



Adsorpsi Ion Logam Tembaga Menggunakan Karbon Aktif dari Bahan Baku Kulit Salak

Febe Apecsiana, Hans Kristianto and Arenst Andreas*,

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Katolik Parahyangan, Ciumbuleuit 94 Bandung 40141

*E-mail: arenst@unpar.ac.id

Abstract

Heavy metals contained inside water may carry negative impacts to humans and environment. The most effective treatment is adsorption using activated carbon which is obtained through chemical activation of snake fruit peel using KOH compound. The ratio of snake fruit peel to KOH (20%-w solution) used was 1:4. Snake fruit peel activated carbon with surface area of 2526 m²/g were obtained. The content of heavy metal ions (Cu²⁺) in the water were analyzed using spectrophotometer UV-Vis with NH₃(p.a) solution which form a complex bound colored dark blue. Investigation was carried out by studying the influence of initial concentration (100, 150, 200, 250, and 300 ppm), pH (2,5; 3,5; 5), the amount of adsorbent (30, 60, 90 mg), dan temperature (25°C, 35°C, dan 45°C) to obtain optimum condition with the highest %removal at initial concentration 100 ppm, pH 5, 90 mg adsorbent, and there's no significant differences by varying temperature. Adsorption isotherm studies indicated that Langmuir model fit better with maximum adsorption capacity of 687 mg/g and Langmuir constant for the variation of initial concentration and the amount of adsorbent were 0.0473 L/mg and 0.0296 L/mg, respectively. The kinetics of adsorption of Cu(II) followed pseudo second order.

Keywords : heavy metal, copper (II), activated carbon, snake fruit peel, adsorption

Pendahuluan

Perkembangan industri yang pesat, menyebabkan pemanfaatan logam berat baik untuk alat pengoperasian, maupun industri yang memproduksi logam sebagai produk utamanya semakin meningkat. Salah satu logam berat yang sering digunakan adalah tembaga (Cu²⁺) untuk pembuatan uang logam, alat penukar panas, maupun untuk kabel listrik (Eisler, 2008). Industri-industri tersebut akan menghasilkan limbah yang mengandung logam-logam berat. Dalam konsentrasi yang tinggi, akan menimbulkan bahaya bagi makhluk hidup. Menurut *Environmental Protection Agency (EPA)* kadar tembaga (Cu²⁺) maksimum dalam air limbah adalah sebesar 1,3 mg/L, sedangkan menurut *World Health Organization (WHO)* kandungan logam berat tembaga (Cu²⁺) maksimum yang diperbolehkan dalam air sebesar 1,5 mg/L (Bilal et al., 2013).

Kandungan Cu²⁺ yang berlebihan dalam tubuh akan mengendap dalam hati, kemudian akan menyebabkan muntah, sakit kepala, mual, gangguan pernapasan, sakit perut, gagal ginjal dan hati, dan pada akhirnya pendarahan gastrointestinal. Selain itu, kerugian akibat kandungan Cu²⁺ juga dijumpai pada biota tanah yang menyebabkan kerusakan pada tumbuhan. Kandungan logam Cu²⁺ dalam sumber air dan ekosistem perairan menyebabkan kerusakan pada mekanisme *osmo-regulatory* pada hewan air tawar dan pada manusia akan menyebabkan terjadinya mutagenesis (Bilal et al., 2013). Oleh karena itu, pengolahan limbah yang mengandung logam berat sangat diperlukan, yang umumnya dapat dilakukan melalui berbagai macam metode seperti presipitasi, elektrodialisis, koagulasi, *reverse osmosis*, ultrafiltrasi, dan adsorpsi. Dari seluruh metode tersebut, adsorpsi merupakan metode yang paling sederhana dan efektif untuk mengolah limbah logam berat (Lakherwal, 2014). Keunggulan dari metode adsorpsi adalah dalam pengolahannya tidak terbentuk lumpur dan relatif murah karena adsorben yang digunakan dapat diregenerasi kembali (Lakherwal, 2014).

Karbon aktif dapat disintesis dari berbagai macam sumber dan pada umumnya dapat digunakan limbah biomassa. Selain itu, biomassa berupa kulit buah salak telah berhasil disintesis melalui aktivasi secara kimia menggunakan beberapa jenis senyawa, yaitu KOH, ZnCl₂, K₂CO₃, dan H₃PO₄ dengan hasil terbaik yang diperoleh dari senyawa KOH (Vincent, 2015). Pada aktivasi kimia, karbon akan bereaksi dengan agen pengaktivasi KOH akan membentuk pori dan menghasilkan CO₂ yang berdifusi pada permukaan karbon. Karbon amorf yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan tidak akan terbuka, akan tetapi menghasilkan pori baru yang kemudian memperluas permukaan karbon aktif (Marsh dan Rodriguez-Reinoso, 2006). Karbon aktif kulit salak melalui aktivasi KOH tersebut pernah diuji untuk mengadsorpsi zat warna metilen biru dan memberikan kapasitas adsorpsi maksimum 674 mg/g. Dengan kapasitas adsorpsi karbon aktif kulit salak yang cukup tinggi untuk menyerap zat



warna metilen biru diharapkan memberikan hasil yang serupa untuk logam berat tembaga (II) (Vincent, 2015). Pada studi ini, akan dipelajari pengaruh variabel kondisi adsorpsi, yaitu konsentrasi awal, pH, jumlah karbon aktif, dan suhu.

Metode Penelitian

Pembuatan karbon aktif diawali dengan tahap *pre-treatment*, dimana kulit buah salak yang telah dicuci bersih dikeringkan dalam oven 110°C selama 3 jam dan dikecilkan ukurannya hingga mesh 100-200. Lalu dikarbonisasi awal pada suhu 500°C selama 1 jam dengan tekanan atmosfer dan dialiri gas *inert* N₂. Kemudian dilanjutkan dengan aktivasi menggunakan larutan KOH (20%-b) dengan perbandingan massa kulit salak dan KOH sebesar 1:4, kontak dilakukan selama 20 jam dan selanjutnya dikeringkan dalam oven 110°C selama 24 jam. Setelah kering, karbon aktif dikarbonisasi akhir pada suhu 800°C selama 1 jam, kemudian akan dicuci dengan HCl 1 M dan air demin hingga air pencucian mencapai pH 6-7 dan diakhiri dengan pengeringan dalam oven 110°C selama 2 jam. Setelah diperoleh karbon aktif, dilakukan analisa BET untuk mengetahui karakteristik karbon aktif yang diperoleh serta analisa SEM EDS untuk mengamati permukaan karbon aktif dan kandungan yang terdapat dalam karbona ktif.

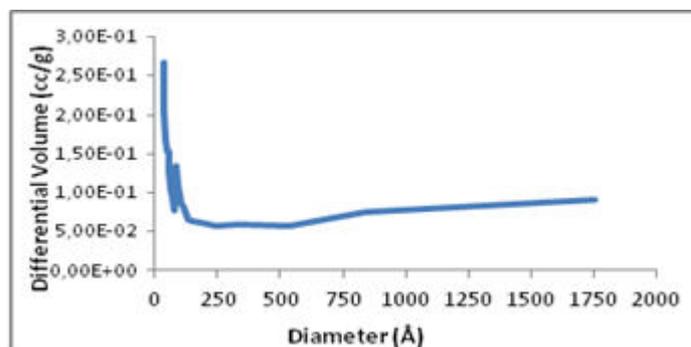
Proses adsorpsi diawali pembuatan kurva standar dengan mengencerkan larutan induk CuSO₄.5H₂O 1000 ppm yang diperoleh dengan melarutkan 3,9293 g padatan CuSO₄.5H₂O kedalam air distilasi dengan bantuan labu ukur 1 L. Larutan induk tersebut kemudian diencerkan menjadi 100 ppm dan diberikan penambahan 1 ml NH₃ (p.a) untuk 5 ml larutan dan ditentukan panjang gelombang maksimumnya antara rentang 500-650 nm pada spektrofotometer UV-Vis. Kurva standar dibuat antara rentang konsentrasi 0-300 ppm dengan selang 20 ppm dan diukur pada panjang gelombang maksimum.

Selama proses adsorpsi, larutan logam yang digunakan sebanyak 500 ml dengan motor pengaduk pada kecepatan putar 80-85 rpm. Pada variasi konsentrasi awal akan dilakukan pada konsentrasi 100, 150, 200, 250, dan 300 ppm dengan kondisi suhu ruang (± 25 °C), pH 5, dan jumlah adsorben 30 mg untuk karbon aktif kulit salak dan 60 mg untuk karbon aktif komersial. Pada variasi pH dilakukan pada pH 2,5; 3,5; dan 5 saat konsentrasi awal 100 ppm, suhu ruang (± 25 °C), dan jumlah adsorben 30 mg. Pada variasi jumlah karbon aktif dilakukan dengan 30, 60, dan 90 mg saat konsentrasi awal 100 ppm, pH 5 yang merupakan pH optimum dari variasi pH sebelumnya. Pada variasi temperatur saat kondisi suhu ruang 25, 35, dan 45 °C dengan konsentrasi awal 100 ppm, pH 5, jumlah karbon aktif 90 mg. Selama proses adsorpsi berlangsung dilakukan pengambilan sampel sebanyak 10 ml setiap 5 menit selama 20 menit pertama dan dilanjutkan dengan selang waktu 10 menit hingga waktu 60 menit ke-60 dan diakhiri dengan pengambilan sampel setiap 20 menit hingga mencapai kesetimbangan. Pengukuran konsentrasi setiap sampel dilakukan dengan penambahan 1 ml NH₃(p.a) setiap 5 ml sampel dan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

Hasil Dan Pembahasan

Karakteristik Karbon Aktif

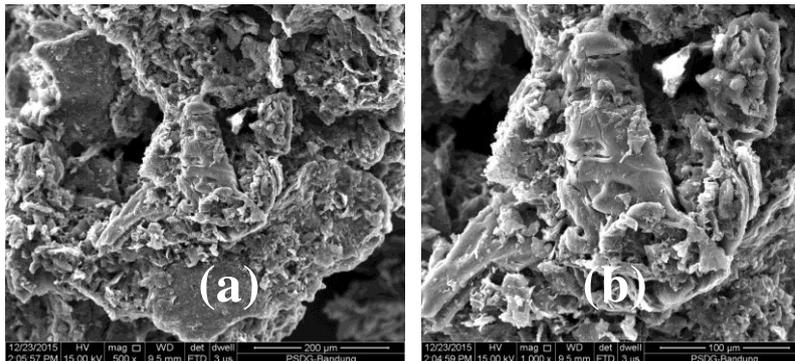
Hasil analisa BET untuk karbon aktif memberikan hasil luas permukaan sebesar 2526,446 m²/g, diameter pori sebesar 23,0488 Å, dan volume pori sebesar 1,456 cc/g. Apabila dilihat dari nilai diameter pori, maka karbon aktif ini berada pada ukuran mesopori dengan distribusi pori seperti yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Distribusi Pori Karbon Aktif

Dari Gambar 1 dapat disimpulkan bahwa ukuran pori *mesopore* memiliki distribusi terbanyak dan juga terdapat *macropore*. Akan tetapi, distribusi *macropore* yang dijumpai tidak signifikan, bahkan sangat rendah apabila dibandingkan dengan jumlah distribusi pori *mesopore*. Dari Gambar 1 dapat dilihat tidak terdapat distribusi pori *micropore*.

Struktur permukaan pori-pori karbon aktif dapat dianalisa dengan menggunakan perangkat *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Hasil permukaan pori-pori karbon aktif seperti yang disajikan pada Gambar 2 untuk perbesaran 500 kali dan 1000 kali.



Elemen	Wt%	At%
C	83,08	88,6
O	10,71	8,57
Si	6,21	2,83

Gambar 2 Hasil SEM EDS Karbon Aktif (a) 500 kali (b) 1000 kali

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa permukaan yang dimiliki oleh karbon aktif sangat berpori. Banyaknya pori-pori yang dihasilkan menandakan bahwa proses aktivasi yang dilakukan efektif dan mampu membentuk pori. Kandungan yang terdapat pada karbon aktif akan dianalisa menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*. Pada pengujian EDS yang dilakukan terdapat tiga kandungan unsur, yaitu karbon (C), silika (Si), dan oksigen (O). Berdasarkan hasil EDS dapat disimpulkan bahwa kandungan karbon yang dimiliki oleh karbon aktif sangat besar mencapai 83,08% berat. Selain itu, terkandung juga oksigen dan silika. Apabila dibandingkan, kedua kandungan tersebut memiliki persentase yang sangat rendah.

Adsorpsi Larutan Metilen Biru

Pada proses adsorpsi logam berat, umumnya digunakan adsorben berupa karbon aktif. Pada proses adsorpsi logam berat tembaga (II), digunakan karbon aktif kulit salak yang memiliki luas permukaan yang besar, sehingga diperkirakan mampu memiliki kapasitas adsorpsi yang besar juga. Dalam penentuan kapasitas adsorpsi karbon aktif kulit salak, dilakukan perbandingan hasil *fitting* isotermal yang paling sesuai antara variasi konsentrasi awal dan variasi jumlah karbon aktif. Selama proses adsorpsi berlangsung, digunakan volume larutan 500 ml dengan kecepatan pengadukan 80-85 rpm. Pada variasi konsentrasi awal, digunakan variasi sebesar 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm, dan 300 ppm dengan jumlah adsorben 30 mg, sedangkan pada variasi jumlah adsorben digunakan sebesar 30 mg, 60 mg, dan 90 mg dengan konsentrasi awal 100 ppm. Pada percobaan ini, akan dilakukan *fitting* untuk empat model isotermal adsorpsi, yaitu Langmuir, Freundlich, Temkin, dan Dubinin-Radushkevich.

Persamaan model Langmuir serta linearisasinya (Cooney, 1999):

$$q_e = \frac{Kaq_m C_e}{1 + KaC_e} \longrightarrow \frac{1}{q_e} = \frac{1}{Ka q_m} \times \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (1)$$

Persamaan model Freundlich serta linearisasinya (Inglezakis dan Pouloupoulos, 2006):

$$q_e = K_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \longrightarrow \log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

Persamaan model Temkin serta linearisasinya (Lichtfouse, Schwazbauer, dan Robert, 2013) :

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(\alpha \cdot C_e) \longrightarrow q_e = \beta \ln \alpha + \beta \ln C_e \quad (3) \text{ dengan } \beta = RT/b \quad (4)$$

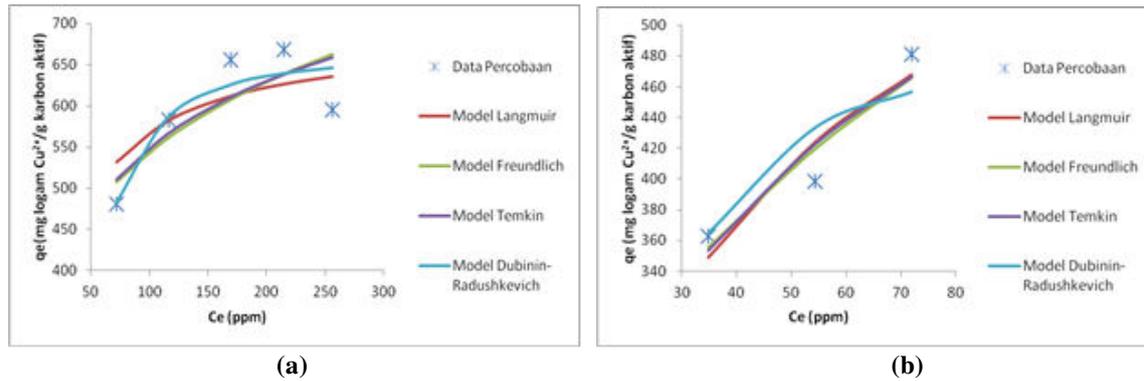
Persamaan model Dubinin-Radushkevich serta linearisasinya (Bansal dan Goyal, 2005) :

$$q_e = q_m \cdot \exp(-K \cdot \varepsilon^2) \longrightarrow \ln q_e = \ln q_m - K \cdot \varepsilon^2 \quad (5)$$

dengan

$$\varepsilon = RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_e}\right) \quad (6)$$

dan $E = \frac{1}{\sqrt{2K}} \quad (7)$



Gambar 3 Model Isotermal Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Salak (a) Variasi Konsentrasi Awal (b) Variasi Jumlah Karbon Aktif

Dari Gambar 3 terlihat bahwa model Langmuir yang memiliki model yang paling sesuai dengan hasil *fitting* yang memberikan nilai R^2 sebesar 0,9632 untuk variasi konsentrasi awal dan 0,9375 untuk variasi jumlah karbon aktif. Nilai kapasitas adsorpsi yang diperoleh dari *fitting* Langmuir pada kedua variasi memberikan hasil yang konstan, yaitu 687,6 mg logam Cu^{2+} /g karbon aktif. Nilai kapasitas adsorpsi tersebut dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi karbon aktif komersial yang memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 301,3 mg logam Cu^{2+} /g karbon aktif dan dapat dikatakan bahwa karbon aktif kulit salak memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dan dapat digunakan sebagai adsorben yang baik. Nilai konstanta Langmuir yang diperoleh untuk karbon aktif kulit salak dari variasi konsentrasi awal dan variasi jumlah karbon sebesar 0,0473 L/mg dan 0,0296 L/mg.

Selain variasi konsentrasi awal dan jumlah karbon aktif, dilakukan juga variasi untuk kondisi pH dan temperatur. Pada variasi pH yang dilakukan pada pH 2,5; 3,5; dan 5, sedangkan pada variasi temperatur yang dilakukan pada 25°C, 35 °C, dan 45 °C. Dari setiap percobaan yang dilakukan, dapat ditentukan kondisi yang lebih baik untuk melakukan proses adsorpsi, dimana akan dilakukan pengamatan terhadap nilai kapasitas adsorpsi pada setiap variasi.

Tabel 1. Perbandingan Kapasitas Adsorpsi pada Variasi pH dan Variasi Temperatur

pH	qe (mg logam Cu^{2+} / g KA)	Temperatur (°C)	qe (mg logam Cu^{2+} /mg KA)
5	481,0485	25	362,8055
3,5	267,0185	35	363,6259
2,5	190,3739	45	367,7881

Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa nilai kapasitas adsorpsi yang terbesar diperoleh pada kondisi pH 5 dan temperatur 45 °C. Hal tersebut dapat terjadi karena pada pH 5 yaitu kondisi pH yang asam, akan menyebabkan konsentrasi ion H^+ dalam larutan akan meningkat, sehingga permukaan karbon aktif akan dipenuhi oleh muatan positif dan gaya tarik antara karbon aktif dengan ion logam Cu^{2+} akan sangat berkurang. Kenaikan nilai kapasitas adsorpsi pada variasi temperatur yang diperoleh tidak terlalu berbeda jauh pada setiap kenaikan temperatur karena jumlah karbon aktif yang digunakan pada setiap variasi sama banyaknya, sehingga pada saat kenaikan temperatur, hanya akan mempengaruhi kinetika adsorpsinya, akan tetapi tidak mengubah kemampuan suatu adsorben.

Dari data yang diperoleh selama proses adsorpsi yang berlangsung, dapat dilakukan pengamatan terhadap kinetika proses adsorpsi yang terjadi. Terdapat dua model kinetika yang digunakan untuk menguji proses adsorpsi yang terjadi, yaitu pseudo orde satu dan pseudo orde dua.

Persamaan pseudo orde satu dan linearisasinya (Beekaroo dan Mudhoo, 2011) :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \longrightarrow \log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2,303} t \quad (8)$$

Persamaan pseudo orde dua dan linearisasinya (Beekaroo dan Mudhoo, 2011) :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \longrightarrow \left(\frac{t}{q_t}\right) = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (9)$$

Tabel 2. Parameter Pseudo Orde Satu dan Pseudo Orde Dua pada Variasi Konsentrasi Awal

Pseudo Orde 1			
Konsentrasi (ppm)	k_1 (1/menit)	q_e^{teo} (mg logam Cu^{2+} /g KA)	R^2
100	0,0259	253,1454	0,8104
150	0,0594	381,6278	0,8530
200	0,0417	266,9193	0,8376
250	0,0285	259,1612	0,8573
300	0,0280	462,4556	0,9650
Pseudo Orde 2			
Konsentrasi (ppm)	k_2 (g KA/mg logam Cu^{2+} .menit)	q_e^{teo} (mg logam Cu^{2+} /g KA)	R^2
100	0,00024	499,4132	0,9931
150	0,00032	616,8765	0,9986
200	0,00043	673,4596	0,9992
250	0,00032	684,5049	0,9982
300	0,00009	663,0376	0,9878

Tabel 3. Parameter Pseudo Orde Satu dan Pseudo Orde Dua pada Variasi Jumlah Karbon Aktif

Jumlah Karbon Aktif (mg)	Pseudo Orde Satu			Pseudo Orde Dua		
	k_1 (1/menit)	q_e^{teo} (mg logam Cu^{2+} /g KA)	R^2	k_2 (g KA/mg logam Cu^{2+} .menit)	q_e^{teo} (mg logam Cu^{2+} /g KA)	R^2
30	0,0259	253,1454	0,8104	0,00024	499,4132	0,9931
60	0,0150	281,5659	0,9497	0,00011	424,4356	0,9923
90	0,0092	285,0821	0,9135	0,00006	385,4218	0,9813

Berdasarkan hasil *fitting* yang dilakukan pada variasi konsentrasi awal dan jumlah karbon aktif, memberikan hasil yang paling sesuai mengikuti kinetika pseudo orde dua. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi awal, maka semakin besar nilai k_2 yang menandakan semakin besar laju adsorpsinya karena apabila konsentrasi awal semakin besar, maka *driving force* berupa perbedaan konsentrasi juga semakin besar, sehingga perpindahan massa juga akan meningkat (Arshadi, Amiri, dan Mousavi, 2014). Penyimpangan yang terjadi dikarenakan data-data kinetika yang memungkinkan sampel yang diambil tidak terlalu homogen. Nilai q_e^{teo} yang diperoleh memiliki kecenderungan pada saat konsentrasi awal meningkat, kapasitas adsorpsi juga akan meningkat. Hal tersebut sesuai dengan teori mengenai *driving force* yang besar menyebabkan transfer massa yang semakin besar, sehingga memungkinkan kapasitas adsorpsi yang semakin besar juga (Arshadi, Amiri, dan Mousavi, 2014). Penyimpangan yang terjadi dipengaruhi oleh waktu konstan yang hanya mendekati keadaan konstan.

Pada penggunaan jumlah karbon aktif yang semakin besar, akan menghasilkan kapasitas adsorpsi yang semakin rendah karena pada penggunaan jenis adsorben yang sama menyebabkan gaya tarik antara adsorbat dan adsorben akan sama, sehingga banyak molekul logam yang terserap juga akan sama. Akan tetapi, keberadaan adsorben yang semakin banyak dalam larutan menyebabkan permukaan aktif yang dapat menyerap molekul logam semakin banyak, sehingga molekul logam yang terserap dan terkonsentrasi ke satu permukaan adsorben dapat lebih sedikit dan akan lebih merata pada semua permukaan karbon aktif. Oleh karena itu, penggunaan jumlah adsorben yang semakin banyak menyebabkan terjadinya pemerataan molekul logam yang teradsorpsi ke permukaan karbon aktif. Parameter k_2 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah karbon aktif yang digunakan, semakin rendah laju adsorpsinya karena konsentrasi awal larutan yang digunakan sama, tetapi jumlah karbon aktif semakin banyak dan banyak adsorbat yang terserap, sehingga *driving force* yang terbentuk terus mengecil, sehingga laju yang diperoleh juga akan semakin menurun.

Kesimpulan

1. Karakteristik dari karbon aktif kulit salak memiliki luas permukaan 2526,446 m²/g, volume pori 1,456 cc/g, dan diameter pori 23,0488 Å.
2. Model isothermal adsorpsi yang paling sesuai adalah Langmuir yang menghasilkan kapasitas adsorpsi 687,6605 mg logam Cu^{2+} /g karbon aktif dan konstanta Langmuir sebesar 0,0473 L/mg.



3. Pada pH lebih rendah dari pH 5, akan menurunkan kapasitas adsorpsi, sedangkan pada pH lebih dari 5 akan terjadi presipitasi yang menurunkan kadar logam Cu^{2+} dalam larutan sebelum adsorpsi.
4. Temperatur tidak mempengaruhi kemampuan karbon aktif kulit salak untuk menyerap Cu^{2+} .
5. Hasil kondisi percobaan adsorpsi yang dilakukan memberikan *%removal* terbesar saat konsentrasi awal 100 ppm, pH 5, jumlah karbon aktif 90 mg.
6. Model kinetika adsorpsi yang paling sesuai mengikuti model pseudo orde dua yang dibagi menjadi difusi intrapartikel dan difusi permukaan.
7. Saat *driving force* yang terbentuk semakin besar yang terjadi saat gradien konsentrasi yang semakin besar, perpindahan massa semakin besar, sehingga saat awal adsorpsi, perpindahan massa akan sangat besar, dan semakin lama semakin kecil seiring dengan penurunan gradien konsentrasi.
8. Kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 687,6605 mg/g dapat digunakan untuk memperkirakan kondisi perancangan kolom adsorpsi.

Daftar Pustaka

- Arshadi, M., M.J.Amiri dan S.Mousavi. Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Investigations of Ni(II),Cd(II),Cu(II) and Co(II) Adsorption on Barley Straw Ash 2014:1-17.
- Bansal, R. C. dan Goyal, M. Activated Carbon Adsorption, Boca Raton: CRC Press, 2005, page77-122.
- Beekaroo, D. dan Mudhoo, A.. Adsorption of Reactive Red 158 Dye by Chemically Treated Cocos nucifera L. Shell Powder, New York: Springer, 2011, page15-17.
- Bilal, Muhammad, Shah, Jehanzeb Ali, Ashfaq, Tyyab, Gardazi, Syed Mubashar, Tahir, Adnan Ahmad, Pervez, Arshid, Haroon, Hajira, dan Mahmood, Qaisar. Waste biomass adsorbents for copper removal from industrialwastewater—A review, Journal of Hazardous Materials 2013, page 322-333.
- Cooney, D. O. Adsorption Design for Wastewater Treatment, USA: CRC Press, 1999, page42-45.
- Eisler, R. Eisler's Encyclopedia of Environmentally Hazardous Priority Chemicals, Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, 2007, page164-169.
- Inglezakis, V. J. dan Pouloupoulos, S. G. Adsorption, Ion Exchange and Catalysis (Design of Operations and Environmental Applications), Elsevier, 2006, page243-353.
- Lakherwal, D. Adsorption of Heavy Metals: A Review, Journal of Environmental Research and Development 2014, page 41-48.
- Lichtfouse, E., Schwarzbauer, J. dan Robert, D. Green Materials for Energy, Products and Depollution, New York: Springer, 2013, page 382-383.
- Marsh, H. dan Rodriguez-Reinoso, F. Activated Carbon, Elsevier Science & Technology Books, page 2006, 322-331.
- Vincent. Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Salak dengan Aktivasi Kimia-Senyawa KOH Sebagai Adsorben Proses Adsorpsi Zat Warna Metilen-Biru. Universitas Katolik Parahyangan, 2015.





Lembar Tanya Jawab
Moderator : Zainus S. (BATAN Serpong)
Notulen : Susanti Rina (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Fadil (UPNYK)
Pertanyaan : Tidak mempengaruhi absorpsi?
Jawaban : $T > \text{Waktu}$. Tetapi konsentrasi akhir tetap/kapasitas maksimumnya tetap konstan?

2. Penanya : Zaenus S. (BATAN Serpong)
Pertanyaan : Mengapa fitting Langmuir yang paling cocok?
Jawaban : Sebelumnya dilakukan BET, kemudian dicocokkan dengan model Lagmuir dengan kesamaan paling besar. Karena kurva adsorpsi-desorpsi pada uji BET menunjukkan proses adsorpsi sama seperti asumsi isothermal langmuir.

