e Versus $\ln C_e$ pada grafik isoterm Temkin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 4.6 Hubungan $\ln Q_e$ dengan $\ln C_e$

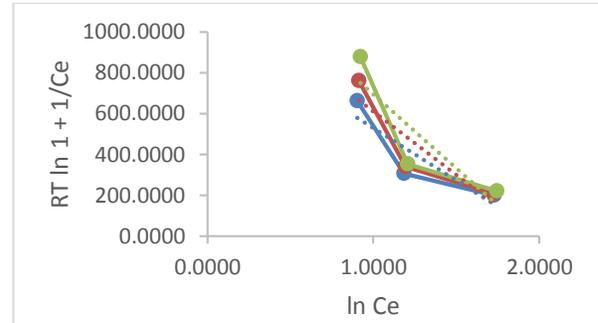
Gambar 3.6 menunjukkan linearisasi data penelitian pada model Temkin sehingga menghasilkan persamaan dan *Correlation Factor* (R^2). Persamaan-persamaan yang dihasilkan pada model ini yaitu $y = 2,2357x - 0,4966$ untuk suhu 30°C , $2,0985x - 0,0621$ untuk suhu 40°C , dan $y = 1,9341x + 0,3984$ untuk suhu 50°C . Nilai R^2 yang dihasilkan pada suhu 30,40 dan 50°C masing-masing adalah sebesar 0,8053; 0,8337 dan 0,7940, dimana nilai R^2 yang mendekati angka 1 adalah penyerapan logam Cu pada suhu 40°C .

Persamaan pada plot antara Q_e dan $\ln C_e$ pada masing-masing variasi suhu menghasilkan nilai K_T . Nilai K_t pada suhu 30,40 dan 50°C masing-masing yaitu sebesar 0,9636; 0,7645 dan 1,0376. Kapasitas adsorpsi paling besar terjadi pada suhu 50°C .

5. Model Isoterm Dubinin Raduskevich

Isoterm Dubinin Raduskevich menjelaskan adsorpsi permukaan pada adsorben mikropori. Model isoterm ini adalah model isoterm fisika untuk menentukan kapasitas adsorpsinya. Penentuan model

kesetimbangan adsorpsi menggunakan model isoterm Dubinin Raduskevich dikaji dengan cara memplotkan $\ln Q_e$ versus $RT \ln (1+1/C_e)$ pada grafik isoterm Dubinin Raduskevich seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Hubungan $\ln Q_e$ dengan $RT \ln (1+1/C_e)$

Gambar 3.7 menunjukkan linearisasi data penelitian pada model Dubinin Raduskevich sehingga menghasilkan persamaan dan *Correlation Factor* (R^2). Persamaan-persamaan yang dihasilkan pada model ini yaitu $y = -0,0015x + 1,8635$ untuk 30°C , $-0,0013x + 1,8401$ untuk suhu 40°C dan $y = -0,001x + 1,7982$ untuk 50°C . Nilai R^2 yang dihasilkan pada suhu 30,40 dan 50°C masing-masing adalah sebesar 0,7803; 0,7984 dan 0,7607, dimana nilai R^2 yang mendekati angka 1 adalah penyerapan logam Cu pada suhu 40°C .

Persamaan pada plot antara $\ln Q_e$ dan $RT \ln (1+1/C_e)$ pada masing-masing variasi suhu menghasilkan nilai Q_D . Nilai Q_D pada suhu 30,40 dan 50°C masing-masing yaitu sebesar 6,4463; 6,2972 dan 6,0388. Kapasitas adsorpsi paling besar terjadi pada 50°C

3.3.3 Kinetika Adsorpsi

Dari data hasil percobaan, dilakukan penentuan kinetika adsorpsi dengan menggunakan 4 model untuk menentukan model kinetika mana yang paling cocok dengan eror yang paling kecil (R^2 mendekati 1), yang paling baik untuk menjelaskan

peristiwa adsorpsi yang terjadi. 4 model kinetika yang dipakai adalah model kinetika *pseudo first order*, *pseudo second order*, Elovich model, dan *intraparticle diffusion*.

Menurut Lagergren, persamaan model kinetika *pseudo-firstorder* dinyatakan sebagai berikut:

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t$$

Plot antara $\ln(Q_e - Q_t)$ vs. t akan memberikan persamaan garis lurus dengan slope berupa k_1 dan intersep berupa $\ln Q_e$.

Persamaan dari model kinetika *pseudo-second order* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} t$$

Slope dan intersep dari grafik untuk model kinetika ini dengan plot t/Q_t dan t , akan memberikan nilai Q_e and k_2 .

Persamaan dari model kinetika adsorpsi Elovich ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Q_t = \left(\frac{1}{\beta}\right) \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$$

Nilai $1/\beta$ menunjukkan total *site* yang tersedia untuk adsorpsi dan nilai $(1/\beta) \ln(\alpha\beta)$ menunjukkan kuantitas adsorpsi ketika $\ln t$ sama dengan nol. Slope dan intersep dari grafik untuk model kinetika ini dengan plote $\ln t$ terhadap Q_t , yaitu $(1/\beta)$ dan $(1/\beta) \ln(\alpha\beta)$.

Model difusi intra partikel digunakan untuk mengidentifikasi mekanisme adsorpsi dan untuk memprediksikan tahapan reaksi (Ejikeme et al., 2014). Model kinetika *intraparticle diffusion* sebagai berikut :

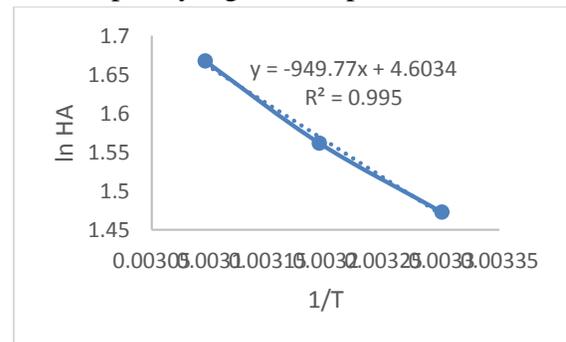
$$Q_t = k_{dif} t^{1/2} + c$$

Intersep dari plot grafik merefleksikan efek lapisan batas. Difusi intrapartikel merupakan satu-satunya langkah penentu laju adsorpsi, kemudia regresi dari Q_t terhadap $t^{1/2}$ harus linier dan melewati titik-titik aslinya. Bila

tidak, maka hal ini menandakan bahwa difusi intrapartikel bukanlah satu-satunya penentu laju adsorpsi. Hasil dari Kinetika dapat diketahui nilai R^2 yang paling mendekati 1 adalah persamaan kinetika *pseudo second orde* pada suhu 50°C massa adsorben 7,5 gram, dengan nilai R^2 adalah 0,9974 dan konstanta laju adsorpsi atau k adalah 0,019.

3.4 Kapasitas Panas Adsorpsi (ΔH)

Kapasitas panas adsorpsi (ΔH) adalah perubahan kandungan panas atau perubahan entalpi suatu sistem yakni jumlah panas yang dibebaskan oleh sejumlah adsorbat terhadap adsorben. Dari persamaan $y = -949,77x + 4,6034$, akan diplot dengan harga konstanta Harkins Jura (HA) pada variasi suhu sehingga diperoleh grafik hubungan suhu ($1/T$) terhadap $\ln HA$ seperti yang terlihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Hubungan Suhu Adsorpsi dengan Konstanta Kesetimbangan

Berdasarkan persamaan linear pada Gambar 3.8, maka dapat diketahui kapasitas panas adsorpsi (ΔH) yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu sebesar 7,90 kJ/mol. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa adsorpsi yang terjadi lebih didominasi dengan adsorpsi fisika karena panas adsorpsi fisika dibawah 10 kJ/mol (Atkins, 1999). Kapasitas panas adsorpsi yang dihasilkan bernilai positif, artinya proses terjadi secara endotermis (Cano,dkk., 2013).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian, maka dapat diambil kesimpulan. Kapasitas adsorpsi terbesar terjadi pada suhu adsorpsi 50°C dan massa adsorben 7,5 gram dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 93,59%. Isoterm adsorpsi mengikuti persamaan isoterm Harkins Jura dengan nilai R^2 0,9891. Kinetika proses adsorpsi mengikuti kinetika *pseudo second orde* dengan konstanta laju adsorpsi 0,019. Adsorpsi pada penelitian ini termasuk adsorpsi fisika dengan kapasitas panas adsorpsi (ΔH) sebesar 7,90 kJ/mol dan bersifat endotermis.

Daftar Pustaka

- Azmi, 2009, *Keseimbangan Adsorpsi Logam Berat Cu (II) Dengan Serbuk Gergaji Terasetilasi*, Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Cano, C. F., Azar, C. O. dan Speisky, H., 2013, *Structural and Thermodynamic Factor on the Adsorption Process of Phenolic Compounds onto Polyvinylpyrrolidone, Colloids and Surface*, Physicochemical and Engineering Aspects, 418: 105-111.
- Huang, H. Y., Hsueh, C. L., Cheng, H. P., Su, L. C. dan Chen, C. Y. 2006. *Thermodynamic and Kinetics of Adsorption of Cu (II) onto waste iron oxide*. Journal of hazardous materials, 144: 406-411
- Ikrima, H., 2017, *Pemanfaatan Limbah Kulit Udang sebagai Adsorben pada Logam dengan Aktivator Asam*, Tugas Akhir, Program Studi D3 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Kumar, A., Chaudhary, P. dan Verma, P, 2013, *Adsorption of Reactive Red 194 Dye from Textile Effluent by Using Class F Fly Ash*, Sch. J. App. Med. Sci., 1(2), 111-116.
- Nababan, M.C., Rozanna, S. I. dan Yelmida, 2017, *Model Keseimbangan Adsorpsi Zat Warna Direct Brown Menggunakan Limbah Padat Pulp dan Kertas (Dregs) dengan Proses Batch*, JOM FTEKNIK, 4(2): 1-7.
- Sukpreabprom, H., Arquero, O. A., Naksata, W., Sooksamiti, P. dan Janhom, S., 2014, *Isotherm, Kinetic and Thermodynamic Studies on the Adsorption of Cd (II) and Zn (II) ions from Aqueous Solutions onto Bottom As.* International Journal of Environmental Science and Development, 5(2):165-170.
- Udeh, N. U. dan Agunwamba, J. C., 2017, *Equilibrium and Kinetics Adsorption of Cadmium and Lead Ions from Aqueous Solution Using Bamboo Based Activated Carbon*. The International Journal Of Engineering And Science (IJES), 6(2):17-26.