

Uji Adsorpsi Karbon Aktif dari kulit Singkong dan Karbon Aktif Komersial Teraktivasi Asam Nitrat dalam Menurunkan Logam Kadmium (Cd)

Marwa Daud Abada Robby* dan Mohammad Razif

Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Email Korespondensi : marwa.abada1@gmail.com

Kata Kunci:

Adsorpsi Batch, Karbon Aktif Kulit Singkong, Logam Kadmium (Cd)

ABSTRAK

Metode adsorpsi memiliki konsep yang lebih sederhana dan ekonomis, jika dibandingkan dengan metode lain dalam menurunkan logam Kadmium. Pada umumnya, adsorpsi menggunakan karbon aktif komersial. Namun, harganya cukup mahal, sehingga dilakukan pengembangan untuk mencari alternatif lain, diantaranya karbon aktif dari kulit singkong. Tujuan penelitian ini mengetahui karakteristik, efisien *removal* dan pengaruh massa adsorben serta model *isoterm* dari karbon aktif komersial dan karbon aktif kulit singkong. Variabel dalam penelitian ini yaitu karbon aktif yang berasal dari kulit singkong dan karbon aktif komersial yang divariasikan dengan massa adsorben yaitu 3, 6, 9, 12 gr. Waktu kontak dengan variasi 30, 60, 90, 120 menit, serta variasi konsentrasi larutan 2, 4, 6, 8 ppm. Hasil penelitian jika dibandingkan dengan SNI 06-3730-1995 menunjukkan nilai kandungan pada karbon aktif kulit singkong memenuhi, kecuali pada kadar zat mudah menguap dan kadar karbon terikat, sementara nilai kandungan pada karbon aktif komersial belum memenuhi, kecuali pada kadar air. Hasil dari pengujian BET karbon aktif kulit singkong memiliki luas permukaan sebesar 151,360 m²/g, sedangkan pada karbon aktif komersial sebesar 251, 648 m²/g. Hasil efisiensi *removal* tertinggi karbon aktif kulit singkong dengan 9 gram, waktu kontak 90 menit dengan konsentrasi Cd 8 ppm yaitu 95% sedangkan pada karbon aktif komersial 96%.

Keyword:

batch adsorption, cassava peel activated carbon, Cadmium (Cd) metal

ABSTRACT

The adsorption method has a simpler and more economical concept when compared to other methods of reducing cadmium metal. In general, commercial activated carbon is used; however, the price is quite expensive, so development is being carried out to find alternative adsorbents, including activated carbon from cassava peels. This study determined the characteristics, removal efficiency, and adsorbent mass effect. It also investigated isotherm models of commercial activated carbon and cassava skin-activated carbon. The research variables consisted of activated carbon derived from cassava peels and commercial activated carbon in adsorbent masses of 3 gr, 6 gr, 9 gr, and 12 gr. Contact time varied between 30, 60, 90, and 120 minutes, while cadmium concentrations varied between 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, and 8 ppm. Based on SNI 06-3730-1995, the content value of cassava skin activated carbon was fulfilled, except for the volatile matter and bound carbon contents, while the content value of commercial activated carbon was not fulfilled except for the water content. The results of the BET testing indicated that cassava peel-activated carbon had a surface area of 151.360 m²/g, while commercial-activated carbon gained 251.648 m²/g. The highest removal efficiency of cassava skin-activated carbon occurred at a mass of 9 grams, a contact time of 90 minutes, and a concentration of 8 ppm at 95%, while commercial activated carbon was 96%.

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar industri di Indonesia menggunakan bahan kimia sehingga limbah cair yang dihasilkan sering kali memiliki kandungan logam berat. Ekosistem dan keanekaragaman hayati pada badan air dapat terganggu oleh logam berat (Andamari, 2022). Logam Kadmium (Cd) adalah logam beracun, atau metal berbahaya, yang manfaat keberadaannya dalam tubuh belum diketahui. Logam berat ini sering disebut sebagai logam beracun karena dapat

membahayakan kesehatan manusia. Senyawa ini tidak dapat berubah menjadi bentuk lain di alam (Suwazan *et al.*, 2022). Menurut (Aunurohim, 2019) mengungkap pencemaran perairan Teluk Lamong Surabaya dengan logam berat Kadmium. Hal ini dibuktikan dengan rata-rata konsentrasi Cadmium yang diakumulasi oleh Kerang Hijau di teluk tersebut sebesar 14.4180 *part per million* (ppm). Konsentrasi tersebut termasuk tinggi dan melebihi baku mutu sebesar 1 ppm, jika kerang hijau tersebut dikonsumsi manusia akan berpengaruh pada kesehatan manusia. Oleh karena itu,

diperlukan penelitian agar dapat menurunkan konsentrasi logam berat Kadmium pada perairan.

Di antara beberapa teknik yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar ion logam, adsorpsi adalah metode yang paling umum digunakan karena memiliki konsep yang lebih sederhana dan ekonomis (Maghfirana, 2019). Karbon aktif komersial, seperti zeolit dan gel silika, sering digunakan dalam proses adsorpsi. Namun, para peneliti telah banyak melakukan upaya untuk mencari adsorben alternatif, karena harga karbon aktif yang tersedia secara komersial cukup tinggi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini menggunakan karbon aktif dari kulit singkong yang merupakan produk sampingan dari proses pembuatan makanan yang dibuat dari umbi singkong. Kelebihan lain kulit singkong sebagai adsorben yaitu memiliki kemampuan untuk menghilangkan bau dan warna air keruh karena luas permukaan yang besar dan banyak pori-pori (Ariyani, 2017).

Penelitian sebelumnya telah dilakukan pada topik adsorpsi memanfaatkan karbon aktif yang berasal dari kulit singkong dalam menurunkan kadar tercemar kadmium (Cd), seperti (Arifiyana & Wardani, 2021). Namun, dari penelitian tersebut belum terdapat inovasi untuk membandingkan dengan karbon aktif komersial, serta belum ada yang menggunakan aktivator asam nitrat pada saat aktivasinya. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas karbon aktif dalam mengadsorpsi limbah kulit singkong dalam menurunkan kadar Cd menggunakan aktivator HNO₃ yang selanjutnya akan dibandingkan efektivitasnya dengan karbon aktif komersial, menggunakan variasi massa adsorben, waktu kontak dan konsentrasi limbah.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan yaitu pengupas kulit singkong, gelas beker, gelas ukur, pipet ukur, blender, erlenmeyer, corong kaca, spatula, pipet tetes, cawan porselen, cawan krusibel, labu ukur, *wise mix*, nampan, *filter pump*, ayakan 60 mesh, neraca analitik, spatula, pH meter, *oven*, *furnace*, dan *stopwatch*. Bahan yang digunakan yaitu padatan CdSO₄.8H₂O, kulit singkong, *aqudest*, larutan HNO₃ 1 M, aluminium foil, kertas saring whatman, dan karbon aktif komersial.

2.2 Pembuatan limbah artifisial kadmium (cd)

Limbah artifisial adalah limbah buatan yang sudah diketahui konsentrasinya (Dwipa, 2019). Pembuatan limbah artifisial kadmium (Cd) pada penelitian ini menggunakan serbuk putih atau kristal tidak berwarna dengan rumus kimia CdSO₄.8H₂O. Pembuatan larutan induk dilakukan dengan cara mengukur 6,8459 mg CdSO₄.8H₂O, labu ukur 1000 ml dimasukkan dan *aqudest* ditambahkan hingga tanda batas, lalu campurkan larutan hingga homogen. Pembuatan larutan kerja dengan variasi konsentrasi 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm, dilakukan dengan cara pengenceran dari larutan induk.

2.3 Pembuatan karbon aktif kulit singkong

Kulit singkong yang telah dipilah dibersihkan dengan air hingga tidak ada sisa pasir dan tidak terdapat sisa kulit epidermis bagian coklat yang menempel, kemudian dipotong dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 80°C selama satu

hari. Proses setelah dehidrasi merupakan proses karbonisasi yang dilakukan selama 1,5 jam pada suhu 350°C. Hasil karbonisasi disaring menggunakan ayakan 60 mesh (Lajja et al., 2021). Aktivasi penelitian ini dilakukan dengan menggunakan larutan kimia yang mengandung asam nitrat (HNO₃) dengan konsentrasi 1 M, dengan perbandingan 1:10. Karbon aktif direndam dalam larutan kimia selama 1,5 jam, selanjutnya dilakukan penyaringan dengan menggunakan penyaring vakum dan kertas saring, dan terakhir dicuci dengan *aquades* hingga mencapai pH netral, kemudian di *oven*.

2.4 Metode analisis

Analisis yang digunakan untuk mengetahui efektivitas karbon aktif mengadsorpsi logam Kadmium (Cd) menggunakan instrumen AAS, serta menggunakan instrumen BET untuk mengetahui luas permukaan pori karbon aktif dan analisis proksimat digunakan untuk mengetahui karakteristik karbon aktif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik karbon aktif

Analisis kimia dan fisika dilakukan di laboratorium untuk mengetahui karakteristik karbon aktif yang berasal dari kulit singkong. Penelitian ini menggunakan metode uji proksimat untuk analisis kimia, yang digunakan untuk memastikan komposisi zat yang terdapat dalam karbon aktif. Analisis fisika melibatkan pemanfaatan metode uji BET (*Brunauer-Emmett-Teller*).

Tabel 1. Hasil Uji Analisis Proksimat

Analisis Proksimat	Karbon Aktif Kulit Singkong		Karbon Aktif Komersial		Baku Mutu
	sebelum	sesudah	sebelum	sesudah	
Kadar Air	4,85%	4,63%	6,25%	0,96%	Maks 15%
Kadar Abu	11,82%	2,73%	38,18%	26,36%	Maks 10%
Kadar Volatile	68,98%	63,29%	44,37%	41,09%	Maks 25%
Kadar Karbon Terikat	14,35%	29,35%	11,20%	31,58%	Min 65%

Kadar air kedua karbon aktif nilainya masih memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan. Kadar abu karbon aktif kulit singkong pada proses sebelum aktivasi memiliki nilai yang melebihi baku mutu yang ditetapkan, namun kadar abu setelah proses aktivasi menurun drastis dan memiliki nilai dibawah baku mutu sehingga aktivasi sangat memengaruhi terjadinya peningkatan kadar abu. Sedangkan, kadar abu pada karbon aktif komersial pada proses sebelum dan sesudah aktivasi memiliki nilai yang sangat tinggi. Kadar abu menjadi salah satu karakteristik yang berpengaruh dalam menunjang kualitas karbon aktif. Kandungan abu karbon aktif berhubungan langsung dengan adanya kotoran yang menyumbat pori-pori. Kadar zat mudah menguap (*volatile*) dan kadar karbon terikat pada kedua karbon aktif belum memenuhi standar baku mutu. Peningkatan zat *volatile* disebabkan oleh adanya sisa bahan mudah menguap di dalam karbon aktif, sedangkan besarnya kandungan karbon terikat dalam karbon aktif tunduk pada fluktuasi kadar air, abu, dan

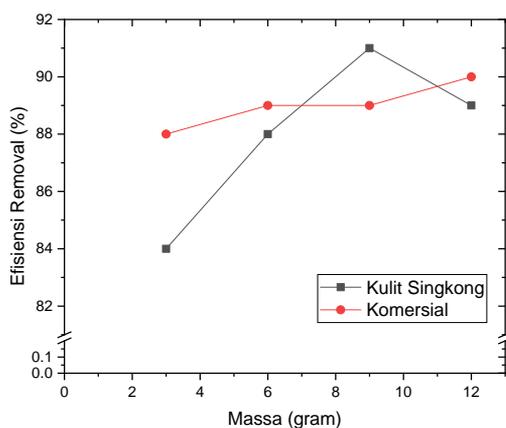
bahan mudah menguap yang ada (Sahara *et al.*, 2017). Selain itu, kandungan karbon yang terikat juga dipengaruhi atom karbon yang berasal dari konversi konstituen selulosa dan lignin. Kemanjuran karbon aktif untuk adsorpsi berbanding lurus dengan tingkat kemurnian kandungan karbon terikatnya.

Pada penelitian ini, pengujian BET dilakukan pada karbon aktif kulit singkong dan karbon aktif komersial pada proses setelah aktivasi. Hasil dari pengujian BET karbon aktif kulit singkong sebesar 151,360 m²/g, sedangkan pada karbon aktif komersial sebesar 251,648 m²/g. Hal ini menunjukkan karbon aktif kulit singkong dan karbon aktif komersial memiliki struktur pori internal yang cukup kuat. Sifat adsorptif karbon aktif berkaitan dengan struktur pori internalnya. Ada beberapa faktor yang dapat memengaruhi luas permukaan karbon aktif, antara lain proses aktivasi dan lama perendaman yang dapat menyebabkan tinggi atau rendahnya luas permukaan (Erawati & Helmy, 2018).

3.2 Adsorpsi logam kadmium (cd)

3.2.1 Pengaruh massa adsorben

Massa adsorben memiliki pengaruh yang cukup besar dalam proses adsorpsi. Massa adsorben menentukan kuantitas yang teradsorpsi (Khair, 2021). Telah diketahui bahwa semakin luas permukaan suatu adsorben, maka akan semakin besar zat yang akan teradsorpsi (Situmorang, T. M., & Farma, 2017). Oleh karena itu, ukuran partikel adsorben dibuat seragam sehingga luas permukaan sama yaitu sebesar 60 mesh (Khair, 2021). Pengaruh massa terhadap adsorpsi pada penelitian ini dilakukan variasi massa adsorben dari karbon kulit singkong dan karbon aktif komersial sebesar 3 g, 6 g, 9 g, dan 12 g.



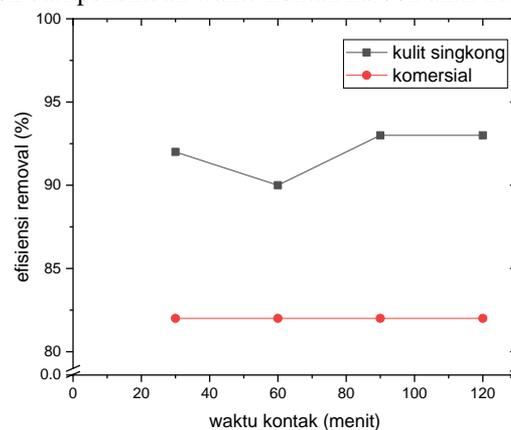
Gambar 1. Grafik Pengaruh Massa Adsorben

Hasil dari penentuan massa adsorben karbon aktif kulit singkong memiliki nilai efisiensi *removal* yang terus naik pada massa 3 gram hingga 9 gram dan menurun pada massa 12 gram, sehingga massa adsorben optimum karbon aktif kulit singkong dalam penyerapan logam Cd yaitu 9 gram. Pada karbon aktif komersial memiliki nilai efisiensi *removal* yang stabil namun terus naik di setiap variasi massanya, nilai efisiensi tertinggi pada variasi massa karbon aktif komersial terdapat pada massa 12 gram. Hasil penyerapan logam Cd karbon aktif komersial sejalan dengan teori (Suwazan *et al.*, 2022) yang menyatakan bahwa semakin banyak massa yang digunakan, semakin besar penyerapan yang terjadi. Menurut

(Yustinah *et al.*, 2019) peningkatan massa adsorben menyebabkan peningkatan yang sesuai pada luas permukaan yang tersedia sehingga memberikan lebih banyak tempat bagi adsorbat untuk diserap di dalam adsorben. Sebaliknya, hasil penyerapan logam Cd karbon aktif kulit singkong yang mengalami peningkatan pada rentang tertentu dan kembali mengalami penurunan. Fenomena ini diyakini muncul dari kejenuhan pori-pori permukaan biosorben, dimana logam berat telah menempati pori-pori, membuat biosorben tidak mampu melakukan reabsorpsi. Penyebab dari penurunan yang terjadi diakibatkan dari jumlah adsorben yang besar membuat agregasi partikel dan mengakibatkan penurunan total luas permukaan serta peningkatan difusional yang menyebabkan penurunan jumlah penyerapannya (Khair, 2021).

3.2.2 Pengaruh waktu kontak

Waktu kontak pada proses adsorpsi karbon aktif merupakan salah satu parameter penting dalam proses adsorpsi. Menurut (Sailah *et al.*, 2020) bahwasanya waktu interaksi yang cukup diperlukan karbon aktif agar dapat mengadsorpsi logam secara optimal. Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi pada penelitian ini dilakukan dengan variasi waktu kontak sebesar 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dengan menggunakan massa optimum dari setiap karbon aktif. Berikut hasil dari penentuan waktu kontak karbon aktif kulit

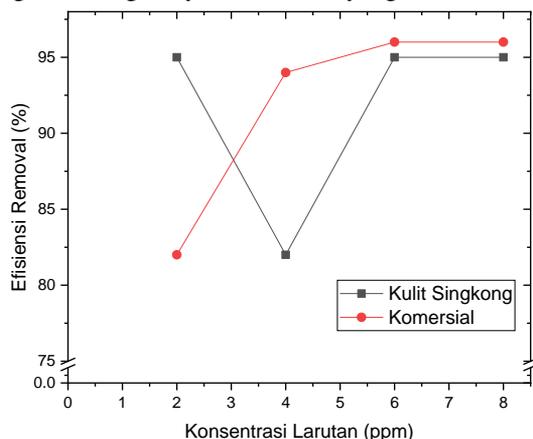


Gambar 2. Grafik Pengaruh Waktu Kontak

Hasil dari penentuan waktu kontak karbon aktif kulit singkong memiliki mencapai kesetimbangan pada waktu 90 menit yang ditandai dengan nilai efisiensi *removal* yang stabil yaitu 93%. Pada karbon aktif komersial telah mencapai kesetimbangan pada waktu kontak 30 menit dengan nilai efisiensi *removal* yang stabil di setiap variasi waktunya yaitu 82%. Hasil penyerapan logam Cd karbon aktif kulit singkong mengalami kenaikan pada waktu 60 menit, lalu mengalami penurunan, kemudian mengalami kesetimbangan pada waktu 90 menit. Hal ini sejalan dengan (Mulana *et al.*, 2018) semakin lama waktu kontak, maka semakin banyak logam yang teradsorpsi karena semakin banyak kesempatan partikel karbon aktif untuk bersinggungan dengan logam. Adanya fluktuasi efisiensi penyerapan dapat disebabkan karena situs aktif pada permukaan adsorben bersifat heterogen sehingga yang konsentrasi larutan yang terserap berbeda (Amalia *et al.*, 2019).

3.2.3 Pengaruh konsentrasi larutan

Proses adsorpsi dipengaruhi oleh konsentrasi larutan, karena ada hubungan langsung antara konsentrasi zat terlarut dan jumlah zat terlarut yang dapat diserap oleh adsorben. Pengaruh konsentrasi larutan terhadap adsorpsi pada penelitian ini dilakukan dengan variasi 2, 4, 6, 8 ppm, dengan menggunakan massa dan waktu kontak optimum dari setiap karbon aktif. Hasil dari penentuan konsentrasi kedua karbon aktif memiliki efektivitas yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi yang diberikan.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Konsentrasi Larutan

Hasil dari penentuan konsentrasi optimum karbon aktif kulit singkong terjadi penurunan pada konsentrasi 4 ppm. Namun, kembali stabil meskipun semakin besar konsentrasinya. Hal ini sejalan dengan penelitian (Gova, 2019) semakin naiknya konsentrasi, maka semakin banyak molekul yang berinteraksi dengan karbon aktif sehingga adsorpsi semakin meningkat dan stabil. Hal ini didukung dengan penelitian (Yustinah *et al.*, 2019) semakin besar konsentrasi, semakin besar pula konsentrasi yang terjerap, disebabkan karena semakin besarnya faktor tumbukan yang terjadi pada logam Cd dan adsorben sehingga terjadi proses penyerapan yang lebih banyak. Hasil penentuan konsentrasi optimum karbon aktif komersial mengalami hal yang sama, semakin banyak konsentrasi yang diberikan semakin banyak pula logam Cd yang terjerap. Hal ini ditandai dengan stabilnya efisiensi *removal*, meskipun pada konsentrasi yang tinggi.

3.3 Perbandingan efisiensi karbon aktif dalam adsorpsi logam kadmium

Hasil efisiensi *removal* tertinggi karbon aktif kulit singkong dengan 9 gram, waku kontak 90 menit dengan konsentrasi logam Cd 8 ppm yaitu 95%, sedangkan pada karbon aktif komersial sebesar 96%. Adsorpsi logam Kadmium (Cd) pada penelitian ini menunjukkan hasil bahwa karbon aktif kulit singkong dan karbon aktif komersial memiliki selisih yang tidak jauh berbeda. Hal tersebut dapat disebabkan oleh berbagai faktor, khususnya pemanfaatan kondisi operasi seperti waktu dan temperatur selama proses karbonisasi. Akibatnya, pembentukan karbon aktif yang diinginkan terhambat dan menghasilkan produksi abu sebagai pengotor yang tidak diinginkan. Pengotor ini berpotensi menyumbat pori-pori karbon aktif, yang menyebabkan berkurangnya luas permukaannya. Oleh karena itu, perlu

dilakukan pengujian untuk mengetahui kandungan dan komposisi gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif yang dihasilkan. Hal lain yang dapat memengaruhi proses adsorpsi adalah pH larutan. pH larutan pada awal berada pada rentang 6,5 yang termasuk asam. Hal ini juga sesuai dengan (Kosim, 2022) dimana spesi logam Kadmium untuk Cd (II) adalah pada pH asam sampai pH 7, karena jika lebih dari itu akan berubah menjadi Cd(OH)₂. Hasil proses adsorpsi menjadikan pH larutan naik dengan nilai 7,3 yang termasuk netral menuju basa.

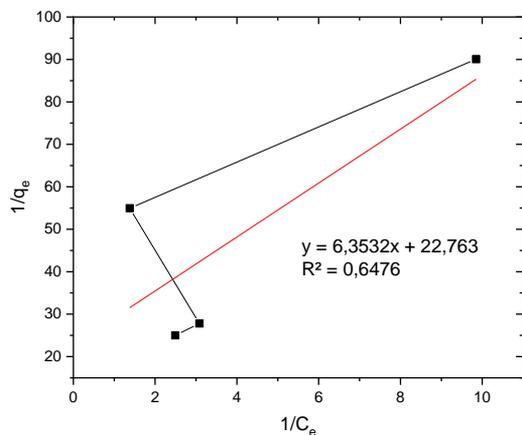
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif kulit singkong mampu mengadsorpsi logam Kadmium bahkan dengan konsentrasi yang tinggi. Kandungan karbon yang tinggi pada kulit singkong berpotensi untuk digunakan sebagai adsorben berupa karbon aktif (Lajja *et al.*, 2021). Namun, perlu dilakukan pengujian menggunakan limbah asli agar efektif dalam penerapan di lapangan, serta dari proses pengolahan karbon aktif yang telah dipakai, dapat dikumpulkan dan dipisahkan dari jenis limbah lain karena mengandung limbah B3, serta dapat dilakukan proses solidifikasi untuk pengolahan lebih lanjut

3.4 Isoterm adsorpsi logam kadmium

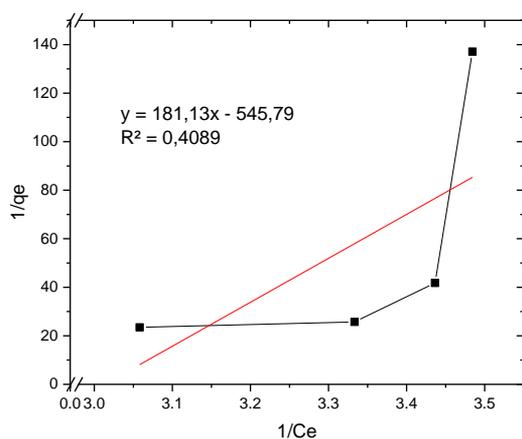
Adsorpsi secara kimiawi (*chemisorption*) terjadi jika molekul adsorbat terikat dengan suatu reaksi kimia dengan permukaan adsorben karena adanya ikatan kimia yang terputus dan terbentuk selama proses, maka panas adsorpsinya hampir sama dengan panas reaksi kimia. Hubungan antara jumlah adsorbat yang terjerap dengan konsentrasi adsorbat dalam larutan pada keadaan kesetimbangan dan suhu tetap dapat dinyatakan dengan *isoterm* adsorpsi. Kesetimbangan isoterm memberikan informasi penting yang berhubungan dengan proses adsorpsi, sehingga mudah dipahami ketika melakukan analisis dan desain. *Isoterm* adsorpsi logam Cd pada penelitian ini menggunakan variasi data konsentrasi optimum.

3.4.1 Isoterm langmuir

Isoterm adsorpsi *Langmuir* dianggap bahwa terjadi proses adsorpsi secara kimia dan tunggal. Adsorpsi tersebut terlokalisasi, artinya molekul-molekul zat hanya dapat diserap pada tempat tertentu dan panas adsorpsi tidak tergantung pada permukaan yang tertutup oleh adsorben. *Isoterm* adsorpsi *Langmuir* digunakan untuk menggambarkan adsorpsi kimia (Wijayanti & Kurniawati, 2019). Persamaan *isoterm* adsorpsi *Langmuir* menggambarkan hubungan antara konsentrasi zat terlarut dalam fase cair dan fase padat pada kondisi kesetimbangan. Perhitungan *isoterm Langmuir* dimulai dengan memplotkan nilai $1/C_e$ dengan $1/q_e$ setiap konsentrasi larutan. Setelah nilai persamaan dan nilai koefisien korelasi (R_2) diperoleh, kemudian dipilih yang R_2 mendekati 1. Berdasarkan persamaan dan R_2 tersebut dilanjutkan untuk menghitung nilai konstanta *isoterm Langmuir*.



Gambar 4. Grafik *Isoterm Langmuir* Kulit Singkong



Gambar 5. Grafik *Isoterm Langmuir* Komersial

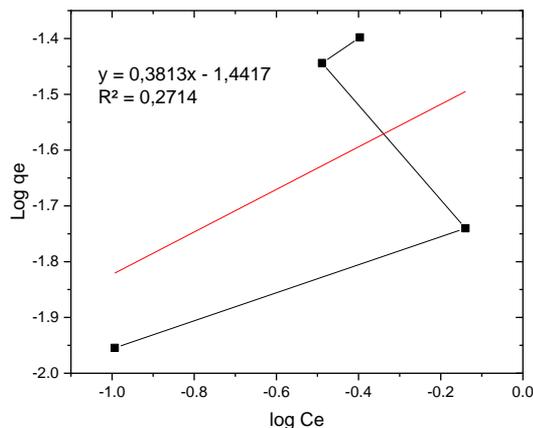
Persamaan Langmuir dari karbon aktif kulit singkong yang dihasilkan setelah proses adsorpsi, yaitu $y = 6.3532x + 22.763$ dengan koefisien regresi linier $R_2 = 0,6476$. Persamaan adsorpsi. Pada persamaan untuk *isoterm* Langmuir pada adsorben karbon aktif komersial yaitu $y = 181.13x - 545.79$ dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,4089. Hasil dari kedua karbon aktif menunjukkan nilai yang mendekati angka 1 adalah karbon aktif kulit singkong.

Perhitungan lebih lanjut dapat dilihat pada lampiran, nilai q_m diperoleh dari mengolah data *intercept*, KL berasal dari hasil perhitungan q_m dan *slope*. Nilai q_m dari karbon aktif kulit singkong sebesar 0,044 mg/g, nilai KL sebesar 3,517 L/mg, dan nilai RL sebesar 0,007 yang menunjukkan proses adsorpsi pada adsorben menggunakan kulit singkong sesuai untuk penurunan Cd. Nilai q_m dari adsorben karbon aktif komersial adalah sebesar -0,0018 mg/g, nilai KL sebesar -3,013 L/mg, dan nilai RL sebesar 0,008 yang menunjukkan jika proses adsorpsi dengan model ini tidak dapat dipulihkan (*irreversible*).

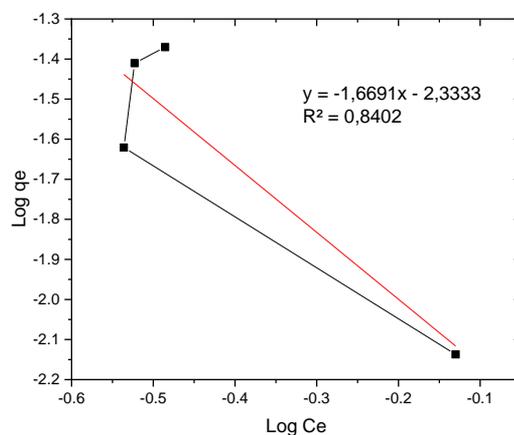
3.4.2 *Isoterm freundlich*

Isoterm Freundlich digunakan jika diasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan *site* bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikatan pada tiap-tiap *site* (Apriyanti *et al.*, 2018). *Isoterm* adsorpsi ini terjadi karena adanya interaksi secara fisik antara adsorben dan adsorbat. Perhitungan *isoterm* Freundlich

dimulai dengan memplotkan nilai Log C_e dengan Log q_e setiap konsentrasi larutan (Apriyanti *et al.*, 2018). Setelah nilai persamaan dan nilai koefisien korelasi (R_2) diperoleh, kemudian dipilih R_2 yang mendekati 1. Berdasarkan persamaan dan R_2 tersebut, dilanjutkan untuk menghitung nilai konstanta *isoterm Freundlich* (Indarti, 2021).



Gambar 6. Grafik *Isoterm Freundlich* Kulit Singkong



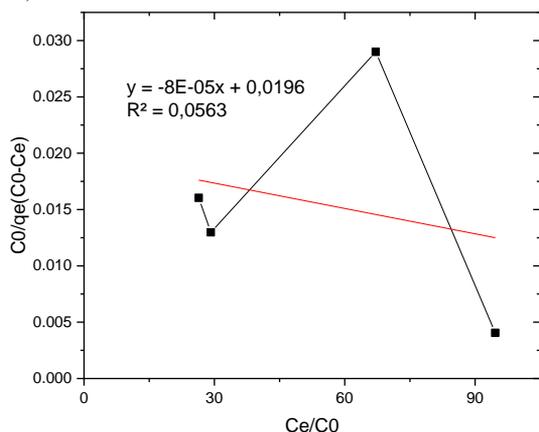
Gambar 7. Grafik *Isoterm Freundlich* Komersial

Persamaan Freundlich dari karbon aktif kulit singkong yang dihasilkan setelah proses adsorpsi, yaitu $y = 0,3813x - 1,4417$ dengan koefisien regresi linier $R_2 = 0,271$. Persamaan adsorpsi Freundlich karbon aktif kulit singkong dinyatakan pada gambar 7, mendapatkan hasil yaitu $y = -1.6691x - 2.3333$ dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,840. Hasil dari kedua karbon aktif menunjukkan nilai yang mendekati angka 1 adalah karbon aktif komersial.

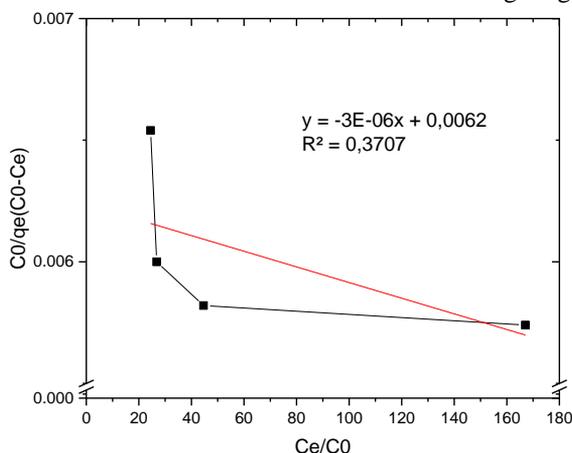
Nilai K_f berasal dari perhitungan dengan nilai *intercept* dan nilai $1/n$ berasal dari nilai *slope*. Nilai K_f atau kapasitas adsorpsi *isoterm Freundlich* kulit singkong adalah 0,036 mg/g, nilai n adalah 2,585 atau >1 yang artinya proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi fisika (*physisorption*). Nilai K_f atau kapasitas adsorpsi *isoterm Freundlich* karbon aktif komersial adalah 0,005 mg/g, nilai n -0,60 atau $n < 1$ yang artinya proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi kimia (*chemisorption*).

3.4.3 Isoterm BET

Isoterm BET berbagi asumsi dasar yang sama dengan teori Langmuir, yang mencakup asumsi permukaan homogen dan tidak adanya interaksi antara molekul yang teradsorpsi (Indarti, 2021).



Gambar 8. Grafik Isoterm BET Kulit Singkong



Gambar 9. Grafik Isoterm BET Komersial

Persamaan BET dari karbon aktif kulit singkong yang dihasilkan setelah proses adsorpsi, yaitu $y = -8E-05x + 0,0196$ dengan koefisien regresi linier $R^2 = 0,0563$. Persamaan adsorpsi BET karbon aktif kulit singkong dinyatakan pada gambar 4. Pada persamaan untuk isoterm BET pada adsorben karbon aktif komersial, yaitu $y = -3E-06x + 0,0062$ dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,3707. Hasil dari kedua karbon aktif menunjukkan nilai yang mendekati angka 1 adalah karbon aktif komersial.

Perhitungan konstanta isoterm BET dengan mencari nilai C_{BET} . C_{BET} adalah konstanta adsorpsi isoterm BET (l/mg), C_s adalah konsentrasi adsorbat jenuh pada lapisan monolayer (mg/l), q_e adalah konsentrasi adsorbat yang terjerap dalam adsorben saat setimbang (mg/g) dan q_s adalah kapasitas maksimal adsorben saat setimbang secara teoritis (mg/g) (Yustinah *et al.*, 2019). Penelitian ini, karbon aktif kulit singkong mendapatkan hasil sebesar 0,995 l/mg, dengan kapasitas maksimal adsorben saat setimbang secara teoritis (mg/g) adalah 51,22 mg/g. Pada karbon aktif komersial sebesar 1,00 l/mg, kapasitas maksimal adsorben saat setimbang secara teoritis (mg/g) adalah 161,38 mg/g.

3.5 Penentuan Model Kesetimbangan Adsorben

Penentuan model kesetimbangan dianalisis dengan mencari nilai R_2 yang paling dekat dengan angka 1 sehingga dapat diketahui model isoterm yang sesuai dari setiap karbon aktif. Penentuan ini didukung dengan menggunakan analisis untuk mencari nilai X^2 (Chi Square) yang bertujuan untuk mengonfirmasi isoterm yang cocok pada proses adsorpsi (Hasanah *et al.*, 2021). Nilai koefisien korelasi R^2 dijadikan acuan untuk menyimpulkan persamaan isoterm yang paling tepat untuk menggambarkan proses adsorpsi (Sa'diyah & Lusiani, 2022).

Tabel 2. Analisis Penentuan Model Kesetimbangan

Isoterm Langmuir				
Karbon Aktif	Q_{max}	K_L	R^2	X^2
Kulit Singkong	0,044	3,581	0,645	0,022
Komersial	-0,0018	-3,013	0,408	0,090
Isoterm Freundlich				
Karbon Aktif	n	K_F	R^2	X^2
Kulit Singkong	2,623	0,036	0,271	0,021
Komersial	-0,599	0,004	0,840	0,034
Isoterm BET				
Karbon Aktif	Q_m	K_{BET}	R^2	X^2
Kulit Singkong	51,229	0,995	0,056	0,915
Komersial	161,368	1	0,370	0,167

Berdasarkan data di atas, karbon aktif kulit singkong memiliki nilai korelasi yang mendekati 1 pada model isoterm Langmuir. Model isoterm Langmuir ini mengindikasikan adsorpsi secara kimia. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan, karena pada proses pembuatan karbon aktif menggunakan aktivasi kimia. Selain itu, sesuai dengan hasil penelitian variasi massa, penyerapan yang dilakukan homogen (setiap site memegang adsorbat) sehingga pada rentang tertentu kenaikan kapasitas adsorpsi menjadi tidak signifikan.

Isoterm karbon aktif komersial memiliki nilai yang mendekati 1 pada isoterm Freundlich. Isoterm adsorpsi Freundlich menunjukkan bahwa proses adsorpsi bersifat fisik, khususnya fisisorpsi. Jenis adsorpsi ini menghasilkan pembentukan beberapa lapisan yang menunjukkan bahwa jumlah adsorpsi yang lebih besar terjadi pada permukaan karbon aktif.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uji proksimat, nilai kandungan pada karbon aktif kulit singkong memenuhi SNI 06-3730-1995 kecuali pada kadar zat mudah menguap dan kadar karbon terikat, sedangkan nilai kandungan pada karbon aktif komersial belum memenuhi SNI 06-3730-1995 kecuali pada kadar air. Hasil dari pengujian BET, karbon aktif kulit singkong memiliki luas permukaan sebesar 151,360 m²/g, sedangkan pada karbon aktif komersial sebesar 251,648 m²/g. Hasil efisiensi removal tertinggi karbon aktif kulit singkong dengan 9 gram, waktu kontak 90 menit dengan konsentrasi logam Cd 8 ppm yaitu 95%, sedangkan pada karbon aktif komersial 96%. Model isoterm adsorpsi logam Cd karbon aktif dari limbah kulit singkong yaitu isoterm Langmuir, sedangkan isoterm karbon aktif komersial isoterm Freundlich. Penelitian

berikutnya dapat dilakukan pengujian *ultimate analysis* untuk mengetahui kandungan kimia C, H, O, N, dan partikulat dalam adsorben, serta dapat melakukan pengujian FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam partikel adsorben yang dapat mengetahui bagaimana pengaruh aktivasi terhadap gugus fungsi

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, V., Layyinah, F., Zahara, F., & Hadisantoso, E. P. (2019). Potensi Pemanfaatan Arang Tulang Ayam sebagai Adsorben Logam Berat Cu dan Cd. *Al-Kimiya*, 4(1), 31–37.
- Andamari, D. (2022). *EFEKTIFITAS ADSORBEN ARANG AKTIF DARI AMPAS KOPI UNTUK MENGURANGI KANDUNGAN KADMIUM (Cd) DALAM MEDIA AIR*.
- Apriyanti, H., Candra, I. N., & Elvinawati, E. (2018). KARAKTERISASI ISOTERM ADSORPSI DARI ION LOGAM BESI (Fe) PADA TANAH DI KOTA BENGKULU. *Alotrop*, 2(1), 14–19.
- Arifiyana, D., & Wardani, R. K. (2021). Adsorpsi Logam Kadmium dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Biosorben Kulit Pisang Mas (*Musa acuminata* colla). *Rekayasa*, 14(3), 360–366.
- Ariyani, putri. (2017). *PEMANFAATAN KULIT SINGKONG SEBAGAI BAHAN BAKU ARANG AKTIF DENGAN VARIASI KONSENTRASI NaOH DAN SUHU*. 6(1), 7–11.
- Aunurohlim, A. F. (2019). Pengaruh Pemberian Karboksimetil Kitosan (KMK). *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 8(2).
- Dwipa, I. B. M. A. (2019). *Rasio Asam Nitrat Dan Sulfat Dalam Analisis Logam*. 7, 55–60.
- Erawati, E., & Helmy, E. R. (2018). Pembuatan Karbon Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu Jati (*Tectona grandis* L.f.) (Suhu dan Waktu Karbonasi). *Urecol (University Research Colloquium)*, 105–112.
- Gova, M. A. (2019). Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Logam Berat Merkuri (Hg). *In Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 2(1), 1–14.
- Hasanah, M., Asahan, U., Suherman, S., Muhammadiyah, U., & Utara, S. (2021). PENGARUH SUHU AKTIVASI TERHADAP KARAKTERISTIK DAN MIKROSTRUKTUR KARBON AKTIF PELEPAH KELAPA SAWIT. *Balai Besar Industri Hasil Perkebunan*, June.
- Indarti, R. (2021). Uji Daya Adsorpsi Karbon Aktif dari Kulit Singkong terhadap Zat Warna. *UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG*, February, 1–77.
- Khair, R. M. (2021). PENURUNAN KONSENTRASI WARNA LIMBAH CAIR SASIRANGAN MENGGUNAKAN ADSORBENILIMBAH PADAT. LUMPUR-AKTIF TERAKTIVASI INDUSTRI KARET. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 1, 74–83.
- Kosim, M. E. (2022). Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dengan Karbon Aktif Komersil Terhadap Logam Tembaga Dalam *Jurnal Redoks*, 7, 36–47.
- Lajja, N., Faza, Z., Sains, F., Teknologi, D. A. N., Islam, U., & Walisongo, N. (2021). Adsorpsi Logam Cd (II) Menggunakan Adsorben Arang Aktif dari Kulit Buah Matoa Teraktivasi Asam Nitrat. *Skripsi*, Ii, 1–99.
- Maghfirana, C. A. (2019). Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Singkong Terhadap Logam Timbal (Pb) Menggunakan Sistem Kontinyu. *Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya*, 1–77.
- Mulana, F., Muhammad, S., Nurmaida, A. L., & Sukma, W. A. (2018). Pengaktifan Kulit Asam Jawa dengan Campuran Asam Sitrat dan Asam Tartarat untuk Penyerapan Ion Logam Cd (II). *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13(2), 135–143.
- Sa'diyah, K., & Lusiani, C. E. (2022). Kualitas Karbon Aktif Kulit Pisang Kepok Menggunakan Aktivator Kimia dengan Variasi Konsentrasi dan Waktu Aktivasi. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 6(1), 9.
- Sahara, E., Dahliani, N. K., & Manuaba, I. B. P. (2017). PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI ARANG AKTIF DARI BATANG TANAMAN GUMITIR (TAGETES ERECTA) DENGAN AKTIVATOR NaOH. *Jurnal Kimia*, 174.
- Sailah, I., Mulyaningsih, F., Ismayana, A., Puspaningrum, T., Adnan, A. A., & Indrasti, N. S. (2020). Kinerja Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dalam Menurunkan Konsentrasi Fosfat Pada Air Limbah Laundry. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(2), 180–189.
- Situmorang, T. M., & Farma, R. (2017). *PENGARUH AKTIVATOR KIMIA TERHADAP KUALITAS KARBON AKTIF DARI KULIT SINGKONG SEBAGAI BAHAN PENYERAP LOGAM BERAT*. 2.
- Suwazan, D., Nurhidayanti, N., Fahmi, A. B., & Riyadi, A. (2022). Pemanfaatan Kitosan Dan Karbon Aktif Dari Ampas Teh Dalam Menurunkan Logam Kadmium Dan Arsen Pada Limbah Industri PT X. *Jurnal Reka Lingkungan*, 10(2), 91–102.
- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 4(2), 175.
- Yustinah, Hudzaifah, Aprilia, M., & Syamsudin. (2019). Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch. *Jurnal Konversi*, 9(1), 17–28.