

## ***Adsorptive Removal of Pb(II) from Water by Activated Carbon from Salacca Edulis Peel: Adsorption Kinetics and Isotherm***

### **Adsorpsi Pb(II) dari Air dengan Karbon Aktif dari Kulit Salak Pondoh: Kinetika dan Isotherm Adsorpsi**

**Mai Anugrahwati\*, Rika Awalina Safitri dan Febi Indah Fajarwati**

*<sup>a,b</sup>Program Studi Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang KM.14,5, Yogyakarta 55584, Indonesia*

\*Corresponding author: mai.anugrahwati@uii.ac.id

Diterima: 15 April 2021, Direvisi: 11 Mei 2021, Diterbitkan: 16 Juni 2021

#### **Abstract**

*In this research, salacca edulis peel was synthesized into activated carbon as Pb<sup>2+</sup> ion adsorbent. This conversion process involved an affordable method of carbonization and activation using KOH. The adsorbent material obtained was then characterized by FTIR and used in the study of kinetics and adsorption isotherms in solutions containing Pb<sup>2+</sup>. The characterization results indicated functional groups that may be involved in adsorption such as O-H. In the adsorption application, the determination of the concentration of Pb<sup>2+</sup> was analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The optimum adsorption time condition in this study was 15 minutes with adsorption capacity reaching 90% where the adsorption kinetics followed pseudo second order while the adsorption isotherm was in accordance with the Langmuir isotherm equation.*

*Key words : Salacca edulis peel, KOH activation, Pb<sup>2+</sup>, kinetics, isotherm*

#### **Abstrak**

Dalam penelitian ini kulit salak pondoh disintesis menjadi karbon aktif sebagai adsorben ion Pb<sup>2+</sup>. Proses perubahan ini melibatkan metode karbonisasi dan aktivasi yang terjangkau menggunakan KOH. Material adsorben yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi dengan FTIR dan digunakan pada kajian kinetika dan isotherm adsorpsi pada larutan yang mengandung Pb<sup>2+</sup>. Hasil karakterisasi menunjukkan gugus fungsi yang mungkin terlibat dalam adsorpsi seperti O-H. Pada aplikasi adsorpsi, penentuan konsentrasi Pb<sup>2+</sup> dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Kondisi waktu optimum adsorpsi dalam penelitian ini adalah 15 menit dengan kapasitas adsorpsi mencapai 90% dimana kinetika adsorpsi mengikuti pseudo orde dua sedangkan isotherm adsorpsinya sesuai dengan persamaan isotherm Langmuir.

**Kata kunci:** Kulit salak pondoh, aktivasi dengan KOH, Pb<sup>2+</sup>, kinetika, isotherm

## PENDAHULUAN

Limbah cair dari berbagai industri seperti pelapisan, penambangan, pencampuran logam, produsen pestisida dan industri minyak berpotensi mengandung logam berat yang berbahaya bagi lingkungan (Igwe dan Abia 2006; Kaewsarn dkk., 2008). Salah satu contoh logam berat yang terdapat dalam limbah industri adalah logam timbal (Pb). Timbal yang dibuang tanpa pengolahan akan mencemari lingkungan khususnya perairan dalam bentuk  $Pb(OH)_2$  dan dapat memberikan efek negatif pada kesehatan seperti disfungsi kognitif pada anak, hipertensi, penyakit sistem imun dan sistem reproduksi (Zhang dkk., 2020). Gejala keracunan logam Pb lainnya: mual, anemia, dan sakit perut (Manahan, 1990).

Oleh sebab itu, sangat penting untuk menghilangkan kandungan logam berat tersebut dari air limbah sebelum di buang ke lingkungan. Dari penelitian sebelumnya, pencemaran logam berat dapat diatasi dengan beberapa metode seperti *ion exchange*, sedimentasi, reverse osmosis, elektrolisis, membran ultrafiltrasi dan sebagainya. Akan tetapi biaya yang mahal, banyaknya waktu yang diperlukan dan kurang efektifnya performa metode tersebut menjadi beberapa kelemahan (Yahaya & Don, 2014; Zein dkk., 2010; damein dkk., 2014; Guyo dkk., 2015). Salah satu metode pengolahan limbah yang

memiliki banyak keunggulan adalah adsorpsi menggunakan karbon aktif yang merupakan material dengan banyak pori-pori, sehingga dapat digunakan sebagai penjerap suatu zat baik cairan ataupun gas (Arie dkk., 2016).

Kadar karbon pada karbon aktif berkisar antara 85-95%. Banyak biomassa dari limbah pertanian yang berpotensi menjadi bahan baku karbon aktif seperti biji kurma, sabut kelapa, kulit salak, dan biji salak (Aziz, 2016).

Salak merupakan produk hasil pertanian di Indonesia, dengan jumlah produksi mencapai 896.504 ton dengan jumlah tanaman 38.024.008 batang pada tahun 2018 dan total nilai ekspor mencapai 1,4 juta dolar AS (Republika, 2019).

Dari besarnya hasil tanaman buah salak tersebut juga meningkatkan limbah dari buah salak, termasuk kulit salak. Di mana kulit ini dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku karbon aktif karena mengandung selulosa (Dewi, 2012).

Berdasarkan studi literatur, saat ini belum banyak diteliti pemanfaatan kulit salak pondoh untuk adsorpsi timbal. Oleh karenanya, kulit salak pondoh akan digunakan sebagai bahan baku alternatif pembuatan karbon aktif yang terjangkau melalui karbonisasi dan aktivasi dengan KOH kemudian diaplikasikan pada penjerapan  $Pb^{2+}$  dari air dengan studi kinetika dan isotherm adsorbsinya.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Bahan utama yang akan digunakan untuk penelitian ini adalah kulit salak yang diperoleh dari daerah Turi, Sleman, Yogyakarta. Bahan kimia yang digunakan antara lain KOH, serbuk  $Pb(NO_3)_2$ , akuades, NaOH 10 M, dan  $HNO_3$  (semua bahan dalam grade p.a. dari Merck, Germany).

Alat-alat yang digunakan meliputi : neraca analitik, Oven, penyaring *buchner*, pH universal, ayakan 100 mesh, cawan porselen, lumpang dan mortar, *magnetic stirrer*, *muffle furnace*, kaca arloji, spatula, pengaduk kaca, pipet ukur, pipet tetes, erlenmeyer 100 mL, labu ukur, gelas beaker, spektrometer inframerah (Nicolet Avatar 360 IR) dan spektrometer serapan atom (SSA) (BUCK Scientific 205).

### Karbonisasi

Kulit salak dicuci sampai bersih, dikeringkan dibawah sinar matahari selama 3 hari dan dipotong kecil. Setelah itu karbonisasi dilakukan dalam *furnace* selama 1 jam pada suhu 300 °C agar menjadi arang (Hartanto, 2010). Kemudian arang kulit salak didinginkan dalam desikator selama  $\pm 30$  menit. Karbon digerus dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh agar dapat memiliki ukuran yang seragam (Alifaturrahma, 2017).

### Aktivasi Karbon

Proses aktivasi dilakukan dengan perbandingan kulit salak:KOH (20% b/b) 1:4 dengan masa perendaman selama 20 jam. Selanjutnya kulit salak dikeringkan selama 24 jam dan dikarbonisasi akhir pada suhu 300 °C selama 1 jam (Hartanto, 2010). Padatan yang dihasilkan dicuci dengan HCl 1 M dan akuades hingga air pencucian mencapai pH 6-7 dan diakhiri dengan pengeringan dalam oven 110 °C selama 2 jam (Apecsiana, 2016).

### Uji Kinetika Adsorpsi

Uji kinetika adsorpsi dilakukan pada temperatur ruangan. Sebanyak 0,04 g adsorben (karbon aktif) disaring terlebih dahulu dengan ayakan 100 mesh kemudian dimasukkan ke dalam botol gelas 50 mL. Selanjutnyadhdhddddd 10 mL larutan timbal (II) dengan konsentrasi 100 mg/L sebanyak 10 mL dimasukkan ke dalam botol tersebut. Larutan timbal ini dibuat dari pelarutan  $PbNO_3$  dalam aquades. Campuran adsorben dalam larutan Pb digojoj dengan *shaker* dalam waktu 5, 15, 30, 45, 60 dan 75 menit kemudian didiamkan selama 5 menit dan disaring dengan kertas saring Whatman 42. Konsentrasi Pb (II) setelah proses adsorbs dianalisis dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) (BUCK Scientific 205). Kapasitas adsorpsi Pb dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

Dimana:

- $q_e$  : kapasitas adsorpsi (mg/g)  
 $C_i$  : konsentrasi awal logam (mg/L)  
 $C_e$  : konsentrasi akhir logam (mg/L)  
 $W$  : massa dari adsorben (g)  
 $V$  : volume larutan logam (L)  
 (Safrianti, 2012).

Guna menentukan konsentrasi Pb dalam larutan sampel, kurva standar Pb dibuat dari  $Pb(NO_2)_3$ .

### Uji Isotherm Adsorpsi

Uji isotherm dilakukan pada temperatur ruangan menggunakan massa dan ukuran partikel karbon aktif yang sama dengan uji kinetic. Adsorben dimasukkan ke dalam 6 botol kaca 50 mL kemudian ditambahkan 10 mL larutan timbal (II) dengan variasi konsentrasi yaitu 100, 150, 200, 250, 350, dan 450 mg/L. Selanjutnya digojog dalam shaker dengan kecepatan 290 rpm. Waktu yang digunakan yaitu pada waktu optimum. Setelah selesai campuran didiamkan selama 5 menit dan disaring dengan kertas saring Whatman 42. Konsentrasi logam berat dianalisis menggunakan SSA (BUCK Scientific 205) dan untuk perhitungan dibuat kurva kalibrasi larutan standar.

### PEMBAHASAN

Kulit salak sebagai bahan utama perlu dibersihkan dan dijemur terlebih

dahulu untuk menghilangkan kotoran yang menempel dan menghilangkan air yang terdapat di dalamnya. Karbonisasi dilakukan untuk membuka pori-pori, menguapkan air yang tidak hilang saat dijemur, zat volatile, dan zat-zat organik lainnya.

Proses karbonisasi akan memperbanyak pori-pori yang terbentuk akibat adanya oksidasi bahan organik pada kulit salak pondoh menjadi uap yang tersusun atas senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Selain itu, ada pula proses dehidrasi yang terlibat dalam pembuatan arang ini, yaitu proses untuk menghilangkan kadar  $H_2O$  (air) dimana bahan baku dipanaskan hingga mencapai temperatur lebih dari 100 °C (Alfiany, 2013). Proses dehidrasi dilakukan bersamaan dengan proses karbonisasi kemudian diikuti dengan proses aktivasi.

Aktivasi bertujuan untuk meningkatkan volume dan memperbesar diameter pori setelah proses karbonisasi serta dapat meningkatkan penyerapan ion ke dalam pori. Metode aktivasi dibagi dapat dilakukan secara kimia dan secara fisika. Dalam penelitian ini aktivasi dilakukan dengan cara kimia guna merobak bahan organik selama karbonisasi, menghambat timbulnya tar, serta mendukung terjadinya dekomposisi senyawa organik, air, endapan hidrokarbon yang dihasilkan, pelarutan mineral anorganik dan tar

sehingga pori-pori karbon dapat lebih terbuka dan permukaannya terlindungi (Alfiandy, 2013).

Melalui tahap aktivasi ini akan diperoleh karbon yang mempunyai daya serap tinggi atau sering disebut dengan karbon aktif. Dari proses aktivasi akan didapatkan kenaikan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori (Idrus, 2013).

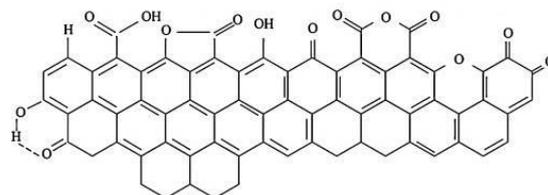
Dalam penelitian ini, proses aktivasi kimia dilakukan dengan aktivator basa yaitu KOH. Aktivator basa cocok digunakan untuk material yang mengandung karbon yang cukup tinggi. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa aktivator basa baik digunakan untuk material yang mengandung karbon tinggi seperti kulit salak (Esterlita dkk., 2015) dimana kadar karbon dalam kulit salak adalah 25.5%, material volatile 63.5%, air 5,8% dan abu 5,2% (Winata, dkk., 2021).

Arang yang telah teraktivasi kemudian dikeringkan dalam oven untuk menguapkan sisa larutan KOH. Adsorben yang diperoleh dalam penelitian ini memiliki pH 6 dimana biasanya ion logam berat teradsorpsi pada kisaran pH 4 hingga 7.

Pencucian dengan HCl dimaksudkan untuk menghilangkan sisa larutan KOH yang merupakan basa kuat sehingga perlu dicuci dengan asam kuat untuk membantu mempercepat proses

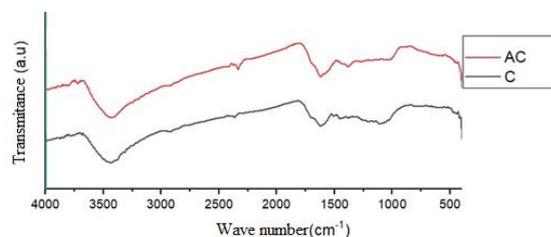
pencucian. Dilanjutkan dengan pencucian menggunakan akuades bertujuan untuk menghilangkan larutan KOH yang masih tersisa di dalam karbon aktif. Kemudian karbon aktif dioven kembali pada suhu 110 °C selama 2 jam untuk mengeringkan karbon aktif.

Setelah proses tersebut, karbon aktif dapat memiliki beberapa gugus fungsi seperti karbonil, eter, dan karboksil yang terikat pada permukaan karbon sehingga bersifat reaktif terhadap unsur ataupun senyawa di dalam air limbah dan mempengaruhi keberhasilan adsorpsi. Gambar 5.2 menunjukkan struktur kimia karbon aktif dengan gugus fungsionalnya.



**Gambar 1.** Struktur kimia karbon aktif  
(Sumber : Shafeeyan, dkk., 2010).

Penelitian sebelumnya telah mencatat bahwa karbon aktif yang dihasilkan dari aktivasi KOH memiliki pori dengan kategori mesopore yang mendukung proses adsorpsi. Selain itu, aktivasi ini juga dikenal dengan produk samping berupa tar yang lebih sedikit (Marsh dan Rodriguez-Reinoso, 2006).



**Gambar 2.** Hasil karakterisasi menggunakan FTIR material C (karbon) dan AC (karbon aktif).

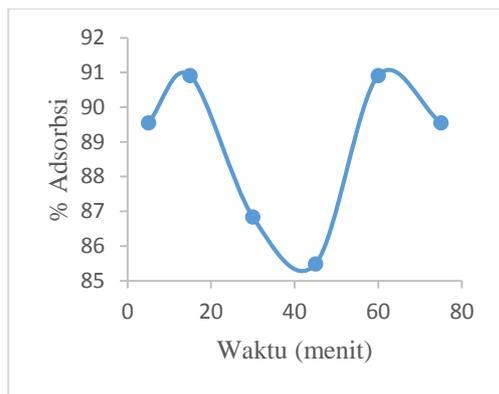
Gambar 2. Menunjukkan *spectra* FTIR material karbon (C) dan karbon aktif (AC) Pada sampel karbon (C) menunjukkan pita serapan yang lebar dan kuat pada bilangan gelombang  $3440,03 \text{ cm}^{-1}$ , sedangkan setelah aktivasi (AC) bilangan gelombang turun menjadi  $3427,62 \text{ cm}^{-1}$ . Puncak serapan pada bilangan gelombang  $3200 \text{ cm}^{-1} - 3600 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus fungsi O-H hidroksil (merujuk pada O-H *stretching*) yang ada pada kulit salak seperti gugus fungsi alkohol dan fenol. Banyaknya senyawa O-H juga menandakan bahwa sampel berpotensi berinteraksi dengan adsorbat (Dewi, 2012). Saat peningkatan suhu pada karbonisasi akan menyebabkan gugus O-H terurai membentuk struktur baru yaitu rantai karbon (Caroline, 2015). Dilihat dari spektra FTIR yang masih menunjukkan adanya gugus O-H pada karbon aktif menandakan bahwa gugus O-H belum terurai total saat karbonisasi, sehingga pembentukan rantai karbon tidak merata menyisakan sejumlah O-H pada permukaan karbon aktif.

Pada material C muncul bilangan gelombang pada  $1622,23 \text{ cm}^{-1}$  dan pada sampel AC muncul pada bilangan gelombang  $1619,94 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan keberadaan gugus C=O yang khas pada karbon aktif. Pada sampel C dan AC juga memperlihatkan bilangan gelombang yang menunjukkan adanya gugus C-O yaitu, secara berturut-turut pada bilangan gelombang  $1380,37 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1383,77 \text{ cm}^{-1}$  dimana puncak serapan pada bilangan  $1300-1000 \text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan keberadaan gugus C-O (Shafeeyan, 2010). Keberadaan gugus C-O dan bilangan gelombang yang bergeser menunjukkan adanya ikatan C=O yang tidak stabil (Sari, 2017).

Pembentukan gugus C=C selama karbonisasi ditandai dengan adanya kemunculan spektrum pada bilangan gelombang  $1500-1400 \text{ cm}^{-1}$ . Sehingga dapat dilihat bahwa gugus fungsi yang terdapat dalam karbon aktif dari kulit salak pondoh tersebut yaitu gugus C=O, C=C, dan O-H.

### Uji Kinetika Adsorpsi

Uji adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif pada larutan  $\text{Pb}^{2+}$  dengan variasi waktu dilakukan untuk mengetahui keterkaitan antara waktu terhadap kapasitas adsorpsi  $\text{Pb}^{2+}$ . Gambar 3 menunjukkan % adsorpsi pada variasi waktu 5, 15, 30, 45, 60, dan 75 menit.



**Gambar 3.** Kurva penurunan ion  $Pb^{2+}$  terhadap waktu kontak.

Waktu optimum terjadi pada waktu ke 15 menit dan 60 menit dengan kapasitas adsorpsi mencapai 90,9%. Pada waktu ke 30 menit dan 45 menit adsorpsi karbon aktif menurun menjadi 86,84% dan 85,48%. Hal ini karena adanya kemungkinan bahwa waktu kontak yang berlebih menimbulkan adanya kondisi adsorben yang lewat jenuh sehingga kemungkinan interaksi antara logam  $Pb^{2+}$  dengan permukaan karbon aktif yang belum stabil menyebabkan ion logam kembali terlepas dari permukaan karbon aktif (desorpsi). Kemudian adsorpsi meningkat kembali pada waktu ke 60 menit dan menurun pada waktu ke 75 menit. Secara teoritis, semakin lama waktu interaksi antara karbon aktif dengan  $Pb^{2+}$ , seharusnya semakin banyak permukaan adsorben bersinggungan dengan logam tersebut sehingga semakin banyak pula logam yang dapat teradsorpsi (Gultom, 2014).

Kinetika adsorpsi ion  $Pb^{2+}$  oleh karbon aktif dievaluasi berdasarkan

persamaan reaksi pseudo orde satu dan pseudo orde dua. Tabel 1 menunjukkan persamaan yang dihasilkan dari pseudo orde 1 dan pseudo orde dua adsorpsi  $Pb^{2+}$  pada karbon aktif.

**Tabel 1.** Parameter adsorpsi orde satu dan orde dua

Persamaan		$R^2$	$k$ ( $\text{min}^{-1}\text{ppm}^{-1}$ )
Pseudo Orde 1	$y = 0,005x - 0,2181$	0,42	0,005
Pseudo Orde 2	$y = 0,0409x + 0,0141$	0,9974	0,0409

Kinetika pseudo orde satu diperoleh dari  $\ln(q_e - qt)$  versus  $t$  sedangkan kinetika pseudo orde dua diperoleh dari  $t/qt$  versus  $t$ . dari persamaan garis linieritas diatas dapat diketahui nilai slope dan gradiennya. Berdasarkan persamaan garis tersebut dapat diketahui nilai  $k$  dan  $R^2$ . Nilai  $k$  dan  $R^2$  berguna untuk menentukan orde yang digunakan dilihat dari nilai  $k$  dan  $R^2$  yang mendekati 1.

Berdasarkan data Tabel 1. dapat dilihat bahwa dalam penelitian ini adsorpsi yang diamati mengikuti kinetika adsorpsi pseudo orde dua. Hal ini dikarenakan nilai dari  $k$  dan  $R^2$  pada orde 2 lebih mendekati 1 dibandingkan pada kinetika adsorpsi orde satu.

Model kinetika pseudo orde kedua mengindikasikan adanya proses kemisorosi dalam reaksi dimana mekanisme adsorpsi yang terjadi adalah reaksi tak balik

(*irreversible*) yang melibatkan ikatan kimia (kimisorpsi) antara adsorben dengan adsorbat dan membentuk lapisan *monolayer*.

### Isoterm Adsorpsi

Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mengetahui mekanisme adsorpsi karbon terhadap ion  $Pb^{2+}$  dimana adsorpsi fase padat cair seperti ini biasanya menganut tipe isoterm Freundlich dan Langmuir. Isoterm Langmuir untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum yang terjadi pada monolayer atau satu lapis dipermukaan padatan adsorben, karena mengandung sejumlah tertentu situs aktif. Sedangkan pada isoterm Freundlich diasumsikan bahwa energi permukaan itu heterogeny dan dapat digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum yang terjadi pada multilayer atau banyak lapisan. Sedangkan ikatan yang terjadi antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben dapat terjadi baik secara fisisorpsi maupun kimisorpsi (Nafi'ah, 2017).

Penentuan isotherm adsorpsi logam  $Pb^{2+}$  dibuat berdasarkan data adsorpsi pada variasi konsentrasi logam  $Pb^{2+}$  sehingga dapat dibuat kurva persamaan garis lurus isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich. Dari variasi data tersebut kemudian dibandingkan linearitas kurva dengan melihat koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang tertinggi.

**Tabel 2.** Perbandingan tipe isoterm adsorpsi.

	Perbandingan Isoterm Adsorpsi					
	Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
	$R^2$	$Q_m$ (mg/g)	$K_L$ (L/mg)	$R^2$	$K_f$ (mg/g)	N
K	<b>0,69</b>	1,528	0,040	<b>0,04</b>	0,454	9,960
A	<b>17</b>	818	562	<b>46</b>	151	159

Perbandingan adsorpsi isotherm karbon terhadap ion  $Pb^{2+}$  tipe Langmuir dan Freundlich diperlihatkan pada Tabel 2. Linearitas tertinggi, yaitu  $R^2 = 0,6917$  diperoleh dari adsorpsi  $Pb^{2+}$  pada karbon aktif dimana penentuan penggunaan model isotherm adsorpsi yang sesuai untuk suatu adsorpsi dapat diketahui dengan melihat koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang paling mendekati nilai 1.

Berdasarkan perbandingan dari kedua tipe isotherm adsorpsi di Tabel 2., adsorpsi pada penelitian ini mengikuti tipe isotherm adsorpsi Langmuir karena linearitas isotherm adsorpsi tipe Langmuir lebih mendekati nilai 1 dibandingkan dengan isotherm Freundlich. Dengan demikian mekanisme interaksi antara  $Pb^{2+}$  dengan permukaan karbon aktif dari kulit salak pondoh ini kemungkinan bersifat kemisorpsi dan terjadi pada lapisan tunggal (*monolayer*) dengan membentuk ikatan kovalen koordinasi antara ion  $Pb^{2+}$  dengan gugus hidroksil (-OH) (Nafi'ah, 2017).

Pada persamaan Langmuir  $Q_m$  menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum yang dapat dijerap oleh adsorben sedangkan  $K_L$  menunjukkan

energi adsorpsi. Nilai  $K_L$  positif menandakan reaksi tidak spontan sedangkan nilai  $K_L$  negatif menandakan reaksi spontan. Pada adsorpsi ini diperoleh kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 1,5288 mg/g dan nilai  $K_L$  yaitu, 0,0405 L/mg yang menunjukkan reaksi berlangsung tidak spontan dimana kemungkinan diperlukan adanya energi untuk terjadi adsorpsi. Kespontanan suatu reaksi dapat dipengaruhi oleh tekanan dan suhu.

#### **KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kulit salak pondoh dapat diubah menjadi karbon aktif melalui serangkaian proses karbonisasi dan aktivasi menggunakan KOH. Hasil karakterisasi karbon aktif yang dihasilkan dengan FTIR menunjukkan adanya gugus O-H, C=O, C-O dan C=C. Uji kinetika dan isotherm adsorpsi pada penelitian ini menunjukkan bahwa adsorpsi mengikuti kinetika pseudo orde dua dan model isotherm Langmuir yang menunjukkan adsorpsi bersifat kimia.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Andreas, A., Kristianto, H., Demir, E., Demir, R., 2018. Activated porous carbons derived from the Indonesian snake fruit peel as anode materials for sodium ion batteries. *Mater. Chem. Phys.* 217, 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.06.076>

- Arie, A.A., Vincent, Putranto, A., 2016. Activated carbons from KOH-activation of salacca peels as low cost potential adsorbents for dye removal. *Adv. Mater. Lett.* 7, 226–229. <https://doi.org/10.5185/amlett.2016.6194>
- Alfiandy, H., Syaiful Bahri, dan Nurakhirawati, 2013, Kajian Penggunaan Arang Aktif Tongkol Jagung sebagai Adsorben Logam Pb dengan beberapa Aktivator Asam, *Jurnal Natural Science*, 2(3), 75-86.
- Alifaturrahma, P., dan Okik H., C., 2017, Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Untuk Menyisihkan Logam Cu, *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(2).
- Apecsiana, F., H., Kristianto dan A., Andreas, 2016, Adsorpsi Ion Logam Tembaga Menggunakan Karbon Aktif dari Bahan Baku Kulit Salak, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*, ISSN 1693-4393.
- Aziz, Tamzil, dkk, 2016, Penurunan Kadar FFA dan Warna Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben Dari Biji Kurma dan Kulit Salak, *Jurnal Teknik Kimia*, 22 (1), 43-48.
- Caroline, S., Matthew A, Adebayo, Eder C. Lima, Renato Cataluna PascalS. Thue, Lizie D.T. Prola, M.J. Puchana-Rosero, Fernando M. Machado, FlavioA, Pavan, G.L. Dotto, 2015, Microwave-Assisted Activated Carbon From Cocoa Shell as Adsorbent For Removal of Sodium Diclofenac and Nimesulide FromAqueous Effluents, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 289.
- Dewi, S., dan Indah N., 2012, Sabut Kelapa sebagai Penyerap Cr(VI) dalam Air Limbah, *Jurnal Teknik Waktu*, 10(1), 23-27.
- Esterlita, M. O.; Herlina, N., 2015, Pengaruh Penambahan Aktivator

- ZnCl<sub>2</sub>, KOH, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepeh Aren (*Arenga pinnata*), *Jurnal Teknik Kimia*, 4(1), 47-52.
- Guyo, U., Mhonyera, J., dan Moyo, M., 2015, Pb (II) adsorption from aqueous solutions by raw and treated biomass of maize stover—a comparative study, *Process Safety and Environmental Protection*. 93, 192-200.
- Hartono, S., dan Ratnawati, 2010, Pembuatan Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Sawit Dengan Metode Aktivasi Kimia, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12, 1, p. 12-16
- Idrus, R., Lapanoro, B.P., & Putra, Y.G. 2013. Pengaruh Suhu Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Jurnal Prisma Fisika*, 1(1), 50-55.
- Igwe, J., C., dan Abia, A., A., 2006, A Bioseparation Process for Removing Heavy Metals from Waste Water Using Biosorbents, *African Journal of Biotechnology*, 5(12), 1167- 1179.
- Manahan, S., E, 1990, *Environment Chemistry*, 4 ed, Jewis Publisher, Michigan, p. 17-18.
- Marsh, Harry and Rodriguez-Reinoso, Francisco, 2006, *Activated Carbon*, Elsevier Science & Technology Books, pp. 322-31.
- Nafi'ah, Rohmatun dan Bakti Nugraheni, 2017, Kinetika Adsorpsi Timbal dengan Adsorben Sabut Siwalan Terxanthasi, *Cendekia Journal of Pharmacy*, 1(1).
- Republika, 2019, <https://republika.co.id/berita/pzdf47368/ekonomi/pertanian/19/10/11/pz7m xr423-kementan-pacu-peremajaan-tanaman-salak-sleman>, diakses pada 1 Juni 2021.
- Rizki, Adi Prima. 2015. *Isoterm Langmuir, Model Kinetika dan Penentuan Laju Reaksi Adsorpsi Besi Dengan Arang Aktif Dari Ampas Kopi*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik - Universitas Mulawarman.
- Safrianti, I., Nelly W., dan Titin A., Z., 2012, Adsorpsi Timbal (II) Oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam Nitrat : Pengaruh pH dan Waktu Kontak, *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 1(1), 1-7.
- Sari, Indah, Uchi Inda P., dan M. Turmuzi Lubis, 2017, Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Salak (*Salacca Zalacca*) dengan Proses Fisika menggunakan Uap dengan Pemanas *Microwave*, *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(4), 45-49.
- Shafeeyan, M., S., Wan Mohd Ashri Wan Daud, Amir hossein, Housh manddan, Shamiri, Ahmad, 2010, A Review On Surface Modification Of Activated Carbon For Carbon Dioxide Adsorption, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 89(2), 143-151.
- Winata, dkk., 2021, Synthesis of activated carbon from salacca peel with hydrothermal carbonization for supercapacitor application, *Materials today: Proceedings*, 44, 3, p.3268-3272
- Yahaya, Y.A., dan Don, M.M., 2014, *Pycnopus sanguineus* as potential biosorbent for heavy metal removal from aqueous solution: A review. *Journal of Physical Science*, 25(1), 1-32.
- Zein, R., Hidayat, D.A., Elfia, M., Nazarudin, N. dan Munaf, E., 2014, Sugar palm *Arenga pinnata* Merr (Magnoliophyta) fruit shell as biomaterial to remove Cr (III), Cr (VI), Cd (II) and Zn (II) from aqueous solution, *Journal of Water Supply*:

*Research & Technology-AQUA,*  
63(7), 553-559.

Zhang, M., Yin, Q., Ji, X., Wang, F., Gao, X., Zhao, M., 2020. High and fast adsorption of Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions by a waste biomass based hydrogel. *Sci. Rep.* 10, 3285. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60160-w>