



ADSORPSI ION LOGAM CD (II) DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBEN DARI KULIT PINANG (*ARECA CATECHU. L*)

Nur Octavia Deri¹, Abrar Muslim², Husni Husin², Zulfikar³

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

³Dinas Pertanian dan Pangan, Kabupaten Aceh Utara

Korespondensi: HP: 085260864286, e-mail: deri.elfikri86@gmail.com

Received: 20 November 2024; Revised: 22 November 2024; Accepted: 25 November 2024; Available online: 29 November 2024; Published regularly: November 2024



Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melihat kemampuan kulit pinang dalam menyerap ion logam Cd (II), menentukan pengaruh konsentrasi awal adsorbat dan waktu pengontakan terhadap efisiensi penyerapan ion logam Cd (II). Untuk menganalisa kadar logam Cd (II) digunakan alat Spektrofotometri Serapan Atom (AAS). Variabel tetap yang digunakan pada massa adsorben (1 gram), volume larutan umpan (100 ml) dan kecepatan pengadukan (75 rpm). Variabel berubah terdiri dari konsentrasi larutan (9,83; 49,16; 98,32; 245,81; 511,62; dan 1023,24 ppm) dan waktu kontak (0, 10, 30, 60, dan 90 menit). Parameter penelitian yang ditinjau meliputi kapasitas adsorpsi, efisiensi penyerapan, dan hubungan temperatur operasi terhadap kapasitas adsorpsi. Dari hasil penelitian diperoleh adsorpsi optimum terjadi pada konsentrasi larutan 1023,24 mg/L pada aktivasi kimia KOH 1 M dan pH 7. Nilai kapasitas adsorpsi dan nilai efisiensi penyerapan pada saat kesetimbangan berturut-turut adalah sebesar 99,781 mg/g dan 97,51%. Pada suhu ruangan dengan variasi konsentrasi awal larutan Cd (II) (1023,24; 511,62; 98,32; 49,16; 9,83 mg/L), adsorpsi kemungkinan menyerupai isotherm Freundlich dengan nilai korelasi (R^2) 0,930. Untuk konstanta Freundlich (K_f) sebesar 4,32 mg/g, dan nilai $1/n$ sebesar 1,67. Pada suhu ruangan dengan konsentrasi awal larutan Cd (II) 1023,24 mg/L, adsorpsi mengikuti model kinetika orde dua dengan nilai konstanta kinetika (k_2) sebesar $0,422 \text{ min}^{-1}$ dan nilai kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (q_e) adalah sebesar 89,158 mg/g.

Kata kunci: adsorpsi, kulit pinang, ion logam Cd (II), efisiensi penyerapan, kapasitas adsorpsi.

<https://doi.org/10.29103/jtku.v13i2.19432>



1. Pendahuluan

Pencemaran lingkungan terutama dari logam berat dan mineral yang terdapat dalam air limbah merupakan masalah yang paling serius saat ini. Limbah, baik dari limbah industri maupun limbah pertanian adalah polutan utama yang mencemari lingkungan. Sumber polutan logam berat pada limbah industri terdapat pada operasi pertambangan, pengolahan logam, pembangkit listrik tenaga nuklir, pestisida, penyamakan kulit, obat-obatan, bahan kimia organik, plastic dan karet, kayu dan produk kayu. Sebagian besar industri membuang air limbah yang mengandung bahan beracun ke sungai tanpa penanganan yang memadai. Untuk menghindari bahaya kesehatan, sebelum dibuang kesungai/ lingkungan perlu adanya penanganan dalam menghilangkan logam berat beracun dari air limbah. Logam berat yang dibuang ke air limbah sangat beracun, berbahaya dan dapat menyebabkan ancaman serius bagi kesehatan manusia pada batas konsentrasi tertentu (Lakherwal, 2014).

Cd^{2+} merupakan salah satu contoh logam berat yang terdapat dalam limbah industri. Logam Cd^{2+} tersebut tidak biodegradable, menyebabkan berbagai penyakit dan gangguan lainnya. Bagi semua organisme hidup, cadmium bersifat toksik bahkan sangat berbahaya bagi manusia.

Sejumlah teknologi telah dikembangkan selama bertahun-tahun dalam pengolahan limbah industri untuk menghilangkan Cd^{2+} dari badan perairan, baik secara proses kimia maupun proses fisika yang meliputi metode netralisasi, presipitasi kimia, *electroflotation*, pertukaran ion (*ion exchange*), *reverse osmosis* dan adsorpsi pada karbon aktif. Adsorpsi merupakan metode terbaik dalam pengolahan buangan limbah industri, hal ini dikarenakan metode adsorpsi memiliki keuntungan yang signifikan diantaranya efektivitas biaya rendah, ketersediaan yang melimpah, profitabilitas, tidak ada efek samping zat beracun, mampu menghilangkan bahan- bahan anorganik, efisien dan mudah dalam pengoperasian. Beberapa adsorben yang digunakan untuk adsorpsi ion logam termasuk diantaranya karbon aktif, mineral lempung, biomaterial, limbah industri padat dan zeolit (Lakherwal, 2014).

Berbagai penelitian adsorpsi telah dilakukan untuk mereduksi logam berat yang terkandung dalam limbah cair dengan menggunakan preparasi karbon aktif dari kulit pinang. (Renugadevi dkk., 2010) dalam penelitiannya untuk menghilangkan kadar Cr^{4+} menggunakan karbon aktif dari kulit pinang. Persentase penyisihan tertinggi dari penggunaan adsorben dari kulit pinang diperoleh konsentrasi 0,12 mg/L sebesar 32,91%. Selain itu oleh (Muslim, dkk., 2016) dalam penelitiannya untuk menghilangkan kadar Cu (II) dengan menggunakan karbon aktif dari kulit pinang teraktivasi kimia. Hasil yang diperoleh dari adsorpsi rata-rata ion logam Cu (II) pada konsentrasi 1-25 mg/L sebesar 1,33 mg/L.

Kulit pinang (*Areca catechu shell*) merupakan salah satu jenis bahan yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan dasar pembuatan adsorben dan merupakan jenis material yang mengandung lignoselulosa. Material lignoselulosa merupakan kelompok fungsional polar yang diketahui memiliki kemampuan menyerap logam berat karena mengandung gugus-gugus aktif seperti gugus hidroksi (-OH), gugus karbonil (=O) dan gugus karboksil (-COOH) (Rini, 2004). Kulit pinang sangat cocok dijadikan sebagai bio-adsorben karena memiliki kandungan selulosa dan lignin suatu material (Okafor, 2012).

2. Metodologi

2.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah kulit pinang (*Areca Catechu*), $\text{CdNO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, dan aquades. Alat yang digunakan adalah furnace, oven listrik, Hot plate, magnetic stirrer, termometer, Erlenmeyer, gelas beaker, gelas ukur, corong, timbangan digital, labu ukur, pH meter, kertas saring, botol sampel.

2.2 Prosedur Proses Adsorpsi ion Logam Cd (II)

Kulit pinang dibersihkan, dikeringkan dan digiling menjadi serbuk dengan ukuran 60 mesh, kemudian diaktivasi fisika didalam furnace pada suhu 450°C selama 2 jam. Setelah itu diaktivasi kimia dengan menambahkan larutan KOH. KOH sesuai variasi kemudian ditambah dengan 40 gr karbon aktif dan 100 ml

aquades ke dalam *beaker glass*. Larutan kemudian diaduk selama 24 jam dan dicuci dengan aquades hingga pH larutan netral. Selanjutnya, karbon aktif yang telah diaktivasi dipisahkan dengan cara penyaringan dan dikeringkan dengan oven pada suhu 120°C. Karbon aktif yang dihasilkan diadsorpsi dengan menggunakan larutan standar Cd (1 gram karbon aktif dan 100 ml larutan standar Cd) dengan konsentrasi awal 1023,24; 511,62; 98,32; 49,16; 9,83 mg/L. Kemudian dianalisa dengan menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrometer*).

2.3 Analisa

Parameter yang diuji dalam penelitian ini adalah kapasitas adsorpsi, efisiensi penyerapan, hubungan temperatur operasi terhadap kapasitas adsorpsi, isotherm adsorpsi dan kinetika.

Uji karakterisasi yang digunakan adalah FTIR (*Fourier transform infrared spectroscopy*) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben kulit pinang. Dan untuk *morphology physical* dari permukaan karbon aktif dan permukaan adsorben kulit pinang, digunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

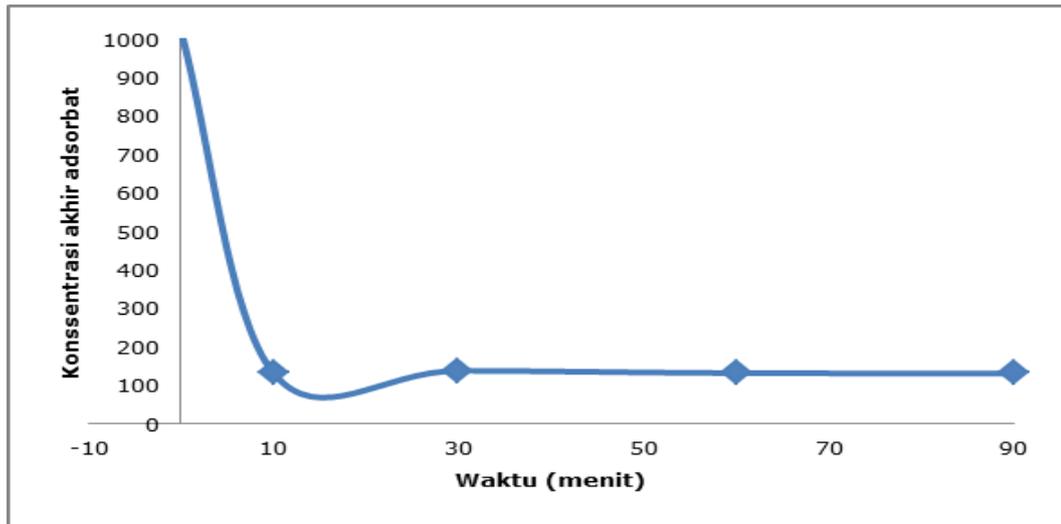
3. Hasil dan Pembahasan

Proses penyerapan suatu zat dalam cairan pada permukaan zat penyerap (adsorben) disebut dengan proses adsorpsi. Menurut Othmer (1998) ada beberapa faktor yang sangat mempengaruhi proses adsorpsi yaitu diantaranya faktor lingkungan (temperatur, tekanan dan pH), ukuran pori, konsentrasi dan waktu kontak. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh waktu pengontakan, pengaruh konsentrasi adsorbat, pengaruh pH dan pengaruh temperatur terhadap kapasitas adsorpsi, efisiensi penyerapan, kinetika adsorpsi dan isotherm adsorpsi yang terjadi pada proses penyerapan ion logam Cd (II) dengan menggunakan adsorben kulit pinang.

3.1 Uji Pendahuluan untuk Menentukan Waktu Ekuilibrium (t_e)

Adapun uji pendahuluan ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorben dari kulit pinang untuk dapat menyerap logam Cd (II) dan selain itu

juga bertujuan untuk menentukan waktu equilibrium (t_e). Waktu equilibrium adalah waktu dimana konsentrasi adsorbat dalam larutan dan adsorben telah setimbang sehingga tidak terjadi lagi penyerapan. Penentuan waktu equilibrium dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



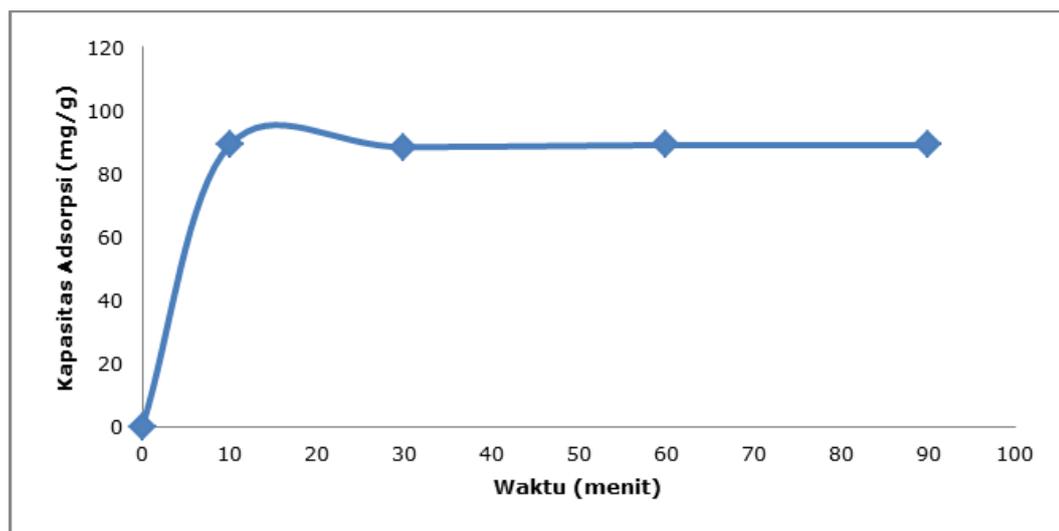
Gambar 1 Hubungan antara waktu kontak terhadap konsentrasi adsorbat untuk menentukan waktu equilibrium (t_e) pada konsentrasi 1023,24 mg/L, pH 7, suhu 25°C, dan putaran pegaduk 75 rpm.

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa waktu kesetimbangan (t_e) yang diperoleh pada uji pendahuluan untuk konsentrasi adsorbat 245,81 mg/L dan 1023,24 mg/L adalah pada menit ke-90, dimana pada waktu tersebut penurunan konsentrasi adsorbat mencapai keadaan stabil dimulai pada menit ke-60 dan mencapai keadaan setimbang pada menit ke-90. Maka pada menit ke-90 ini ditetapkan sebagai waktu kesetimbangan dan menjadi dasar acuan untuk uji kapasitas penyerapan pada berbagai konsentrasi adsorbat.

Selain itu dapat dilihat juga bahwa seiring dengan pertambahan waktu adsorpsi, konsentrasi logam Cd (II) dalam larutan semakin menurun. Hal tersebut membuktikan bahwa adsorben kulit pinang memiliki kemampuan sebagai adsorben.

3.2 2.1 Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Ion Logam Cd (II) oleh Karbon Aktif

Untuk mengetahui pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan ion Cd (II) oleh adsorben kulit pinang maka dilakukan pengujian dengan memvariasikan waktu kontak. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan ion Cd (II) dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



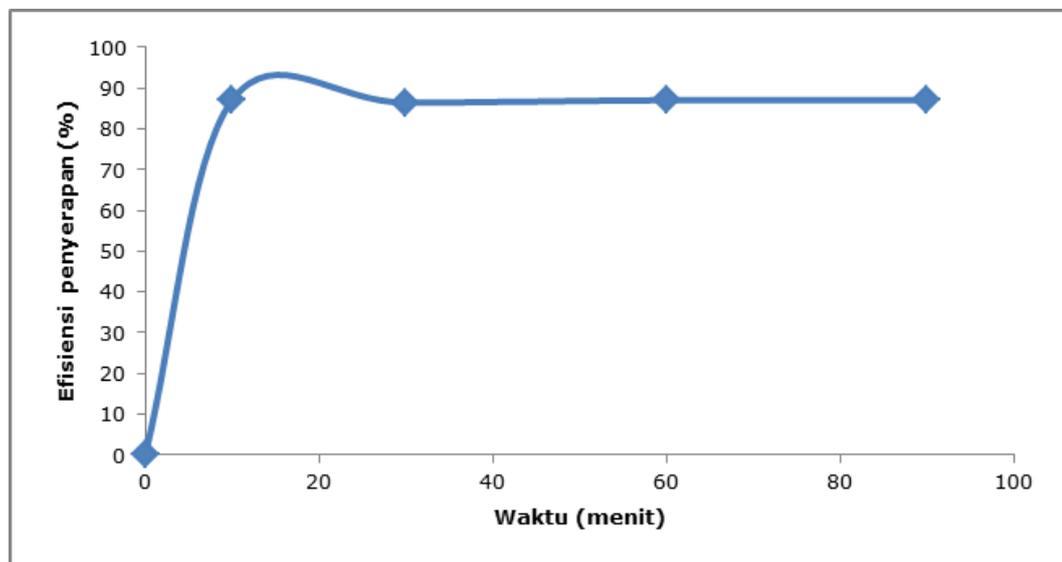
Gambar 2 Hubungan antara waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan ion logam Cd (II) pada konsentrasi adsorbat 1023,24 mg/L, pH 7 dan suhu 25°C.

Berdasarkan Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa kapasitas penyerapan meningkat seiring dengan pertambahan waktu kontak antara adsorben dan adsorbat. Semakin lama waktu kontak maka konsentrasi ion logam Cd (II) yang terserap akan semakin meningkat sampai terjadinya kesetimbangan. Lelifajri (2010) menyimpulkan bahwa waktu kontak antara ion logam dengan adsorben sangat mempengaruhi daya serap, semakin lama waktu kontak maka penyerapan akan semakin meningkat. Hal ini juga sesuai dengan hasil penelitian yang diperoleh pada penelitian ini. Percobaan dilakukan pada konsentrasi larutan CdNO₃ 1023,24 ppm dengan kecepatan putaran pengaduk 75 rpm. Berdasarkan hasil percobaan, maka diperoleh bahwa kapasitas penyerapan untuk konsentrasi 1023,24 mg/L dengan waktu pengontakan 10, 30, 60, dan 90 menit berturut-turut adalah 89,045; 88,473; 89,87; dan 89,134 mg/g. Demikian juga dengan Muslim, dkk (2016) menyatakan bahwa kesetimbangan tidak tergantung pada konsentrasi

awal ion logam dari waktu ke waktu, biasanya monoton meningkat ke tingkat kesetimbangan yang mengarah ke kemungkinan adsorpsi monolayer.

3.3 Pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyerapan Ion Cd

Untuk mengetahui pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyerapan logam Cd (II) maka dilakukan pengujian dengan memvariasikan waktu kontak. Pengujian ini dilakukan pada konsentrasi adsorbat 1023,24 mg/L. Lamanya waktu kontak antara adsorbat dengan adsorben akan mempengaruhi efisiensi dan kapasitas penyerapan. Semakin lama waktu kontak maka ion Cd (II) yang terserap akan semakin meningkat, seperti ditampilkan pada Gambar 3:



Gambar 3 Hubungan antara waktu kontak terhadap efisiensi penyerapan ion logam Cd (II) pada konsentrasi 1023,24 mg/L, putaran pegaduk 75 rpm, pH 7 dan suhu 25°C.

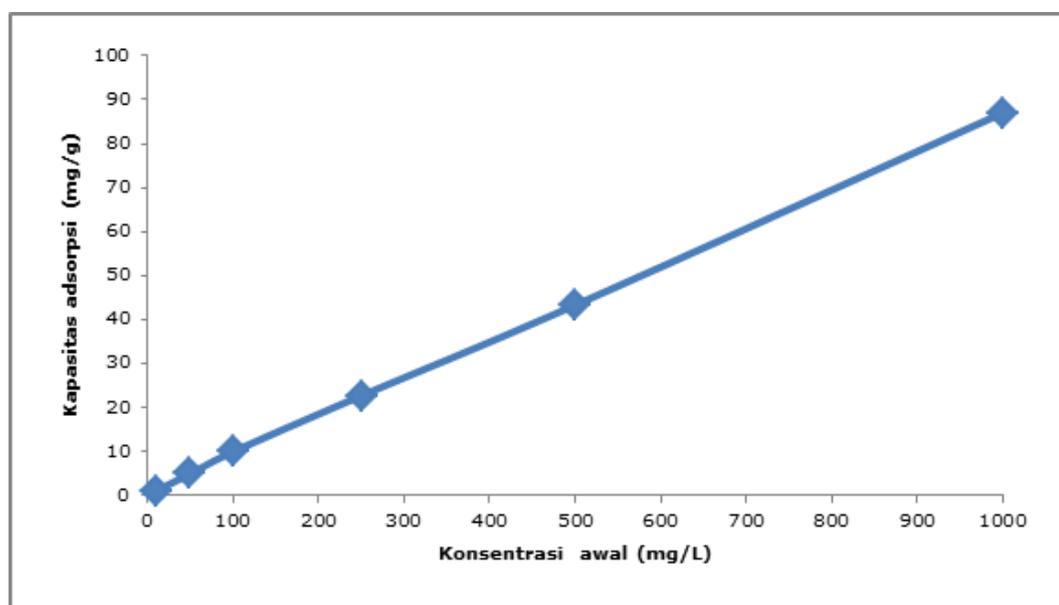
Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi 1023,24 mg/L diperoleh efisiensi penyerapan pada waktu 10, 30, 60, dan 90 menit berturut-turut adalah 87,02%; 86,46%; 87,06%; dan 87,11%. Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa efisiensi penyerapan terbesar adalah pada waktu kontak 90 menit yang merupakan waktu kesetimbangan.

Renugadevi (2010) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa efisiensi penyisihan tertinggi pada karbon aktif cangkang pinang yang digunakan

untuk adsorpsi Cr^{6+} pada konsentrasi 0,12 ppm adalah sebesar 32,91 %. Berdasarkan dari hasil percobaan ini bahwa adsorben kulit pinang yang diperoleh mampu menyisihkan logam Cd (II) dengan persentase penyisihan mencapai 97% pada konsentrasi 1023,24 ppm, hal tersebut menjelaskan bahwa adsorben dari kulit pinang lebih selektif dalam menyerap Cd (II) dari pada menyerap Cr^{6+} .

3.4 Pengaruh konsentrasi awal adsorbat pada larutan terhadap kapasitas penyerapan ion logam Cd (II) oleh karbon aktif

Konsentrasi awal adsorbat berpengaruh terhadap kapasitas penyerapan ion logam Cd (II), percobaan dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi adsorbat yaitu 1023,24; 511,62; 98,32; 49,16; 9,83 ppm dan proses adsorpsi dilakukan dengan waktu kontak 90 menit dan kecepatan pengaduk 75 rpm. Untuk menentukan pengaruh konsentrasi awal adsorbat terhadap kapasitas penyerapan dapat di plot grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 4 berikut:



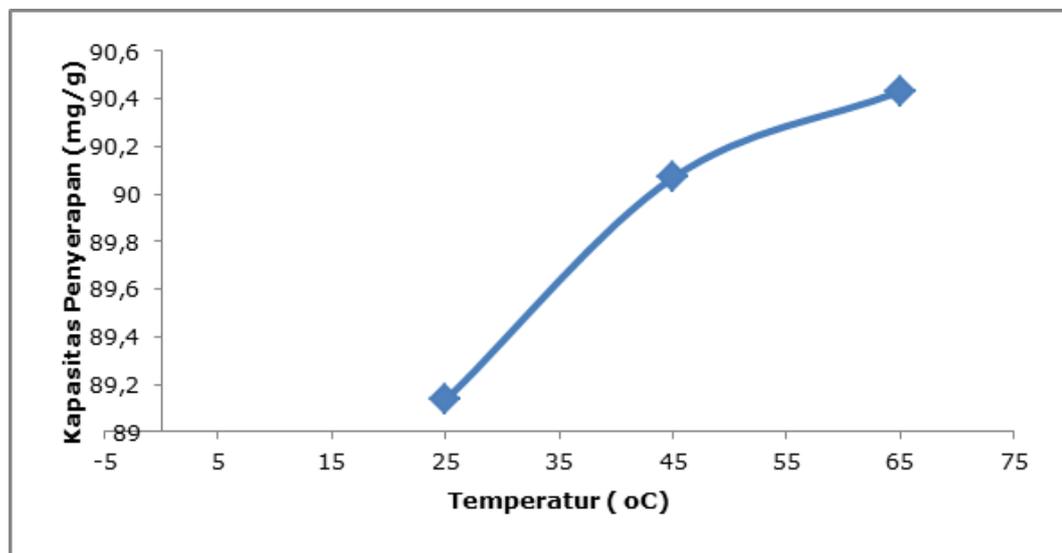
Gambar 4 Hubungan antara konsentrasi awal adsorbat (C_0) dengan kapasitas penyerapan (q_e) ion logam Cd (II) dengan adsorben 1 gram pada pH 7 dan suhu 25°C.

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa kapasitas penyerapan dengan adsorben kulit pinang pada konsentrasi adsorbat 9,83; 49,16; 98,32; 245,81; 511,62; dan

1023,24 mg/L berturut-turut adalah 0,964; 4,812; 9,719; 22,234; 44,447; dan 89,358 mg/g. Kapasitas penyerapan ion logam cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi. Berdasarkan hasil yang diperoleh, kapasitas adsorpsi (q_e) yang terbaik adalah 89,358 mg/g pada konsentrasi optimum yaitu 1023,24 ppm.

3.5 Pengaruh suhu terhadap kapasitas adsorpsi Cd (II) oleh karbon aktif

Pengaruh suhu juga mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Semakin tinggi suhu maka kapasitas adsorpsi juga semakin meningkat. Sebagaimana yang terdapat dalam gambar 5 berikut ini:



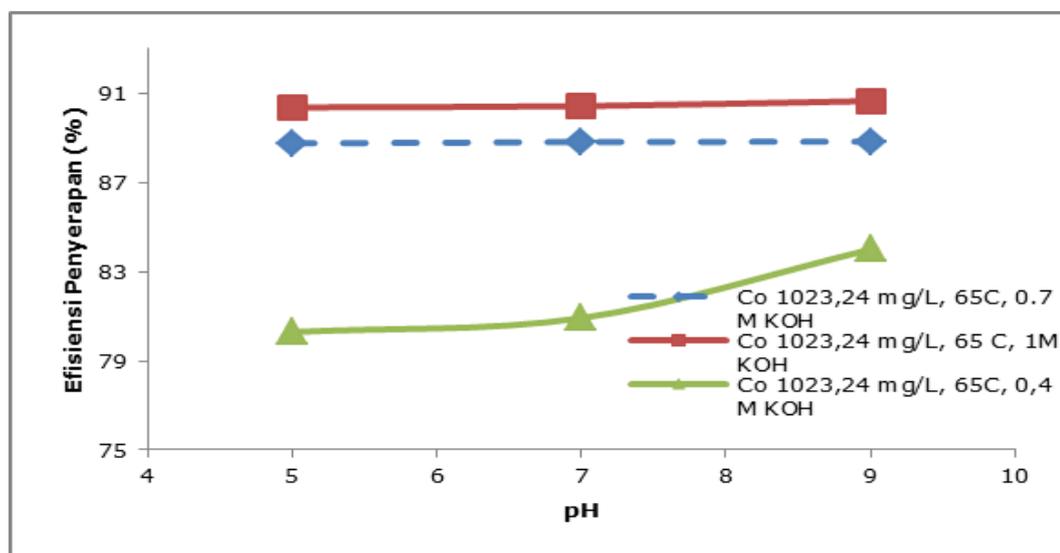
Gambar 5 Pengaruh suhu terhadap kapasitas adsorpsi Cd (II) oleh karbon aktif pada konsentrasi 1023,24 mg/L dan pH 7.

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa suhu yang digunakan pada proses adsorpsi 25°C, 45°C, dan 65°C berturut-turut adalah 89,134; 90,069; dan 90,432 mg/g. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu adsorpsi yang digunakan, maka semakin tinggi pula nilai kapasitas adsorpsi yang diperoleh. Kenaikan temperature mengakibatkan kenaikan penghilangan ion logam Cd (II) yang dinyatakan dalam persentase. Peningkatan kapasitas adsorpsi seiring dengan kenaikan temperature menyebabkan peningkatan mobilitas dan difusi ion logam Cd (II). Karena difusi merupakan proses endotermis, peningkatan temperature operasi menghasilkan pembesaran ukuran pori sehingga menyebabkan pori

menjadi lebih luas dan dalam, dan menciptakan permukaan yang lebih luas untuk adsorpsi (Mengistie, dkk., 2008).

3.6 Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi Cd (II) oleh karbon aktif dan pengaruh konsentrasi activator KOH

Adapun pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi pada konsentrasi activator yang berbeda dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini:



Gambar 6 Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi Cd (II) oleh karbon aktif dan pengaruh konsentrasi activator KOH pada konsentrasi 1023,24 mg/L, suhu 65°C

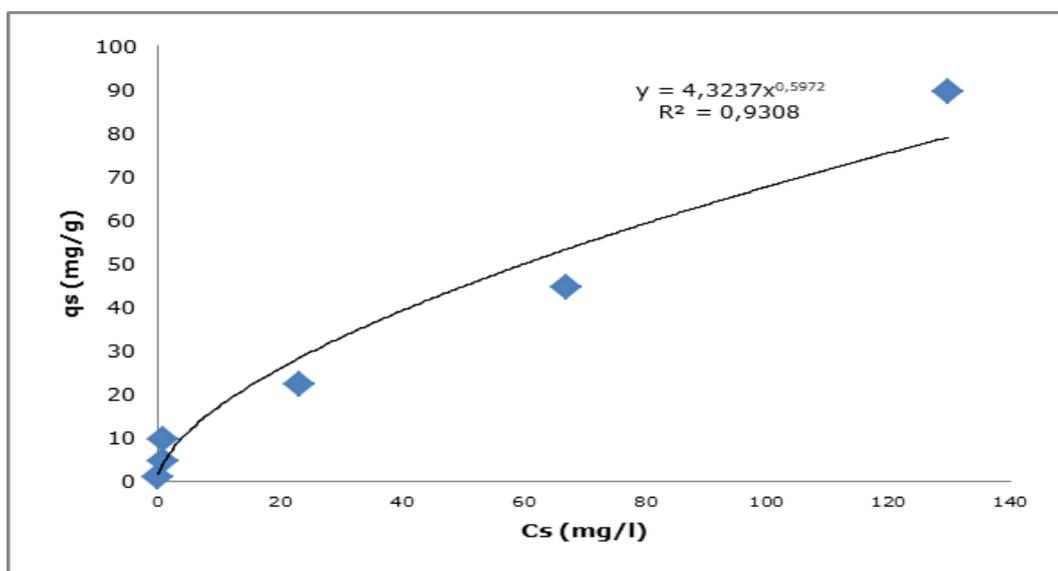
Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi Cd (II) pada penelitian ini dengan menggunakan activator KOH 0,4 M; 0,7 M dan 1 M. Pada konsentrasi awal 1023,24 mg/L, suhu 65°C dan activator KOH 0,4 M dengan menggunakan pH 5, 7, dan 9 berturut-turut diperoleh jumlah kapasitas adsorpsi yaitu 80,295; 80,922; 84,000 mg/g, pada konsentrasi awal 1023,24 mg/L pada suhu 65°C dan activator KOH 0,7 M dengan menggunakan pH 5, 7, dan 9 berturut-turut diperoleh jumlah kapasitas adsorpsi yaitu 88,766; 88,823; dan 88,838 mg/g, dan untuk konsentrasi awal 1023,24 mg/L pada suhu 65°C dan activator KOH 1 M dengan menggunakan pH 5, 7, dan 9 berturut-turut diperoleh jumlah kapasitas adsorpsi yaitu 90,372; 90,432; dan 90,658 mg/g. Dari ketiga activator KOH berbeda yang digunakan maka dapat disimpulkan bahwa activator KOH 1 M

adalah activator yang terbaik yang memperoleh nilai kapasitas adsorpsi tertinggi. Bala, et., al (2015) menyatakan bahwa pada adsorpsi cangkang telur menggunakan logam cadmium ditemukan pH optimum dari logam Cd (II) adalah 7. Proses adsorpsi pada penelitiannya digambarkan dalam model isotherm Langmuir, kapasitas adsorpsi maksimum adalah 329 mg g^{-1} apabila dibandingkan antara adsorben alami dengan adsorben modifikasi.

3.7. Isoterm Adsorpsi

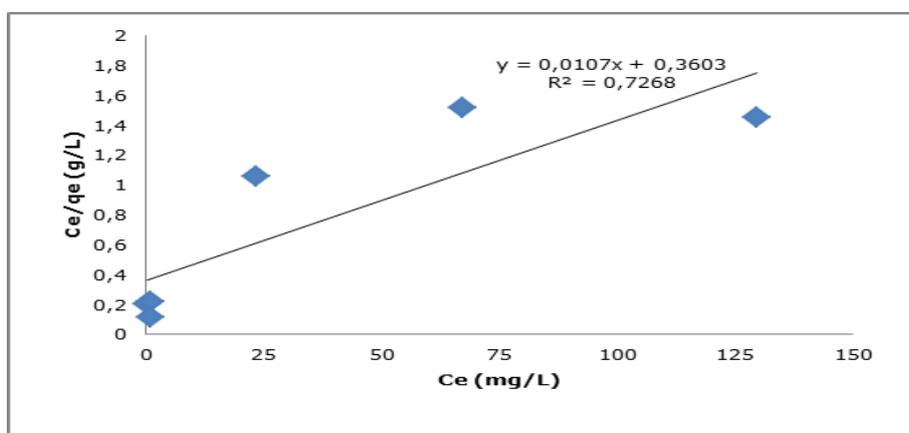
Isoterm adsorpsi merupakan suatu hal yang fundamental untuk dapat menentukan kapasitas maksimum dari adsorben. Untuk mengevaluasi isoterm adsorpsi pada proses adsorpsi ion logam Cd (II) dengan menggunakan adsorben dari kulit pinang dilakukan uji terhadap 2 isoterm adsorpsi yaitu Langmuir dan Freundlich. Tujuan menganalisa kapasitas adsorpsi terhadap logam Cd adalah untuk mengetahui seberapa besar kemampuan dari karbon aktif yang dihasilkan dapat menyerap logam Cd. Karbon aktif tersebut diaktivasi menggunakan alat furnace pada temperature 450°C selama 2 jam. Konsentrasi awal larutan adsorbat (C_0) yang divariasikan adalah 9,83; 49,16; 98,32; 245,81; 511,62; dan 1023,24 mg/l. Konsentrasi akhir larutan adsorbat (C_s) diperoleh dari hasil analisa setelah pengontakan dengan karbon aktif.

Adapun studi kesetimbangan bertujuan untuk menentukan kapasitas penyerapan karbon terhadap polutan. Untuk menentukan kapasitas adsorpsi yaitu dengan menghubungkan antara konsentrasi kesetimbangan dalam fasa cair (C_s) dengan konsentrasi kesetimbangan dalam fasa padat (q_s). Hubungan antara C_s dengan q_s ditampilkan pada gambar 7:



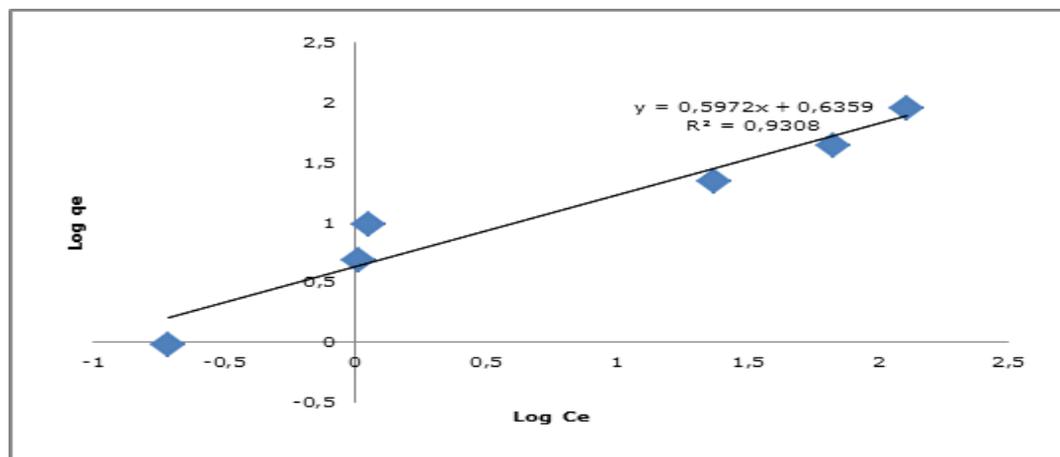
Gambar 7 Hubungan antara konsentrasi kesetimbangan dalam fasa cair (C_s) dengan Konsentrasi kesetimbangan dalam fasa padat (q_s) ion logam Cd (II) dengan adsorben 1 gram pada pH 7 dan suhu 25°C

Pada gambar 7 dibandingkan dengan Gambar model isothermal Langmuir dan model Freundlich tampak bahwa bentuk kurva model hasil penelitian menyerupai model isotherm Freundlich. Penentuan isotherm Langmuir diperoleh dengan membuat kurva hubungan antara kesetimbangan fasa cair (C_e) dengan C_e/q_e , sedangkan penentuan isotherm Freundlich diperoleh dengan membuat kurva hubungan antara $\log C_e$ dengan $\log q_e$. Grafik persamaan isotherm Langmuir ditunjukkan pada Gambar 8 Pada gambar dapat dilihat nilai korelasi yang diperoleh adalah sebesar 0,7268.



Gambar 8. Hubungan antara kesetimbangan fasa cair (C_e) dengan C_e/q_e ion logam Cd (II) dengan adsorben 1 gram pada pH 7 dan suhu 25°C

Penentuan isoterm adsorpsi Freundlich diperoleh dengan membuat hubungan antara log C_e dengan log Q_e . Grafik isoterm Freundlich dapat dilihat pada Gambar 9 dengan nilai korelasi yang diperoleh adalah sebesar 0,9308.



Gambar 9 Hubungan antara log konsentrasi akhir dengan log kapasitas penyerapan pada 75 rpm isoterm Freundlich.

Data hasil penelitian menurut rumus Freundlich untuk mendapatkan nilai K_f dan $1/n$. Nilai tersebut ditentukan dengan cara membuat kurva hubungan antara log C_e dan log q_e dari persamaan Freundlich. Adapun slope dari kurva tersebut adalah $1/n$ dan intersepnya adalah K_f . Kedua harga K_f dan $1/n$ ini sangat penting dalam memilih suatu adsorben sebagai media pemisah dimana K_f (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi keseluruhan dan $1/n$ adalah faktor heterogenitas yang menunjukkan kekuatan energi ikatan antara adsorbat dan adsorben, sehingga suatu adsorben yang memiliki harga $1/n$ yang lebih tinggi akan lebih mudah untuk desorpsi dari pada yang memiliki harga $1/n$ yang lebih rendah (Arifin, 2002). Nilai $1/n$ yang diperoleh adalah sebesar 1,67 dan nilai K_f sebesar 4,32 mg/g.

Berbeda dengan hasil penelitian Rini (2004) pada pembuatan arang aktif dari arang tempurung kelapa dan uji kinerja terhadap logam Cr yang mengindikasikan sistem adsorpsi tersebut mengikuti isoterm Freundlich. Dari kurva linier freundlich diperoleh intersep K_f 12,971 mg/g dan slope $1/n$ 0,413 dengan harga koefisien korelasi R^2 0,940 pada temperature aktivasi 500°C dan waktu tinggal 1 jam. Begitu juga dengan hasil penelitian Handayani, dkk (2012) yang menyatakan bahwa pola adsorpsi logam Cd (II) dan Cr (II) cenderung mengikuti model

isotherm Langmuir, yang berarti proses adsorpsi terjadi pada lapisan monolayer. Diasumsi bahwa adsorpsi maksimum terjadi saat semua situs aktif adsorben diisi oleh adsorbat membentuk monolayer.

Dari beberapa kajian literature lainnya menyatakan bahwa penyerapan sebagian logam berat seperti Cr, Pb, Cu, Fe dan Zn pada karbon aktif dapat dijelaskan dengan baik oleh model isothermal Langmuir. Sementara itu untuk data kesetimbangan pada sebagian senyawa organik pada karbon aktif dinyatakan dengan model isothermal Freundlich. Namun kenyataannya berbeda dari hasil penelitian yang diperoleh. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain faktor heterogenitas permukaan adsorben dan kereaktifan dari adsorben.

Konstanta isothermal Freundlich yang telah disimpulkan dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut:

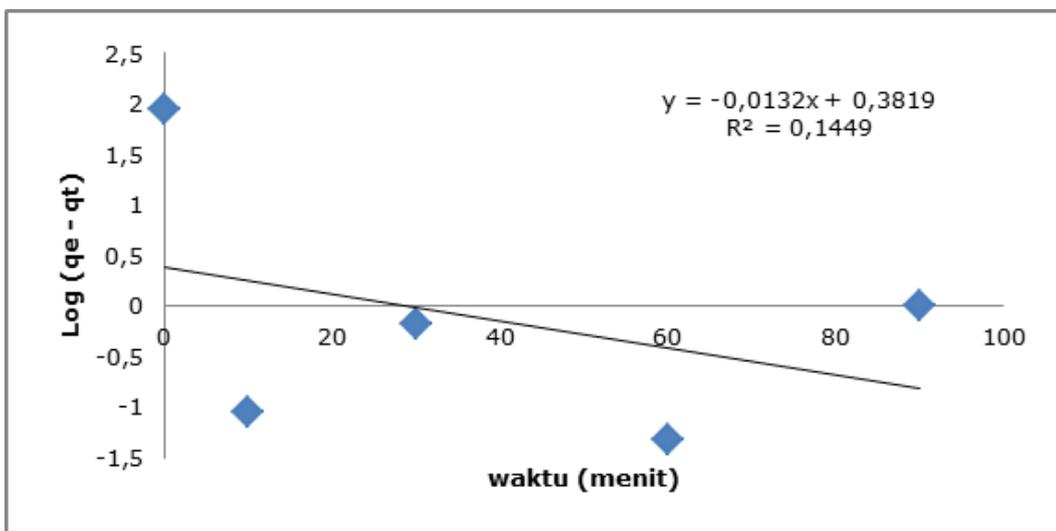
Tabel 1 Isoterm Adsorpsi

Suhu Operasi (°C)	Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
	q_m	K_L	R^2	$1/n$	K_F	R^2
25	45,45	0,06	0,78	1,48	3,66	0,6228
45	83,33	0,03	0,71	1,42	3,09	0,9088
65	111,11	0,02	0,70	1,46	3,40	0,7756

3.8 Kinetika Adsorpsi

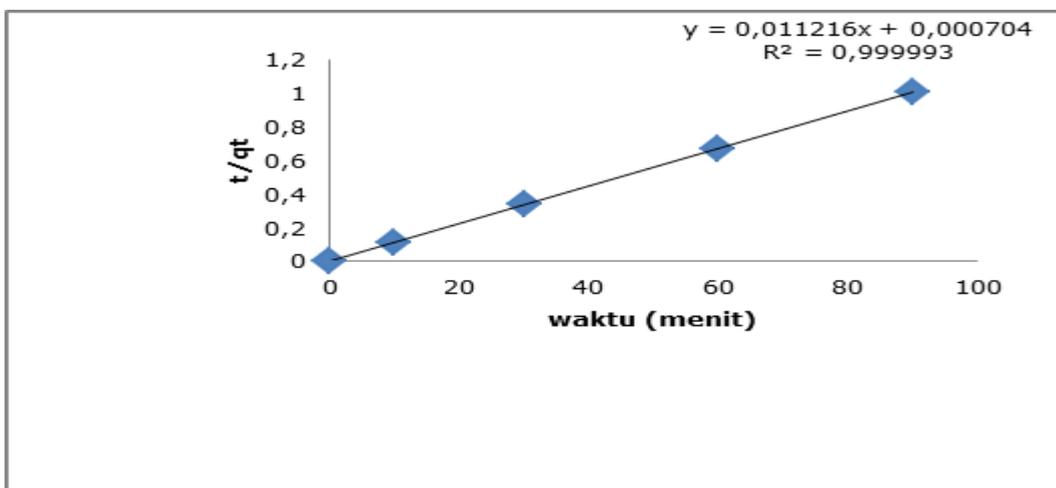
Kinetika adsorpsi menyatakan laju kecepatan penyerapan suatu fluida yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat dalam jangka waktu tertentu. Kecepatan adsorpsi mempengaruhi kinetika adsorpsi dan didefinisikan sebagai banyaknya zat yang teradsorpsi per satuan waktu.

Adapun persamaan orde satu diperoleh dengan cara membuat kurva hubungan antara waktu dan $\ln(q_e - q_t)$. Grafik persamaan kinetika orde satu untuk 1023,24 ppm ditunjukkan pada Gambar 4.10 dimana pada gambar diperoleh nilai R^2 sebesar 0,1449.



Gambar 10. Kinetika adsorpsi orde 1 semu hubungan waktu terhadap log (qe–qt) Berdasarkan Gambar 10 diperoleh nilai k_1 untuk kinetika adsorpsi pada konsentrasi 1023,24 ppm adalah sebesar $0,0303 \text{ min}^{-1}$.

Adapun kinetika adsorpsi orde dua diperoleh dengan cara membuat kurva hubungan antara waktu kontak (t) terhadap t/qt . Grafik persamaan orde dua ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut dimana diperoleh nilai R^2 pada grafik sebesar 0,999993.



Gambar 11. Kinetika adsorpsi orde 2 hubungan waktu terhadap t/qt

Dari gambar 11 diperoleh k_2 untuk kinetika adsorpsi pada konsentrasi optimum 1023,24 ppm adalah $0,422 \text{ min}^{-1}$ dan nilai q_e 89,158 mg/g. Persamaan kinetika adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi logam Cd (II) dengan adsorben kulit pinang mengikuti persamaan orde dua semu, hal tersebut bisa dilihat dari nilai R^2

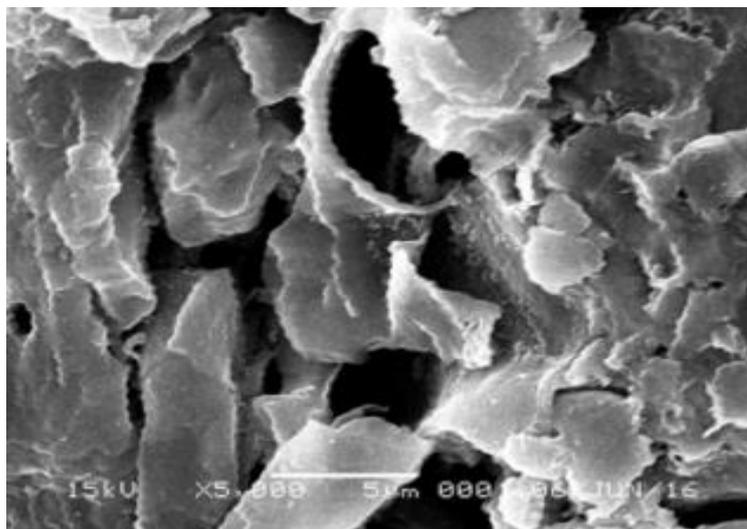
yang mendekati 1 yaitu mencapai 0,999993. Berdasarkan hasil percobaan diperoleh harga konstanta kecepatan adsorpsi (k) sebesar $0,422 \text{ min}^{-1}$. Perolehan nilai k pada kinetika adsorpsi ini untuk memberikan informasi seberapa banyak adsorben yang digunakan untuk menyerap adsorbat persatuan waktu (menit). Kinetika adsorpsi untuk menyerap ion logam Cd (II) pada 1023,24 ppm dapat disimpulkan pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Kinetika Adsorpsi

Parameter	Orde Satu			Orde Dua		
	q_e	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2
23,24 ppm, pH 7, suhu 65°C	6,96	0,027	0,277	90,90	0,115	0,998
23,24 ppm, pH 9, suhu 25°C	5,67	0,039	0,313	99,83	0,38	0,999998
23,24 ppm, pH 9, suhu 65°C	3,83	0,025	0,141	90,71	0,87	0,999995
23,24 ppm, pH 5, suhu 25°C	6,28	0,027	0,262	88,495	0,42	0,9998
23,24 ppm, pH 5, suhu 65°C	7,46	0,036	0,365	90,415	0,27	0,99998

3.9 Karakterisasi Morfologi Karbon Aktif dari Kuli Pinang dengan Menggunakan Analisis SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Proses karakterisasi karbon aktif ini dilakukan dengan cara menganalisa karbon aktif yang telah diaktivasi kimia pada konsentrasi 0, 4 M, 0,7 M dan 1 M. dari ketiga konsentrasi ini dipilih konsentrasi paling baik dalam penyerapan ion logam Cd, maka dipilih konsentrasi 1 M sebagai konsentrasi terbaik dalam penyerapan ion logam Cd. Proses karakterisasi ini dengan menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*).



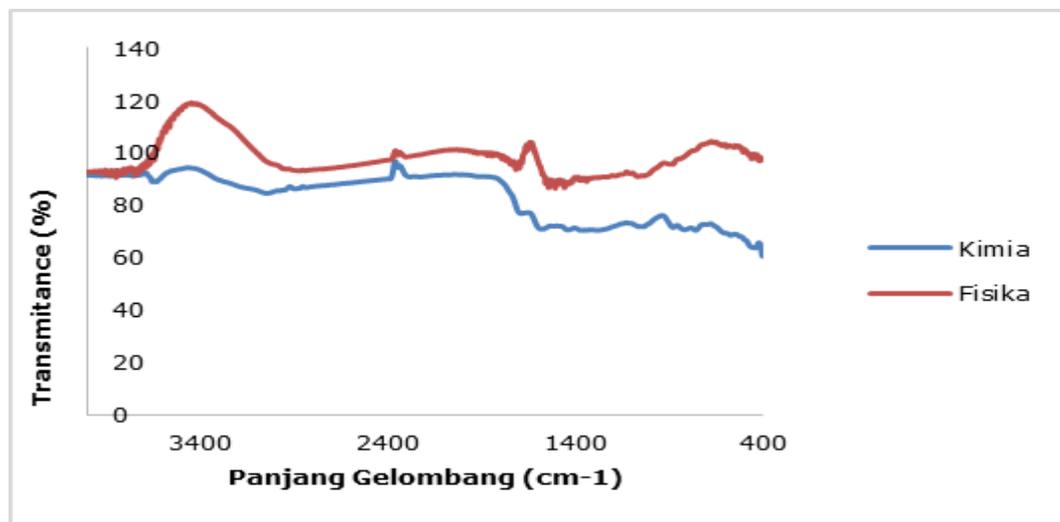
Gambar 12 Morfologi Karbon Aktif aktivasi kimia KOH 1M (5000x)

Pada gambar 12 menunjukkan bentuk permukaan dan pori karbon aktif dengan analisa SEM. Seperti yang ditunjukkan pada gambar terdapat banyak pori pada permukaan karbon aktif. Aktivasi fisika menguapkan zat-zat volatile, sementara dengan penambahan Kalium Hidroksida (KOH) sebagai agen pendehidrasi (*dehydrating agent*) activator kimia melepaskan ikatan O-H dan mengurangi peregangan (perpanjangan) ikatan C-H pada pori dan permukaan karbon aktif, sehingga pori semakin membesar. Dengan penambahan activator KOH dapat menyebabkan porositas pada permukaan dalam dan permukaan luar pori, sehingga dapat disimpulkan bahwa kulit pinang dapat digunakan sebagai adsorben ion logam Cd(II). Karbon aktif dengan aktivasi kimia mempunyai ukuran partikel 5 μ m.

3.10 Karakterisasi Morfologi Karbon Aktif dari Kulit Pinang dengan Menggunakan Analisis FTIR (*Fourier Transformed Infrared Spectroscopy*)

Untuk menganalisa kualitatif dalam menentukan gugus fungsi utama yang ada pada adsorben digunakan alat Shimadzu FTIR Spektrometer. Analisa FTIR ini berdasarkan penyerapan panjang gelombang inframerah untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada adsorben. Gugus fungsi dari adsorben

kulit pinang dengan aktivasi fisika dan aktivasi kimia dapat dilihat pada gambar 13 berikut ini:



Gambar 13. Analisa FTIR adsorben kulit pinang dengan aktifasi fisika dan aktifasi kimia

Gugus fungsi dari adsorben kulit pinang diidentifikasi menggunakan *fourier infrared spectroscopy* (FTIR) dengan range 400 sampai 4000 cm^{-1} . Pada gambar 13 dapat dilihat bahwa pada pembacaan gelombang spectra inframerah pada kulit pinang yang belum diaktivasi terdapat pita serapan besar yaitu pada sekitar panjang gelombang 2400-2800 cm^{-1} dengan dua daerah serapan. Pada sekitar panjang gelombang 2000-2300 cm^{-1} dengan satu daerah serapan, dan pada sekitar panjang gelombang 750-900 cm^{-1} dengan satu daerah serapan. Aktivasi kimia dengan menggunakan KOH dapat meningkatkan gugus hidroksil, seperti terlihat pada gambar 13 dimana adsorben mempunyai range 3100-3600 cm^{-1} . Pita serapan pada panjang gelombang tersebut mengidentifikasi adanya alkohol dan phenol pada peregang gugus O-H pada permukaan adsorben.

Daerah penyerapan (*peak*) pada panjang gelombang 1454,33 cm^{-1} pada adsorben kulit pinang tanpa aktivasi mengidentifikasi adanya alkana pada peregang gugus C-H, dimana aktivasi fisika dan aktivasi kimia menghilangkan sejumlah besar hydrogen dari adsorben. Sementara itu peregang gugus C=O pada panjang gelombang 1707 cm^{-1} menunjukkan bahwa aktivasi fisika dan kimia

tidak dapat melepaskan ester sepenuhnya dari permukaan adsorben. Secara keseluruhan, terdapat sejumlah situs aktif dengan gugus hidroksil dan karboksilat pada permukaan adsorben untuk dapat menyerap ion logam Cd (II).

Adapun nilai-nilai dari panjang gelombang yang dapat mengidentifikasi gugus fungsi dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3 perbandingan gugus fungsi adsorben kulit pinang aktivasi fisika dan aktivasi kimia

Gugus fungsi adsorben	Panjang gelombang cm^{-1}	
	Aktivasi Fisika	Aktivasi Kimia
Ikatan C-H	1454,33	1435,04
Ikatan C-H		756,1
Ikatan C-H		815,89
Ikatan C=C	1514,12	1568,13
Ikatan C=C		1678,07
Ikatan C-O	1062,78	
Ikatan C=O	1707	
Ikatan O-H	2303,01	
Ikatan O-H	2870,08	3049,46
Ikatan -NO ₂	1541,12	

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa sebagai berikut:

1. Waktu equilibrium yang diperoleh pada uji pendahuluan adalah pada menit ke-90.
2. Pada proses penyerapan ion logam Cd²⁺ dengan menggunakan variabel konsentrasi 9,83; 49,16; 98,32; 245,81; 511,62; dan 1023,24 ppm menggunakan massa adsorben 1 gram dengan waktu kontak 90 menit didapat konsentrasi optimum sebesar 1023,24 ppm.

3. Konsentrasi awal adsorbat dan waktu pengontakan sangat berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi. Pada konsentrasi 1023,24 ppm diperoleh kapasitas penyerapan (q_e) dengan waktu kontak 10, 30, 60, dan 90 menit berturut-turut adalah sebesar 96,42; 97,15; 97,36; dan 97,45 mg/g.
4. Efisiensi penyerapan paling tinggi diperoleh pada konsentrasi 1023,24 ppm dengan efisiensi penyerapan dan waktu kontak 10, 30, 60, dan 90 menit berturut-turut adalah sebesar 96,42; 97,15; 97,36; dan 97,45%.
5. Pengaruh modifikasi adsorben dapat dibuktikan dengan menggunakan FTIR dan SEM. Adanya aktivasi fisika dan kimia mengakibatkan adanya sejumlah situs aktif dengan gugus hidroksil dan karboksilat pada permukaan adsorben untuk adsorpsi ion logam Cd (II).

5. Daftar Pustaka

Bala, M., Bujnakova, P. Balaz, A., Zorkovska, Z., Dankova., and Briancin, J. (2015), *Adsorption of Cadmium (II) on Waste Biomaterial*, Journal of Colloid and Interface Science.

Handayani, D. S., Jumina., Siswanta, D., Mustofa. (2012), *Adsorpsi Ion Logam Pb (II), Cd (II) dan Cr (II) oleh Poli 5 Allil-Kaliks (4) Arena Tetra Ester*” Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Sains, Universitas Sebelas Maret.

Lakherwal, D. (2014), *Adsorption of Heavy Metals: A Review*, International Journal of Environmental Research and Development, ISSN 2249-3131 Volume 4, Number 1 (2014), pp. 41-48.

Lelifajri. (2010), *Adsorpsi Ion Logam Cu (II) Menggunakan Lignin dari Limbah Serbuk Kayu Gergaji*. Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan. Vol 7.No.3 hal 126-129. Universitas Syiah Kuala.

Mengistie, A. A., Rao, T. S., Rao, A. V. P., Singanan, M. (2008), *Removal of Lead (II) Ions from Aqueous Solutions Using Activated Carbon from Militia Ferruginea Plant Leaves*, Bull. Chem. Soc. Ethiop, 2008, 22(3), 349-360

Muslim, A., Zulfian, Ismayanda, M. H., Devrina, E., Fahmi, H. (2016), *Adsorption of Cu (II) From the Aqueous Solution by Chemical Activated Adsorbent of Areca Catechu Shell*, Journal of Engineering Science and Technology

Okafor, C. P. (2012), *Adsorption Capacity of Coconut (Cocos nucifera L.) Shell for Lead, Copper, Cadmium and Arsenic from Aqueous Solutions*, International Journal of Electrochemical Science, 7(2012) 12354 – 12369.

Othmer, K., (1998), *Encyclopedia Of Chemical Technology*, Vol.7, Watcher, USA.

Renugadevi., G. Anitha., P. Lalitha. (2010), *Kinetics of The Removal of Hexavalent Chromium Using a Low-cost Activated Carbon Adsorbent*, Pelagia Research Library, 1(2) : 102-105.

Rini, S. (2004), *Pembuatan Arang Aktif dari arang Tempurung Kelapa dan Uji Kinerja terhadap Logam Krom*, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala.