

Adsorpsi Logam Kadmium dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Biosorben Kulit Pisang Mas (*Musa acuminata colla*)

Djamilah Arifiyana^{1*}, Ratih Kusuma Wardani¹

¹Akademi Farmasi Surabaya

Jl. Ketintang Madya No 81 Kota Surabaya 60232 Jawa Timur

*djamilah.chemits@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i3.12391>

ABSTRACT

Mas banana (Musa acuminata Colla) peel is a type of household waste as well as agricultural waste whose utilization still needs to be improved. In addition, among various types of heavy metals that are dangerous as contaminants in the environment, cadmium metal is a metal that is very dangerous to health even in very small amounts. Therefore, this study aims to not only utilize the waste of Mas banana peel (Musa acuminata Colla) as a biosorbent, but also to determine the optimum conditions needed to reduce cadmium metal which involves several test parameters, namely stirring time, pH and mass of biosorbent. Variations of stirring time used include 10, 20, 30, 35, and 45 minutes; variations in pH used include 1, 2, 3, 4, and 5, while variations in the mass of biosorbent used include 0.5; 1; 1.5; 2 and 2.5 grams. The results showed that the optimum conditions were obtained at a mixing time of 35 minutes, pH 5, and a mass of 2 grams of biosorbent with a reduction percentage value of 78.45%. This percentage indicates that Mas banana peel can be used as a natural adsorbent for cadmium metal. In addition, the results of the FT-IR analysis of the Mas banana peel biosorbent showed that Mas banana peel has a functional group that plays a role in the heavy metal adsorption process

Key words : biosorption, Cadmium, Mas Banana peels

PENDAHULUAN

Lingkungan saat ini telah banyak dipengaruhi oleh polusi, baik udara maupun airnya. Lepasnya zat beracun dan berbahaya ke dalam sistem air telah memperparah terjadinya pencemaran. Untuk mempertahankan lingkungan yang sehat, penting bagi sektor industri yang berkontribusi terhadap polusi untuk mengolah terlebih dahulu limbahnya sebelum dilepaskan ke lingkungan. Pembuangan air olahan ke badan air sangat penting untuk menjamin keamanan biota laut (Pandharipande & Deshpande, 2013). Diantara beberapa jenis logam berat, Kadmium adalah salah satu jenis logam berat yang juga dihasilkan oleh aktivitas limbah domestik perkotaan. Salah satu dari pemanfaatan tersebut adalah penggunaan Kadmium sebagai prekursor dalam industri pembuatan cat untuk menghasilkan pigmen warna kuning, orange, dan merah. Bahkan campuran logam Nikel-Kadmium digunakan untuk produksi baterai isi ulang. Keracunan kronis Cd dapat mengakibatkan kerusakan sistem fisiologis

tubuh antara lain sistem urinaria, sistem respirasi (paru-paru), sistem sirkulasi (darah) dan jantung, kerusakan sistem reproduksi, sistem saraf bahkan dapat mengakibatkan kerusakan tulang (Baloga *et al.*, 2019).

Upaya untuk mengurangi kontaminasi logam berat yang berasal dari proses industri telah dikembangkan, yaitu melalui metode biosorpsi. Biosorpsi adalah kemampuan bahan biologis atau alami untuk mengakumulasi logam berat dari air limbah melalui ikatan kimia fisik jalur penyerapan (Hossain *et al.*, 2012). Keuntungan utama dari metode biosorpsi adalah efisiensi energi pada operasi sistem pengolahan air limbah dalam waktu yang lebih pendek, hal ini menarik secara ekonomi karena limbah biomassa tidak mahal dan tersedia secara luas (Giannakoudakis *et al.*, 2018). Dalam bioadsorpsi, penghilangan ion logam membantu dalam penggunaan biolimbah yang efektif, karena

Cite this as:

Arifiyana, D & Wardani, R.K. (2021). *Adsorpsi Logam Cadmium dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Biosorben Kulit Pisang Mas (Musa acuminata colla)*. *Rekayasa* 14 (3). 360-366.

doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i23.10300>.

© 2021 Djamilah Arifiyana

Article History:

Received: October, 5th 2021; **Accepted:** November, 29th 2021
Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

logam menempel di permukaan dari komponen biologis (Darge & Mane, 2013).

Tabel 1. Jenis Kulit Pisang yang Dimanfaatkan sebagai Adsorben untuk Adsorpsi Logam Berat

Jenis Kulit Pisang	Logam	Referensi
Kepok	Pb, Zn	Darmayanti <i>et al.</i> , (2012)
Tongka Langit	Cu	Sutapa <i>et al.</i> , (2014)
Kepok	Pb	Arninda <i>et al.</i> , (2014)
Kepok	Fe, Mn	Abdi <i>et al.</i> , (2015)
Hijau, Kepok, Susu Raja	Pb	Purnama <i>et al.</i> , (2015)
Kepok	Cu	Taralgatti (2016)
Kepok	Pb, Cr	Fauici (2017)
Kepok	Cu	Alifaturrahma & Hendriyanto (2018)
Kepok	Pb	Wardani & Wulandari (2018)
Raja	Cd, Pb	Sirilert & Maikrang (2018)

Penggunaan adsorben berupa karbon aktif telah banyak digunakan, tetapi adsorben jenis ini sangat mahal. Jika dilihat dari segi lingkungan dan ekonomi, penggunaan adsorben dari bahan alami dan merupakan limbah pertanian merupakan alternatif yang sangat menjanjikan sebagai pengganti adsorben karbon aktif komersial. Kelimpahan dan ketersediaan produk samping pertanian menjadikannya sumber bahan baku yang baik untuk bahan sorben alami. Adsorben berbiaya rendah adalah adsorben yang melimpah di alam atau merupakan produk sampingan dari limbah dari industri lain (Tabel 1).

Beberapa adsorben berbiaya rendah mampu mengkonsentrasikan spesies logam dari larutan encer dan mengakumulasi ke dalam struktur selnya (Jena & Sahoo, 2017). Dinding sel yang berpori memungkinkan molekul dan ion bergerak secara bebas dalam larutan berair. Konstituen dinding sel menyediakan berbagai ligan dengan gugus fungsi berbeda yang mampu mengikat berbagai logam berat (Gong *et al.*, 2005). Oleh karena itu, penelitian ini selain bertujuan untuk memanfaatkan limbah kulit pisang Mas (*Musa acuminata* Colla) sebagai biosorben, juga untuk mengetahui kondisi optimum yang dibutuhkan untuk mengadsorpsi logam Kadmium yang melibatkan beberapa parameter uji, yaitu waktu pengadukan, pH dan massa biosorben.

METODE PENELITIAN

Preparasi Biosorben Kulit Pisang Mas

Preparasi Biosorben pada penelitian ini diadaptasi dari penelitian yang dilakukan oleh Arifiyana & Devianti (2020). Kulit pisang Mas (*Musa acuminata* Colla) yang diperoleh disortasi kemudian

dikeringkan dibawah sinar matahari serta dilanjutkan pengeringan dalam oven (Memmert) pada temperatur 70°C. Kulit pisang Mas yang telah kering lalu dihaluskan dan diayak dalam ukuran 100 mesh. Selanjutnya, larutan logam Kadmium dipreparasi dari prekursor $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ p.a (Merck), larutan pengatur pH dibuat dari HCl 37% (Merck) dan NaOH p.a (Merck). Pengukuran konsentrasi logam berat Kadmium sebelum dan sesudah proses adsorpsi menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) (Perkin Elmer Analys 100).

Pengaruh Variasi Waktu Pengadukan

Analisis pengaruh variasi waktu pengadukan dilakukan dengan cara menimbang biosorben sebanyak 1,5 gram, kemudian ditambahkan larutan logam Kadmium 50 mg/L sebanyak 50 mL. Selanjutnya pH campuran diatur pada pH 3 dengan cara menambahkan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Campuran ini kemudian diaduk pada suhu ruang dengan magnetic stirrer pada kecepatan 100 rpm selama variasi waktu pengadukan 10, 20, 30, 35 dan 45 menit. Pada masing-masing variasi waktu kontak dilakukan replikasi sebanyak 3x. Setelah waktu kontak yang ditentukan, campuran kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan SSA, dan dihitung sebagai konsentrasi Kadmium setelah proses adsorpsi.

Pengaruh Variasi pH

Analisis pengaruh variasi pH dilakukan setelah proses variasi waktu kontak menghasilkan nilai persentase adsorpsi yang paling tinggi. Pada tahap ini, variabel kontrol dibuat sama dengan pada analisis pengaruh variasi waktu kontak, kecuali pada pengaturan pH, dimana pH campuran divariasikan pada pH 1, 2, 3, 4 dan 5, serta durasi pengadukan selama waktu kontak optimum.

Pengaruh Variasi Massa Biosorben

Analisis pengaruh variasi massa biosorben merupakan tahap terakhir pada penelitian ini, dimana pada parameter ini pengaturan waktu pengadukan dan pH larutan diambil dari hasil persentase adsorpsi tertinggi dari parameter-parameter sebelumnya. Pada tahap ini, variasi massa adsorben yang digunakan meliputi 0,5 ; 1 ; 1,5; 2; dan 2,5 gram.

Analisis Data

Logam Kadmium sebelum proses adsorpsi dihitung sebagai nilai konsentrasi logam awal (C_0) (mg/L), sedangkan konsentrasi logam Kadmium yang diperoleh dari masing-masing parameter dihitung sebagai konsentrasi akhir (C_t) (mg/L). Persentase adsorpsi selanjutnya dihitung melalui persamaan dibawah ini (Arifiyana & Devianti, 2021).

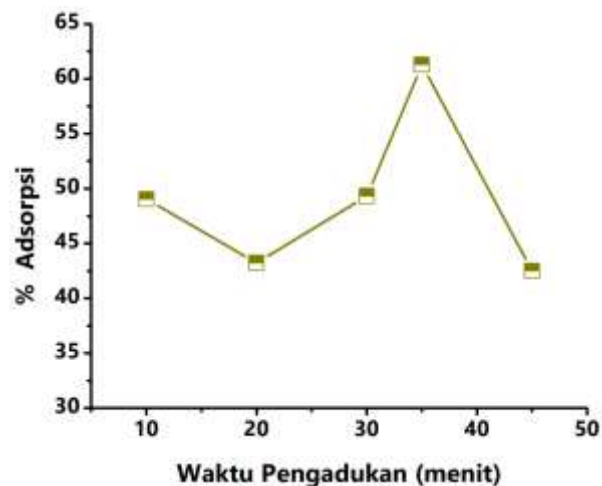
$$\% \text{ Adsorpsi} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\%$$

Hasil % Adsorpsi yang diperoleh dari masing-masing parameter selanjutnya dilakukan uji statistik menggunakan uji One-Way ANOVA, dimana jika terdapat perbedaan yang bermakna dari uji *One-Way Anova*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Variasi Waktu Pengadukan

Pengujian parameter waktu pengadukan ini didasarkan atas penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti, antara lain Anwar *et al.*, (2010); Kumari (2017). Dalam penelitian tersebut dinyatakan bahwa terdapat pengaruh waktu kontak antara adsorben dan adsorbat terhadap daya penjerapan logam kadmium pada media aqueous oleh biosorben.



Gambar 1. Hasil Pengaruh Variasi Waktu Pengadukan terhadap Adsorpsi Logam Kadmium (pH=3; massa=1,5 gram)

Variasi waktu yang diamati pada penelitian ini yaitu 10, 20, 30, 35 dan 45 menit (Gambar 1). Dasar pemilihan variasi waktu 10 menit ditentukan sebagai titik awal pengamatan karena pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Mohd Salim *et al.*, (2016); Wardani & Wulandari (2018), dimana bahwa pada waktu pengadukan

dibawah 10 menit diperoleh tingkat adsorpsi masih rendah, yaitu berkisar 40% karena diperkirakan adsorben belum sepenuhnya berinteraksi dengan adsorbat.

Hasil analisis pengaruh variasi waktu pengadukan menunjukkan bahwa persentase adsorpsi Kadmium tertinggi diperoleh pada waktu pengadukan 35 menit dengan perolehan persentase adsorpsi sebesar 61,29%. Pada rentang waktu pengadukan 10-30 menit, diperoleh nilai persentase adsorpsi yang tidak linier atau naik turun, tetapi tidak lebih tinggi dari pada waktu pengadukan 35 menit, begitu pula setelah nilai persentase adsorpsi tertinggi tercapai, yaitu pada menit ke-45 menit, persentase adsorpsi mengalami penurunan, yaitu 42,52%. Hal ini disebabkan oleh lemahnya ikatan antara biosorben dengan logam Kadmium. Mudah lepasnya ikatan adsorben dan adsorbat ini mengindikasikan bahwa ikatan yang terjadi adalah ikatan fisik. Lemahnya ikatan ini disebabkan oleh kecenderungan kuatnya ikatan antara adsorbat-adsorbat dibanding adsorbat-adsorben Purnama *et al.*, (2015). Selain itu, menurut Anwar *et al.*, (2010); Jena & Sahoo (2017), situs pengikatan pada adsorben akan segera menjadi terbatas dan situs permukaan kosong yang tersisa sulit untuk ditempati oleh ion logam karena pembentukan gaya tolak antara logam pada permukaan padatan dan fase cair.

Tabel 2. Analisis Uji *One-Way Anova* Persentase Adsorpsi pada Variasi Waktu Kontak

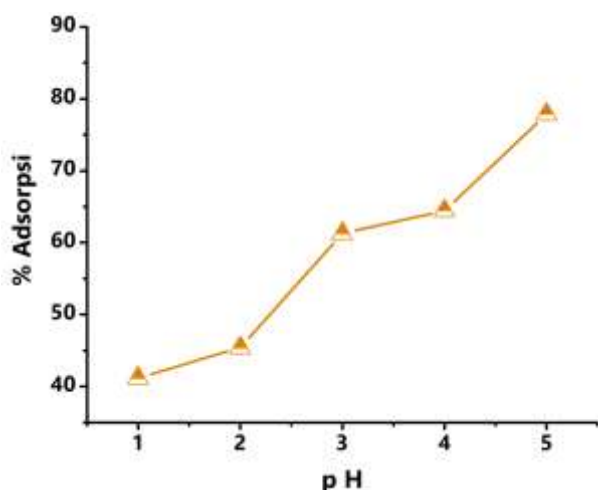
ANOVA					
Persen_Adsorpsi	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	679.111	4	169.778	9.026	.002
Within Groups	188.090	10	18.809		
Total	867.200	14			

Berdasarkan hasil uji *One-Way Anova* yang ditampilkan pada Tabel 2, diperoleh hasil bahwa perlakuan variasi waktu kontak memberikan hasil yang berbeda signifikan, hal ini disebabkan angka signifikansi yang didapatkan sebesar 0,002 (kurang dari $\alpha = 0,05$), dimana pada waktu kontak 35 menit merupakan waktu kontak yang paling memberikan hasil perbedaan yang bermakna terhadap persentase adsorpsi logam kadmium. Hasil penelitian ini mirip dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Jena & Sahoo (2017), dimana adsorpsi logam berat oleh adsorben kulit pisang mencapai kesetimbangan pada waktu pengadukan 35 menit dan tidak mengalami kenaikan lagi pada

menit ke-45. Hasil pengaruh variasi waktu pengadukan terhadap persentase adsorpsi logam Kadmium ditampilkan pada Gambar 1. Turunnya persentase adsorpsi logam Kadmium juga disebabkan oleh terjadinya desorpsi logam dari permukaan biosorben kedalam sistem (Baloga *et al.*, 2019).

Pengaruh Variasi pH

Hasil analisis pengaruh variasi pH pada adsorpsi logam berat Kadmium terhadap biosorben kulit pisang Mas (*Musa acuminata* Colla) pada waktu pengadukan 35 menit dengan pH 3 menggunakan data yang telah didapatkan sebelumnya. Pada pengaruh variasi pH, didapatkan hasil persentase adsorpsi Kadmium mengalami peningkatan dari pH 1 hingga pH 5. Kemampuan adsorpsi menunjukkan hasil 41,18% pada pH 1; 45,38% pada pH 2, 61,29% pada pH 3, 64,44% pada pH 4, dan terus meningkat pada pH 5 sebesar 83,30%. Dengan demikian pH optimum pada proses adsorpsi dengan biosorben buah pisang Mas ini adalah pH 5, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Pengaruh Variasi pH Terhadap Adsorpsi Logam Kadmium (waktu pengadukan=35 menit; massa=1,5 gram)

Tabel 3. Analisis Uji *One-Way Anova* Persentase Adsorpsi pada Variasi pH

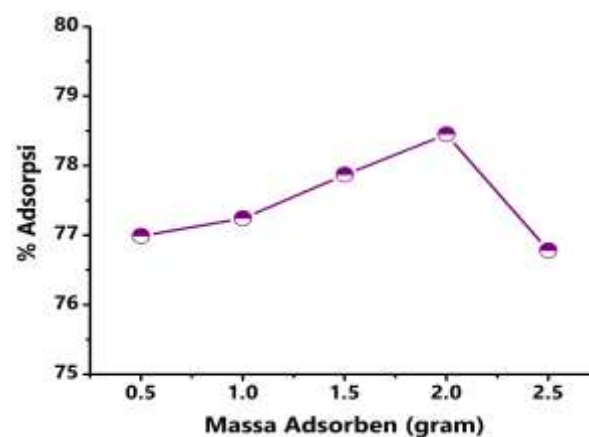
ANOVA					
Persen_Adsorpsi	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2667.248	4	666.812	1854.106	.000
Within Groups	3.596	10	.360		
Total	2670.844	14			

Pengaturan variasi pH pada penelitian ini dilakukan pada daerah asam karena pada kondisi

asam afinitas kulit pisang sebagai biosorben terhadap ion logam meningkat (Anwar *et al.*, 2010). Nilai persentase adsorpsi pada masing-masing variasi dilakukan analisis dengan uji *One-Way Anova*. Berdasarkan hasil uji *One-Way Anova* yang ditampilkan pada Tabel 3. diperoleh hasil bahwa perlakuan variasi pH larutan memberikan hasil sangat berbeda signifikan, hal ini disebabkan angka signifikansi yang didapatkan sebesar 0,000 (kurang dari $\alpha = 0,05$). Dengan demikian semua perlakuan pH berpengaruh terhadap persentase adsorpsi, dimana pada pH 5 merupakan nilai pH dengan hasil persentase adsorpsi logam kadmium paling tinggi. Peningkatan persentase adsorpsi Kadmium terjadi seiring dengan bertambahnya nilai pH campuran, hal ini merupakan akibat dari rendahnya persaingan antara H⁺ dan kation logam untuk menempati sisi aktif pada adsorben pada kondisi pH yang lebih tinggi.

Pengaruh Variasi Massa Biosorben

Pengujian variasi massa biosorben dilakukan untuk mengetahui pengaruh massa biosorben pada proses penjerapan Kadmium oleh biosorben kulit pisang Mas (*Musa acuminata* Colla). Pengujian ini didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain Anwar *et al.*, (2010); Deshmukh *et al.*, (2017), yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh massa biosorben terhadap persentase adsorpsi Kadmium. Variasi massa yang digunakan yaitu 0,5 ;1 ; 1,5; 2; dan 2,5 gram.



Gambar 3. Hasil Pengaruh Variasi Massa Adsorben Terhadap Adsorpsi Logam Kadmium (waktu pengadukan=35 menit; pH=5)

Dasar pemilihan variasi massa pada penelitian ini adalah penelitian yang telah dilakukan oleh Jasem (2015) yang menggunakan adsorben kulit pisang,

adsorpsi terhadap logam kadmium pada penelitian tersebut menggunakan variasi massa 0,5; 1; 2; 3; dan 4 gram (Gambar 3).

Nilai persentase adsorpsi yang dihasilkan dari perlakuan variasi massa dianalisis dengan uji *One-Way Anova* (Tabel 4). Berdasarkan uji tersebut, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,092 (lebih dari $\alpha = 0,05$), hasil ini menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan perlakuan variasi massa adsorben terhadap persentase adsorpsi. Meski demikian, penyerapan oleh massa biosorben yang berbeda-beda berdampak pada luas permukaan biosorben.

Tabel 4. Analisis Uji *One-Way Anova* Persentase Adsorpsi pada Variasi Massa Adsorben

ANOVA					
Persen_Adsorpsi	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.604	4	1.401	2.704	.092
Within Groups	5.181	10	.518		
Total	10.785	14			

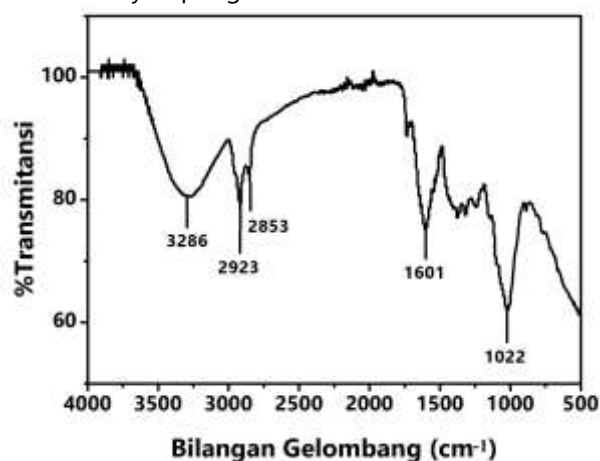
Pada penelitian ini hasil persentase tertinggi dicapai pada penggunaan massa adsorben 2 gram dengan perolehan persen adsorpsi sebesar 78,45% dan mengalami penurunan persen adsorpsi pada massa 2,5 gram yaitu sebesar 76,78%. Hasil penelitian ini mirip dengan penelitian Al-Homaidan *et al.*, (2015); Jasem (2015); Waseem *et al.*, (2014) yang menunjukkan massa optimum yang diperoleh pada penggunaan adsorben sebanyak 2 gram pada sampel larutan logam Kadmium.

Seperti penelitian yang dilakukan oleh Waseem *et al.* (2014) dengan variasi massa sebesar 0,5 sampai 5 gram dalam larutan logam 50 mL, dimana hasil adsorpsi optimum diperoleh pada penggunaan adsorben sebanyak 2 gram dengan perolehan persentase adsorpsi sebesar 75,96%, setelah mencapai persentase adsorpsi maksimum, selanjutnya pada massa adsorben yang lebih besar persentase adsorpsi mengalami penurunan. Peningkatan persentase adsorpsi diawal, seiring dengan bertambahnya massa adsorben disebabkan oleh semakin besarnya luas permukaan adsorben yang berkorelasi dengan melimpahnya sisi aktif adsorben, tempat terikatnya ion logam pada permukaan adsorben. Tetapi setelah mencapai titik optimum, pada peningkatan massa biosorben lebih lanjut, pengikatan ion Kadmium mengalami penurunan, hal ini disebabkan oleh terjadinya tumpang tindih atau agregasi pada permukaan biosorben yang menyebabkan penurunan luas

permukaan total biosorben (Anwar *et al.*, 2010; Jasem, 2015).

Karakterisasi Biosorben dengan FT-IR

Gambar 4 dibawah ini merupakan hasil analisis biosorben limbah kulit pisang menggunakan metode spektrofotometri FT-IR. Dari spektra IR tersebut menunjukkan pita serapan di sekitar bilangan gelombang 3286 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi gugus hidroksil (-OH). Menurut Kwikima *et al.*, (2021), limbah pertanian terdiri dari lignoselulosa dengan selulosa, hemiselulosa dan lignin. Tiga senyawa tersebut memiliki gugus fungsi hidroksil (-OH) yang melimpah dan dapat mengikat kation logam berat dalam larutan. Puncak pada daerah 2923 dan 2853 cm^{-1} menunjukkan serapan gugus alkil (C-H) alifatik (Kosasih *et al.*, 2010). Gugus tersebut merupakan gugus penyusun struktur lignoselulosa. Hasil tersebut diperkuat dengan adanya pita serapan vibrasi gugus eter (C-O) pada daerah 1601 cm^{-1} yang merupakan penghubung rantai karbon dalam senyawa lignoselulosa pada biosorben limbah kulit pisang. Pada bilangan gelombang 1022 cm^{-1} menunjukkan serapan vibrasi C=C aromatis yang tumpang tindih dengan gugus karboksil dari asam karboksilat yang merupakan kerangka pembangun hemiselulosa (Siringo-Ringo, 2019). Hemiselulosa merupakan komponen terbesar dalam limbah kulit pisang. Senyawa hemiselulosa mempunyai gugus karboksil (COO-) yang merupakan gugus aktif yang dapat berperan dalam menyerap logam berat dalam larutan.



Gambar 4. Hasil Spektrum FT-IR Biosorben Kulit Pisang

KESIMPULAN

Pemanfaatan limbah kulit pisang Mas (*Musa acuminata* Colla) sebagai biosorben terbukti mampu mengadsorpsi logam Kadmium dengan nilai persentase adsorpsi tertinggi sebesar 78,45%. Kondisi operasi terhadap perolehan persentase tersebut meliputi waktu pengadukan selama 35 menit, pH 5 dan penggunaan massa biosorben sebesar 2 gram. Kondisi operasi ini dapat dianggap sebagai simulasi yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi operasi untuk adsorpsi logam Kadmium dalam limbah buangan pabrik yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, C., Khair, R. M., & Saputra, D. M. W. (2015). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* L.) sebagai Karbon Aktif untuk Pengolahan Air Sumur Kota Banjarbaru: Fe dan Mn. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1), 8–15.
- Al-Homaidan, A. A., Alabdullatif, J. A., Al-Hazzani, A. A., Al-Ghanayem, A. A., & Alabbad, A. F. (2015). Adsorptive removal of cadmium ions by *Spirulina platensis* dry biomass. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(6), 795–800. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.06.010>
- Alifaturrahma, P., & Hendriyanto, O. (2018). Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok sebagai Adsorben untuk Menyisihkan Logam Cu. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(2), 105–111.
- Anwar, J., Shafique, U., Waheed-uz-Zaman, Salman, M., Dar, A., & Anwar, S. (2010). Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana. *Bioresource Technology*, 101(6), 1752–1755. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.021>
- Arifiyana, D., & Devianti, V. A. (2020). Biosorpsi Logam Besi (Fe) dalam Media Limbah Cair Artifisial Menggunakan Adsorben Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*). *Jurnal Kimia Riset*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.20473/jkr.v5i1.20245>
- Arifiyana, D., & Devianti, V. A. (2021). Biosorption of Fe (II) Ions from Aqueous Solution Using Kepok Banana Peel (*Musa Acuminata*). *Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia (JKPK)*, 6(2), 206–215. <https://doi.org/10.1063/5.0043112>
- Arninda, A., Sjahrul, M., & Zakir, M. (2014). Adsorpsi Ion Logam Pb(II) dengan Menggunakan Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca* Linn). *Indonesia Chimica Acta*, 7(2), 21–26.
- Baloga, H., Walanda, D. K., & Hamzah, B. (2019). Pembuatan Arang dari Kulit Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) Sebagai Adsorben Terhadap Kadmium dan Nikel Terlarut. *Jurnal Akademika Kimia*, 8(February), 28–33. <https://doi.org/10.22487/j24775185.2019.v8.i1.2349>
- Darge, A., & Mane, S. J. (2013). Treatment of Industrial Wastewater by using Banana Peels and Fish Scales. *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online Index Copernicus Value Impact Factor*, 14(7), 2319–7064. Retrieved from www.ijsr.net
- Darmayanti, D., Rahman, N., & Supriadi, S. (2012). Adsorpsi Timbal (Pb) dan Zink (Zn) dari Larutannya Menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Kepok Berdasarkan Variasi pH. *Jurnal Akademika Kimia*, 1(4), 159–165.
- Deshmukh, P. D., Khadse, G. K., Shinde, V. M., & Labhassetwar, P. (2017). Cadmium Removal from Aqueous Solutions Using Dried Banana Peels as An Adsorbent: Kinetics and Equilibrium Modeling. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 08(03), 1–7. <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000395>
- Faucci, M. (2017). *Adsorpsi Ion Pb (II) dan Cr (VI) Menggunakan Arang Kulit Pisang Kepok (Musa paradisiaca Linn) pada Limbah Cair Industri (Studi Kasus PT. SERMANI STEEL)*. Universitas Hasanudin.
- Giannakoudakis, D. A., Hosseini-Bandegharai, A., Tsafrakidou, P., Triantafyllidis, K. S., Kornaros, M., & Anastopoulos, I. (2018). Aloe vera waste biomass-based adsorbents for the removal of aquatic pollutants: A review. *Journal of Environmental Management*, 227(August), 354–364. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.064>
- Gong, R., Ding, Y., Liu, H., Chen, Q., & Liu, Z. (2005). Lead biosorption and desorption by intact and pretreated spirulina maxima biomass. *Chemosphere*, 58(1), 125–130. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.08.055>
- Hossain, A., Ngo, H., Guo, W., & Nguyen, V. (2012).

- Biosorption of Cu(II) From Water by Banana Peel Based Biosorbent: Experiments and Models of Adsorption and Desorption*. 2(1), 87–104.
- Jasem, N. A. (2015). Removal of Copper(II) and Cadmium(II) ions from Aqueous Solutions Using Banana Peels and Bentonite Clay as Adsorbents. *Journal of Engineering and Development*, 19(4), 49–68.
- Jena, S., & Sahoo, R. K. (2017). Removal of Pb (II) from Aqueous Solution Using Fruits Peel as a Low Cost Adsorbent. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 5(1), 5–13.
- Kosasih, A. N., Febrianto, J., Sunarso, J., Ju, Y. H., Indraswati, N., & Ismadji, S. (2010). Sequestering of Cu(II) from aqueous solution using cassava peel (*Manihot esculenta*). *Journal of Hazardous Materials*, 180, 366–374. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.040>
- Kumari, P. (2017). a Low Cost Material , Banana Peel for the Removal of Lead (II) From Aqueous Solutions. *International Research Journal of Engineering and Technology(IRJET)*, 4(6), 1404–1406. Retrieved from <https://irjet.net/archives/V4/i6/IRJET-V4I6257.pdf>
- Kwikima, M. M., Mateso, S., & Chebude, Y. (2021). Potentials of agricultural wastes as the ultimate alternative adsorbent for cadmium removal from wastewater. A review. *Scientific African*, 13, e00934. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00934>
- Mohd Salim, R., Khan Chowdhury, A. J., Rayathulhan, R., Yunus, K., & Sarkar, M. Z. I. (2016). Biosorption of Pb and Cu from aqueous solution using banana peel powder. *Desalination and Water Treatment*, 57(1), 303–314. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1091613>
- Pandharipande, S., & Deshpande, R. (2013). *Synthesis & Effectiveness Study Of Banana Peel Adsorbent & Artificial Neural Network Modeling In Removal Of Cu (II) Ions From Aqueous Solution*. 3(6), 730–734.
- Purnama, P. E., Dewi, I. G. A. K. S. P., & Ratnayani, K. (2015). Kapasitas Adsorpsi Beberapa Jenis Kulit Pisang Teraktivasi Naoh Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Jurnal Kimia*, 9(2), 196–202.
- Sirilert, M., & Maikrang, K. (2018). Adsorption Isotherm of Some Heavy Metals in Water on Unripe and Ripe Peel of Banana. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, 26(1), 128–141. Retrieved from www.journal.nu.ac.th/NUJST/article/view/1741/1239 -
- Siringo-Ringo, E. P. (2019). *Pengaruh Waktu Kontak, pH dan Dosis Adsorben Dalam Penurunan Kadar Pb Dan Cd Menggunakan Adsorben Dari Kulit Pisang*. Universitas Sumatra Utara.
- Sutapa, I. W., Siahay, V. P. D., & Tanasale, M. F. J. D. P. (2014). Adsorpsi Ion Logam Cu²⁺ Pada Pektin Dari Kulit Pisang Tongka Langit (*Musa Speices van Balbisiana*). *Ind.J.Chem.Res*, 1(January), 72–77.
- Taralgatti, P. D. (2016). Removal of copper from Waste water by using potato and banana peels as bio-adsorbent. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, 5(10), 2278–7798. Retrieved from <http://ijsetr.org/wp-content/uploads/2016/10/IJSETR-VOL-5-ISSUE-10-3038-3040.pdf>
- Wardani, G. A., & Wulandari, W. T. (2018). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*) sebagai Biosorben Ion Timbal(II). *Jurnal Kimia VALENSI*, 4(2), 143–148. <https://doi.org/10.15408/jkv.v4i2.6918>
- Waseem, S., Din, M. I., Nasir, S., & Rasool, A. (2014). Evaluation of *Acacia nilotica* as a non conventional low cost biosorbent for the elimination of Pb(II) and Cd(II) ions from aqueous solutions. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(6), 1091–1098. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.03.020>