



# PENGARUH VARIASI WAKTU KONTAK DAN MASSA ADSORBEN KULIT JERUK SIAM (*CITRUS NOBILIS*) TERHADAP PENYISIHAN KADMIUM (CD) DAN MERKURI (HG)

Nur Ainiyah Fitria Anwar\*, Ika Meicahayanti, dan Dwi Ermawati Rahayu

Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Mulawarman, Samarinda  
Jalan Sambaliung No. 9 Kampus Gunung Kelua Samarinda 75119

\*Korespondensi penulis: [ainiyyahnur@gmail.com](mailto:ainiyyahnur@gmail.com)

## ABSTRAK

Merkuri dan kadmium merupakan logam berat yang berbahaya bagi lingkungan yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang. Salah satu metode pengolahan logam berat adalah adsorpsi dengan karbon aktif. Karbon aktif dapat dibuat oleh berbagai macam biomassa, salah satunya adalah kulit jeruk. Jeruk merupakan buah yang dikonsumsi secara luas oleh masyarakat. Pada kulit jeruk terkandung pektin yang dapat mengikat logam berat menjadi senyawa kompleks, sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku untuk adsorben karbon aktif. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu kontak dan massa adsorben dari karbon aktif kulit jeruk terhadap penyisihan kadmium dan merkuri. Dehidrasi kulit jeruk dilakukan pada suhu 105°C selama 3 jam dan dilakukan terus menerus hingga massa konstan. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 400°C selama 60 menit. Aktivasi dilakukan secara kimiawi menggunakan asam fosfat 85% dengan impregnasi rasio 1:1. Limbah kadmium dan merkuri merupakan limbah sintesis yang dibuat menggunakan larutan induk 1000 mg/L. Konsentrasi awal limbah sintesis kadmium dan merkuri adalah 2,359 mg/L dan 1,919 mg/L. Dari penelitian ini didapatkan penyisihan kadmium terbaik pada massa adsorben 2 gram dengan variasi waktu kontak 60 menit, yaitu 1,511 mg/L dan penyisihan merkuri terbaik didapatkan pada massa adsorben 2 gram dengan variasi waktu kontak 60 menit, yaitu 0,412 mg/L.

**Kata kunci:** Adsorpsi, Aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Karbon Aktif, Kulit Jeruk

## 1. Pendahuluan

Logam berat merupakan salah satu unsur pencemar perairan yang bersifat toksik dan harus terus diwaspadai keberadaannya. Penyebab utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya yaitu logam berat tidak dapat dihancurkan (*non-degradable*) oleh organisme hidup di lingkungan dan terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap di dasar perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik. Secara alamiah, unsur logam berat terdapat di seluruh alam, namun dalam kadar yang sangat rendah. Kadar logam berat akan meningkat apabila limbah perkotaan, pertambangan dan perindustrian yang banyak mengandung logam berat masuk ke lingkungan laut [1].

Kadmium adalah logam toksik yang ditemukan dalam berbagai pekerjaan industri, terutama plating logam, pigmen, baterai dan plastik. Kadmium juga ditemukan dalam industri cat [1]. Merkuri pada alam sebagian besarnya merupakan hasil sisa industri yang jumlahnya ±10.000 ton setiap tahunnya. Penggunaan merkuri dapat ditemukan dalam industri pengolahan bahan kimia, proses pembuatan obat-obatan, bahan dasar insektisida, cat kertas, pertambangan, serta sisa buangan industri [2].

Adsorpsi dianggap sebagai metode yang efektif untuk menurunkan konsentrasi polutan pencemar seperti zat organik, logam berat, dan pewarna terlarut dalam limbah dengan cepat [3]. Adsorpsi adalah proses pengumpulan zat polutan yang berada pada larutan ke permukaan yang sesuai. Adsorpsi merupakan suatu proses transfer massa dimana polutan terlarut pada fasa cair atau gas dipindahkan menjadi fasa padat pada permukaan adsorben [4]. Adsorpsi dipengaruhi oleh banyak faktor, dua diantaranya adalah massa adsorben dan waktu kontak antara adsorbat dan adsorben. Massa adsorben akan menambah luas permukaan sentuh



adsorben sehingga akan lebih banyak adsorbat yang terjerap dan penentuan waktu kontak akan menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum pada t waktu [5]. Adsorpsi dapat dilakukan salah satunya dengan karbon aktif.

Karbon aktif merupakan adsorben yang paling umum digunakan karena memiliki kapasitas besar untuk menyerap berbagai bahan organik seperti pewarna, logam berat, bahan farmasi, dan surfaktan. Hanya saja, harga karbon aktif relatif tinggi sehingga berbagai upaya telah dilakukan untuk membuat adsorben berbiaya rendah untuk menghilangkan polutan pada air limbah. Limbah pertanian dan perhutanan menggambarkan sumber daya yang tidak tergunakan dan tersedia secara luas serta ramah lingkungan sehingga memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai adsorben [3].

Jeruk Siam (*Citrus nobilis*) merupakan jenis jeruk yang umum ditemui di perkotaan dan tersedia dalam jumlah besar. Penggunaan jeruk biasanya pada rumah makan atau pedagang es jeruk. Melimpahnya penggunaan jeruk, tentunya sejalan lurus dengan dihasilkannya sampah organik kulit jeruk. Jeruk siam adalah jeruk yang memiliki rasa manis tanpa diberi penambahan gula dan merupakan jeruk yang 30% bagian buahnya berupa kulit yang tidak dipergunakan dan dibuang begitu saja. Kulit jeruk mengandung pektin yang mengandung banyak gugus fungsional, seperti gugus karboksil pada protein dan gugus hidroksil pada polisakarida. Gugus-gugus tersebut berperan dalam proses adsorpsi logam berat karena dapat menarik dan mengikat logam [6].

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas karbon aktif dari kulit jeruk sima serta untuk mengetahui pengaruh variasi massa adsorben dan waktu kontak terhadap penurunan konsentrasi limbah sintesis kadmium dan merkuri.

## 2. Metode Penelitian

### Pembuatan Karbon Aktif

Kulit jeruk dikumpulkan dan dibersihkan menggunakan air bersih. Selanjutnya, kulit jeruk dipotong kecil dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Dipanaskan kulit jeruk pada oven suhu 105°C selama 3 jam dan dilakukan hingga berat kulit jeruk konstan. Setelah itu, dihaluskan kulit jeruk menggunakan blender dan ayakan 100 mesh. Bubuk kulit jeruk selanjutnya dikarbonisasi di dalam tanur pada suhu 400°C selama 60 menit. Setelahnya, dilakukan aktivasi kimia menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 85% dengan impregnasi rasio 1:1. Karbon kulit jeruk kemudian diaduk selama 15 menit lalu didiamkan selama 24 jam. Setelah itu, dicuci karbon kulit jeruk hingga pH 7 dan dikeringkan dengan oven pada suhu 120°C selama 6 jam. Karbon aktif berbahan kulit jeruk yang telah dibuat diuji karakteristiknya untuk mengetahui apakah karbon aktif tersebut memenuhi SNI 06-3730-1995 [7] atau tidak.

### Pembuatan Limbah Sintesis Kadmium

Larutan induk kadmium 1000 mg/L dipipet sebanyak 10 mL ke dalam labu ukur 100 mL lalu ditambahkan akuades hingga tanda tera dan diaduk hingga homogen untuk mendapatkan konsentrasi larutan kadmium 100 mg/L. Selanjutnya larutan kadmium 100 mg/L dipipet sebanyak 6 mL ke dalam labu ukur 100 mL lalu ditambahkan akuades hingga tanda tera dan diaduk hingga homogen untuk mendapatkan konsentrasi limbah sintesis kadmium 6 mg/L.

### Pembuatan Limbah Sintesis Merkuri

Larutan induk merkuri 1000 mg/L dipipet sebanyak 10 mL ke dalam labu ukur 100 mL lalu ditambahkan akuades hingga tanda tera dan diaduk hingga homogen untuk mendapatkan konsentrasi larutan merkuri 100 mg/L. Selanjutnya larutan merkuri 100 mg/L dipipet sebanyak 9 mL ke dalam labu ukur 100 mL lalu ditambahkan akuades hingga tanda tera dan diaduk hingga homogen untuk mendapatkna konsentrasi limbah sintesis merkuri 9 mg/L.

### Proses Adsorpsi Limbah Sintesis Kadmium dan Merkuri oleh Karbon Aktif Kulit Jeruk

Disiapkan gelas ukur 600 mL sebanyak 18 buah dan dimasukkan karbon aktif kulit jeruk pada 3 gelas ukur, masing-masing sebanyak 1 gram/100 mL, 1,5 gram/100 mL, dan 2 gram/100 mL. Selanjutnya, diberi kertas



label pada gelas ukur bertuliskan kadmium 1, kadmium 1,5, dan kadmium 2 dan ditambahkan limbah sintetis kadmium ke dalam tiap gelas ukur. Setelah itu, dilakukan pengadukan menggunakan *jar test* dengan kecepatan pengadukan 100 rpm selama 60 menit. Disaring sampel limbah sintetis kadmium yang sudah berkontak dengan adsorben selama 60 menit dengan kertas saring dan dimasukkan ke dalam botol sampel. Diulangi langkah sebelumnya untuk waktu kontak 120 menit dan 150 menit. Diulangi kembali tahapan sebelumnya untuk limbah sintetis merkuri.

### Persamaan yang Digunakan

Data yang didapatkan dari penelitian akan dihitung menggunakan persamaan berikut:

#### 1. Persamaan Rendemen Karbon

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Berat Arang Aktif}}{\text{Berat Bahan}} \times 100\% \quad (1)$$

#### 2. Persamaan Kadar Karbon Murni

$$\text{Kadar Karbon (\%)} = 100 - (A + B) \quad (2)$$

dimana A adalah zat yang menghilang pada pemanasan 950°C (%) dan B adalah kadar abu (%).

#### 3. Persamaan Persentase Penyisihan

$$\% \text{Penyisihan} = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{Konsentrasi n waktu}}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\% \quad (3)$$

#### 4. Persamaan Isoterm Freundlich

$$q = k \times C^{1/n} \quad (4)$$

$$\text{Log } q = \text{log } k + \frac{1}{n} \times \text{Log } C \quad (5)$$

dimana q adalah jumlah gram adsorbat terjerap/gram adsorben, C adalah konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L), serta n dan k adalah konstanta.

#### 5. Persamaan Isoterm Langmuir

$$q = \frac{q_m \times b \times C}{1 + (b \times C)} \quad (6)$$

$$\frac{C}{X/m} = \frac{1}{q_m b} + \frac{1}{q_m} \times C \quad (7)$$

dimana C adalah konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L), x/m adalah jumlah adsorbat teradsorpsi per bobot adsorben (mg/g),  $q_m$  adalah kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/g), dan b adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg).

## 3. Hasil dan Pembahasan

### Karakteristik Karbon Aktif Kulit Jeruk



Karbon aktif berbahan kulit jeruk yang telah dibuat diuji karakteristiknya untuk mengetahui apakah karbon aktif tersebut memenuhi SNI 06-3730-1995 atau tidak. Hasil uji kualitas karbon aktif dari kulit jeruk berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diamati pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Uji Kualitas Karbon Aktif Kulit Jeruk

Parameter	Pengulangan			Rata-rata	Standar Kualitas SNI 06-3730-1995
	1	2	3		
Rendemen (%)	30,77				-
Kadar Air (%)	2,11	2,49	2,73	2,45	Maks. 15
Kadar Abu (%)	4,40	4,22	4,20	4,27	Maks. 10
Kadar Zat Mudah Menguap (%)	47,50	46,86	47,18	47,18	Maks. 25
Karbon Aktif Murni (%)	48,11	48,92	48,62	48,55	Min. 65
Daya Serap Iod (mg/g)	3956,10	4006,82	4006,82	3989,92	Min. 750

Berdasarkan Tabel 1, rendemen karbon aktif yang dihasilkan dipengaruhi oleh suhu karbonisasi karena semakin tinggi suhu, maka proses pembakaran lebih cepat terjadi dan membentuk rendemen yang lebih rendah [8]. Kadar air, kadar abu, dan daya serap Iod pada karbon aktif kulit jeruk siam yang didapatkan pada penelitian ini sudah sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995. Perhitungan kadar air bertujuan mengetahui sifat higroskopis dari karbon aktif, dimana umumnya karbon aktif memiliki sifat afinitas yang sangat besar terhadap air [9]. Kadar abu sangat berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif. Keberadaan abu yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori karbon aktif, sehingga luas permukaan karbon aktif menjadi berkurang [9]. Daya adsorpsi karbon aktif terhadap iod memiliki korelasi dengan luas permukaan dari karbon aktif [10].

Kadar zat mudah menguap dan karbon aktif murni yang didapatkan pada penelitian ini belumlah sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 yang telah ditetapkan. Pemanasan di atas 900°C nitrogen dan sulfur pada arang aktif akan menguap dan komponen inilah yang disebut zat mudah menguap. Tingginya kadar zat mudah menguap diperkirakan akibat putusannya ikatan atom-atom seperti oksigen, nitrogen, dan hidrogen pada gugus-gugus yang terbentuk dan menguap akibat pemanasan yang diberikan [11]. Kadar zat mudah menguap tergantung pada proses pengarang dan temperatur yang diberikan. Semakin lama proses karbonisasi dan semakin tinggi suhu karbonisasi, maka akan semakin menurunkan persentase kadar zat mudah menguap [12]. Kadar karbon aktif murni dipengaruhi oleh besaran kadar abu dan kadar zat mudah menguap. Semakin tinggi kadar abu dan kadar zat mudah menguap, maka akan semakin rendah kadar karbon aktif murni, begitu juga sebaliknya. Selain itu, kadar karbon aktif murni juga dipengaruhi oleh kandungan selulosa dan lignin pada bahan baku yang dapat dikonversi menjadi atom karbon [11].

### Karakteristik Awal Limbah Sintetis

Karakteristik awal limbah sintetis kadmium dan merkuri berdasarkan hasil uji lab dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

**Tabel 2.** Hasil Uji Laboratorium Awal Limbah Sintetis Kadmium dan Merkuri

No	Parameter	Konsentrasi (mg/L)
1	Kadmium	1,919
2	Merkuri	2,359

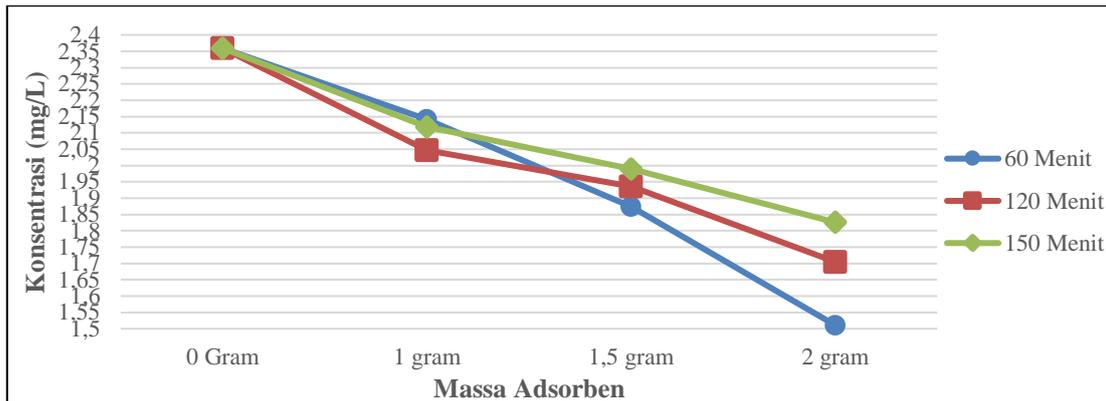
Berdasarkan Tabel 2, terdapat perbedaan konsentrasi limbah kadmium dan merkuri dari konsentrasi yang diinginkan, yaitu 6 mg/L dan 9 mg/L terhadap konsentrasi kadmium dan merkuri hasil pengujian lab, yaitu



2,359 mg/L dan 1,919 mg/L. Hasil ini karena terdapat zat-zat kontaminan terhadap wadah penyimpanan larutan induk atau pada alat yang dilakukan sebagai wadah pengenceran sehingga terjadi perubahan terhadap konsentrasi larutan induk. Hal ini menyebabkan ketika melakukan pengenceran dengan perhitungan awal 1000 mg/L akan berubah juga hasil akhir dari pengenceran. Oleh karenanya, konsentrasi yang diinginkan dan konsentrasi hasil pengujian lab berbeda.

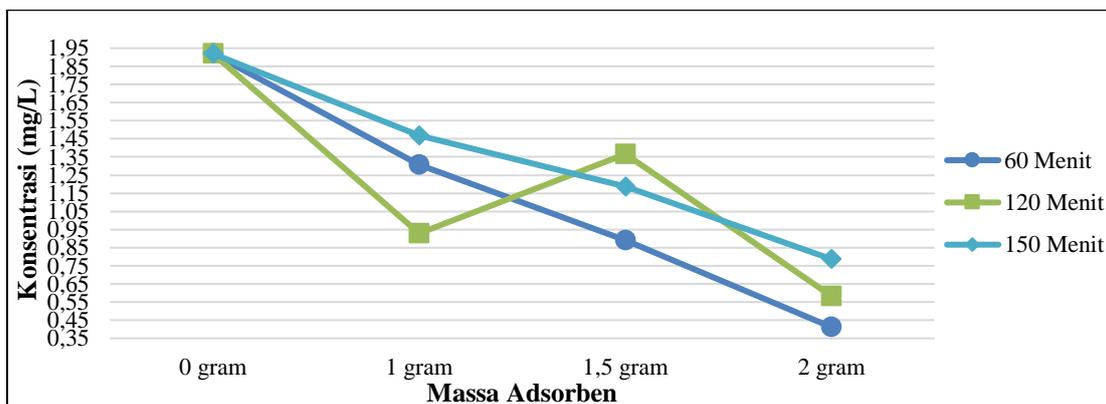
### Pengaruh Massa Adsorben dalam Penyisihan Kadar Kadmium dan Merkuri

Massa adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 gram/100 mL, 1,5 gram/100 mL, dan 2 gram/100 mL. Adapun pengaruh massa adsorben terhadap konsentrasi limbah sintesis kadmium dan merkuri setelah proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Grafik Pengaruh Massa Adsorben terhadap Penurunan Konsentrasi Kadmium

Berdasarkan Gambar 1, dapat diamati bahwa terjadi penurunan konsentrasi kadmium dengan variabel massa adsorben. Penurunan konsentrasi kadmium maksimum diperoleh dengan variasi massa adsorben 2 gram, yaitu 1,511 mg/L dengan persentase penyisihan 35,95 persen, sedangkan penurunan konsentrasi kadmium minimum diperoleh dengan variasi massa adsorben 1 gram, yaitu 2,141 mg/L dengan persentase penyisihan 9,24%.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Massa Adsorben terhadap Penurunan Konsentrasi Merkuri

Melihat pada Gambar 2, dapat diamati bahwa adanya penurunan konsentrasi merkuri dengan variabel massa adsorben. Penurunan konsentrasi merkuri maksimum diperoleh dengan variasi massa adsorben 2 gram, yaitu 0,412 mg/L dengan persentase penyisihan 78,51 persen, sedangkan penurunan konsentrasi merkuri minimum diperoleh dengan variasi massa adsorben 1,5 gram, yaitu 1,366 mg/L dengan persentase penyisihan 28,82%.

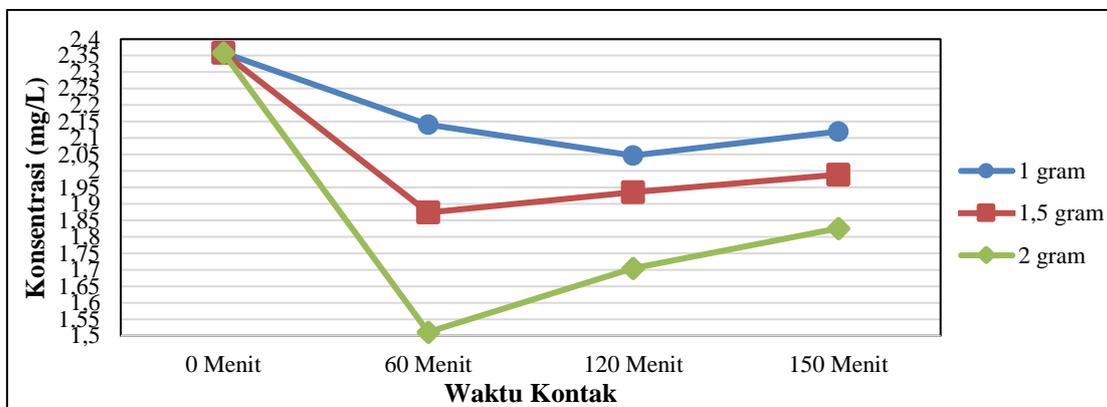


Berdasarkan Gambar 1 dan Gambar 2, grafik menunjukkan peningkatan adsorben akan memperbesar penyisihan kadmium dan merkuri. Kondisi serupa terjadi pada penelitian oleh Jisha *et al.* (2017) yang menggunakan adsorben kulit jeruk bahwa massa adsorben memiliki pengaruh terhadap jumlah adsorbat yang terjerap. Peningkatan massa adsorben akan menyediakan lebih banyak permukaan sebagai situs adsorpsi [13].

Pada umumnya, penambahan massa adsorben seharusnya meningkatkan penjerapan polutan yang mana akan meningkatkan persentase penyisihan, namun pada penelitian ini di menit ke-120, terjadi penurunan dalam penjerapan merkuri. Penurunan penjerapan bersamaan dengan penambahan massa adsorben disebabkan oleh ketidakjenuhan pada situs adsorpsi dan juga agregasi partikel adsorben yang menyebabkan penurunan luas permukaan total. Agregasi partikel juga dapat menyebabkan desorpsi adsorbat yang terikat lemah pada permukaan karbon [14]

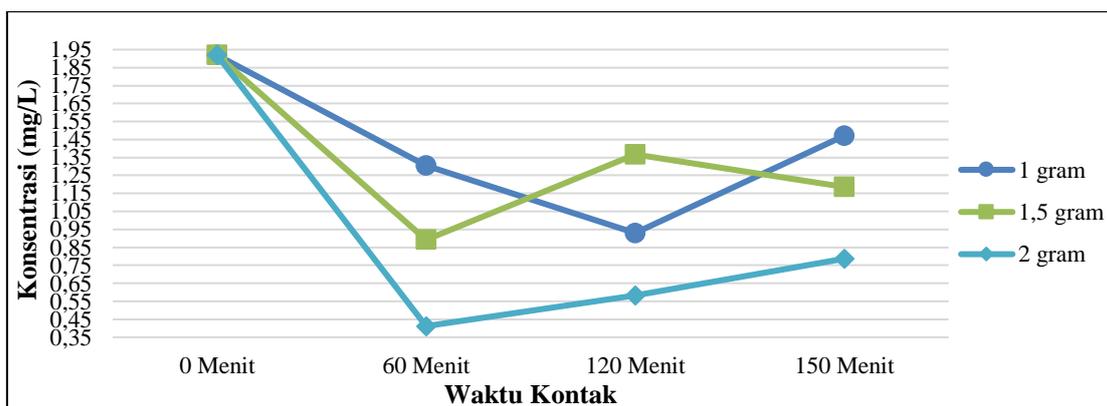
### Pengaruh Waktu Kontak dalam Penyisihan Kadar Kadmium dan Merkuri

Waktu kontak yang digunakan dalam penelitian ini adalah 60 menit, 120 menit, dan 150 menit. Adapun pengaruh waktu kontak terhadap konsentrasi limbah sintesis kadmium dan merkuri setelah proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penurunan Konsentrasi Kadmium

Berdasarkan Gambar 3, dapat terlihat adanya penurunan konsentrasi kadmium dengan variabel waktu kontak. Penurunan konsentrasi kadmium maksimum diperoleh dengan variasi waktu kontak 60 menit, yaitu 1,511 mg/L dengan persentase penyisihan 35,95 persen, sedangkan penurunan konsentrasi kadmium minimum diperoleh dengan variasi waktu kontak 60 menit, yaitu 2,141 mg/L dengan persentase penyisihan 9.24%.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penurunan Konsentrasi Merkuri



Pada Gambar 4, dapat diamati bahwa adanya penurunan konsentrasi merkuri dengan variabel waktu kontak. Penurunan konsentrasi merkuri maksimum diperoleh dengan variasi waktu kontak 60 menit, yaitu 0,412 mg/L dengan persentase penyisihan 78,51 persen, sedangkan penurunan konsentrasi merkuri minimum diperoleh dengan variasi waktu kontak 120 menit, yaitu 1,366 mg/L dengan persentase penyisihan 28,82%.

Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada menit awal, jerapan kadmium meningkat karena interaksi antara adsorbat dan adsorben terjadi secara efektif. Hal ini dikarenakan semua sisi adsorben kulit jeruk yang masih kosong kemudian berikatan dengan adsorbat dalam larutan. Semakin lama waktu kontak, maka penyerapan juga akan semakin meningkat hingga mencapai pada waktu tertentu maksimum dan setelah itu akan menurun kembali. Waktu maksimum tercapai dikarenakan permukaan adsorben telah dalam keadaan jenuh dengan adsorbat [6].

Efisiensi penyerapan yang menurun kemudian meningkat kembali sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Solika *et al.* (2017), hal ini diduga karena terjadi proses kesetimbangan atau tingkat kejenuhan antara adsorbat dengan adsorben terhadap waktu kontak yang dimana hampir semua sisi aktif pada adsorben telah beraksi dengan adsorbat sehingga perpanjangan waktu tak lagi efektif. Hal ini merupakan fenomena dalam adsorpsi fisika yang menyatakan bahwa proses adsorpsi bersifat *reversibel* karena ikatan lemah antara adsorben dengan ion logam sehingga ion logam akan terlepas kembali ke dalam larutan karena semakin lama waktu kontak. Sehingga berdasarkan penelitian ini, didapatkan waktu optimum 60 menit.

### Isoterm Adsorpsi

Proses penyerapan atau adsorpsi oleh suatu adsorben dipengaruhi banyak faktor dan juga memiliki pola isoterm adsorpsi tertentu yang spesifik. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam proses adsorpsi antara lain yaitu jenis adsorben, jenis zat yang diserap, luas permukaan adsorben, konsentrasi zat yang diadsorpsi dan suhu. Diketahui bahwa terdapat dua jenis persamaan pola isoterm adsorpsi yang sering digunakan pada proses adsorpsi dalam larutan, yaitu persamaan adsorpsi Langmuir dan Freundlich [15]. Untuk perbandingan mekanisme persamaan isoterm Freundlich dengan Langmuir pada adsorpsi logam kadmium dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Perbandingan Mekanisme Persamaan Isoterm Freundlich dan Langmuir pada Adsorpsi Kadmium

Isoterm Freundlich		Isoterm Langmuir	
Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
Persamaan	$y = -2,4178x - 0,9355$	Persamaan	$y = -118,13 + 101,28$
Slope (1/n)	-2,4178	Slope (1/q <sub>mb</sub> )	-118,13
Intercept (log K)	-0,9355	Intercept (1/q <sub>m</sub> )	101,28
Regresi (R <sup>2</sup> )	0,992	Regresi (R <sup>2</sup> )	0,9676
K	0,11601	B	-0,857361
N	-0,4136	q <sub>m</sub>	0,009874
Persamaan Adsorpsi	$q = 0,11601 \times C_1^{(-2,4178)}$	Persamaan Adsorpsi	$q = \frac{0,009874 \times (-0,857361) \times C_1}{1 + ((-0,857361) \times C_1)}$

Berdasarkan Tabel 3, didapatkan nilai regresi dari persamaan Freundlich adalah 0,992 dan nilai regresi dari persamaan Langmuir adalah 0,9676. Nilai regresi (R<sup>2</sup>) yang paling mendekati 1 adalah nilai regresi dari persamaan Freundlich, sehingga proses adsorpsi limbah sintesis kadmium oleh adsorben karbon aktif kulit jeruk dengan suhu karbonisasi 400°C dan aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 85% terjadi secara isoterm Freundlich. Kapasitas adsorpsi kadmium terdapat pada waktu kontak 60 menit, yaitu sebesar 0,042764 mg/g, sedangkan kapasitas adsorpsi terendah terdapat pada waktu kontak 150 menit, yaitu sebesar 0,027055 mg/g.



Untuk perbandingan mekanisme persamaan isoterm Freundlich dengan Langmuir pada adsorpsi logam merkuri dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Perbandingan Mekanisme Persamaan Isoterm Freundlich dan Langmuir pada Adsorpsi Merkuri

Isoterm Freundlich		Isoterm Langmuir	
Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
Persamaan	$y = -0,4396x - 1,2878$	Persamaan	$y = -3,6695x + 21,294$
Slope (1/n)	-0,4396	Slope (1/qmb)	-3,6696
Intercept (log K)	-1,2878	Intercept (1/qm)	21,294
Regresi (R2)	0,9824	Regresi (R2)	0,9324
K	0,051547	b	-5,974656
N	-2,2748	qm	0,045612
Persamaan Adsorpsi	$q = 0,051547 \times C1^{(-0,4396)}$	Persamaan Adsorpsi	$q = \frac{0,045612 \times (-5,974656) \times C1}{1 + ((-5,974656) \times C1)}$

Berdasarkan Tabel 4 di atas, didapatkan nilai regresi dari persamaan Freundlich adalah 0,9824 dan nilai regresi dari persamaan Langmuir adalah 0,9324. Nilai regresi ( $R^2$ ) yang paling mendekati 1 adalah nilai regresi dari persamaan Freundlich, sehingga proses adsorpsi limbah sintesis merkuri oleh adsorben kulit jeruk dengan suhu karbonisasi 400°C dan aktivator  $H_3PO_4$  85% terjadi secara isoterm Freundlich. Kapasitas adsorpsi merkuri tertinggi terdapat pada waktu kontak 60 menit, yaitu sebesar 0,076086 mg/g, sedangkan kapasitas adsorpsi terendah terdapat pada waktu kontak 150 menit, yaitu sebesar 0,057270 mg/g.

Proses adsorpsi yang terjadi pada isoterm Freundlich menandakan bahwa proses penjerapan paling dominan terjadi secara fisis (adsorpsi fisika). Proses adsorpsi merkuri dan kadmium terjadi pada suhu rendah dan memiliki interaksi intermolekuler yang lemah. Pada adsorpsi fisika, molekul yang teradsorpsi terikat secara lemah dipermukaan, sehingga bersifat dapat terbalikkan (*reversible*). Proses adsorpsi fisika terjadi tidak pada tempat (site) yang spesifik dan molekul yang teradsorpsi menyelimuti seluruh permukaan [16].

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Kualitas karbon aktif dari kulit jeruk siam, yaitu kadar air sebesar 2,45%, kadar abu sebesar 4,27%, kadar zat mudah menguap sebesar 47,18%, kadar karbon aktif murni sebesar 48,55%, dan daya serap terhadap iod sebesar 3989,92 mg/g. Nilai kadar zat mudah menguap dan karbon aktif murni oleh karbon aktif kulit jeruk siam belum memenuhi standar SNI yang telah ditetapkan, sehingga karbon aktif kulit jeruk siam dinilai belum cukup layak untuk digunakan sebagai adsorben efektif.
2. Massa adsorben dan waktu kontak dapat mempengaruhi penurunan konsentrasi limbah sintesis kadmium dan merkuri. Semakin banyak massa adsorben, maka luas permukaan adsorben untuk bereaksi dengan adsorbat akan tersedia lebih banyak. Variasi massa adsorben terbaik adalah massa adsorben 2 gram yang dapat menyerap lebih banyak kadmium dan merkuri dari larutan limbah sintesis. Variasi waktu kontak dapat menentukan waktu optimum adsorbat teradsorpsi hingga adsorben mencapai kejenuhan. Waktu optimum penurunan kadar kadmium dan merkuri pada limbah sintesis yang didapat pada penelitian yang telah dilakukan adalah 60 menit.

#### Referensi

- [1] Patang, *Dampak Logam Berat Kadmium dan Timbal pada Perairan*. Makassar, Indonesia: Badan Penerbit UNM, 2018.



- [2] M. C. Hadi, "Bahaya Merkuri di Lingkungan Kita," *Jurnal Skala Husada*, vol. 10, no. 2, pp. 175-183, 2013. Tersedia: <http://poltekkes-denpasar.ac.id/files/JSH/V10N2/M.%20Choirul%20Hadi%201%20JSH%20V10N2.pdf>
- [3] S. Hashemian, K. Salari, dan Z. A. Yazdi, "Preparation of Activated Carbon from Agricultural Wastes (Almond Shell and Orange Peel) For Adsorption of 2-Pic from Aqueous Solution," *Journal of Industrial Engineering Chemistry*, vol. 20, no. 4, pp. 1892-1900, 2013. Tersedia: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.09.009>
- [4] Tchobanoglous, F. L. Burton, dan H. D. Stensel, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (4th Edition)*. New York, USA: McGraw-Hill Companies, 2003.
- [5] I. Syauqiah, M. Amalia, dan H. A. Kartini, "Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif," *Jurnal Info Teknik*, vol. 12, no. 1, pp. 11-20, 2011. Tersedia: <https://www.neliti.com/id/publications/70401/analisis-variasi-waktu-dan-kecepatan-pengaduk-pada-proses-adsorpsi-limbah-logam>
- [6] N. Solika, M. Napitupulu, dan S. T. Gonggo, "Bioadsorpsi Pb (II) Menggunakan Kulit Jeruk Siam (*Citrus Reticulata*)," *Jurnal Akademika Kimia*, vol.6, no. 3, pp. 160-164, 2017. Tersedia: <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/JAK/article/view/9447>
- [7] *Arang Aktif Teknis*, SNI 06-3730-1995, 1995.
- [8] L. Efiyanti, S. A Wati, dan M. Maslahat, "Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika," *Jurnal Ilmu Kehutanan*, vol. 14, no.1, pp. 94-108, 2020. Tersedia: <https://journal.ugm.ac.id/jikfkt/article/view/57479/28069>
- [9] L. E. Laos dan A. Selan, "Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif," *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*, vol. 1, no. 1, pp. 32-36, 2016. Tersedia: <https://journal.stkipsingkawang.ac.id/index.php/JIPF/article/view/58/0>
- [10] L. E. Laos, Masturi, dan I. Yulianti, "Pengaruh Suhu Aktivasi terhadap Daya Serap Karbon Aktif Kulit Kemiri," di dalam *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, vol. 5, pp. 135-140, 2016. Tersedia: <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/prosidingsnf/article/view/4183>
- [11] G. C. Pane dan F. Hamzah, "Pemanfaatan Kulit Buah Durian pada Pembuatan Arang Aktif Metode Aktivasi Fisika-Kimia Menggunakan Asam Fosfat," *Jurnal Online Mahasiswa FAPERTA Universitas Riau*, vol. 5, no. 2, pp. 1-14, 2018. Tersedia: <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFAPERTA/article/view/21093>
- [12] I. Wahyuni dan R. Fathoni, "Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Variasi Waktu Aktivasi," *Jurnal Chemurgy*, vol. 3, no. 1, pp. 11-14, 2019. Tersedia: <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK/article/view/2776>
- [13] J. T. Jisha, H. C. Lubna, dan V. Habeeba, "Removal of Cr (IV) Using Orange Peel as An Adsorbent," *Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, vol. 3, no. 4, pp. 276-283, 2017. Tersedia: [http://ijarjie.com/AdminUploadPdf/REMOVAL\\_OF\\_Cr\\_VI\\_USING\\_ORANGE\\_PEEEL\\_AS\\_AN\\_A\\_DSORBENT\\_ijarjie5995.pdf](http://ijarjie.com/AdminUploadPdf/REMOVAL_OF_Cr_VI_USING_ORANGE_PEEEL_AS_AN_A_DSORBENT_ijarjie5995.pdf)
- [14] A. Shukla, Y. H. Zhang, P. Dubey, J. L. Margrave, dan S. S. Shukla, "The Role of Sawdust in The Removal of Unwanted Materials from Water," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 95, no. 1-2, pp. 137-152, 2002. Tersedia: [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00089-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00089-4)
- [15] M. Handayani dan E. Sulistyono, "Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) oleh Zeolit," di dalam *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*, pp. 130-136, 2009. Tersedia: <https://digilib.batan.go.id/ppin/katalog/file/1858-3601-2009-130.pdf>
- [16] Yustinah, A. M. Hudzaifah, dan A. B. Syamsudin, "Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch," *Jurnal Konversi*, vol. 9, no. 12, pp.17-28, 2020. Tersedia: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konversi/article/view/7083>