

INOVASI MATERIAL ADSORBEN RAMAH LINGKUNGAN BERBASIS NANOTEKNOLOGI DARI LIMBAH KULIT PISANG

Khairiah¹⁾
Kerista Sebayang²⁾
Perdinan Sinuhaji³⁾
Erna Tarigan⁴⁾
Jafri Haryadi⁵⁾

Universitas Muslim Nisantara Al-Washliyah
Jl. Garu 2 No. 93 Medan, Sumatera Utara
E-mail: khairiahlubis@umnaw.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan inovasi material adsorben dari limbah kulit pisang berbasis teknologi nano untuk meremediasi air tercemar logam berat Pb, Mn, Fe dan Zn. Telah dilakukan pengukuran dari sampel karbon aktif limbah kulit pisang dengan menggunakan Pengujian kualitas air terhadap kadar Pb, Mn, Fe dan Zn dengan Atomic absorption Spectrophotometer (AAS). Didapatkan hasil pengukuran %adsorpsi ion logam berat mempunyai urutan dari yang terbesar hingga terkecil adalah sebagai berikut : %Fe> %Zn> %Mn> dan %Pb pada suhu kamar(27°). Hal ini dikarenakan jari – jari ion Fe paling kecil diantara keempat ion logam berat tersebut sehingga mobilitas ion Mn memiliki % adsorpsi paling besar. Sehingga pemilihan sampel yang paling baik ditentukan seberapa besar nilai % adsorpsinya kemudian dilakukan karakterisasi pada sampel nanokristal karbon aktif limbah kulit pisang yakni sampel dengan waktu kontak 150 menit, kecepatan pengadukan 200 rpm dan pH 6. Jari jari ion Fe adalah 126 pm, Mn adalah 140 pm, Pb adalah 180 pm dan Zn adalah 131 pm.

Kata Kunci : Inovasi material, adsorpsi, Kulit Pisang, Logam berat, Air Tercemar

Abstract

This research was conducted to produce an innovative adsorbent material from banana peel waste based on nano technology to remediate water contaminated with heavy metals Pb, Mn, Fe and Zn. Measurements of activated carbon samples from banana peel waste have been carried out using water quality testing for Pb, Mn, Fe and Zn levels with Atomic absorption Spectrophotometer (AAS). The results of the measurement of the adsorption of heavy metal ions in the order from the largest to the smallest are as follows: %Fe> %Zn> %Mn> and %Pb at room temperature (27o). This is because the radius of the Fe ion is the smallest among the four heavy metal ions so that the mobility of the Mn ion has the largest % adsorption. So that the selection of the best sample is determined how much the adsorption % value is then characterization is carried out on the nanocrystal sample of activated carbon banana peel waste, namely the sample with a contact time of 150 minutes, stirring speed of 200 rpm and pH 6. The ion radius of Fe is 126 pm, Mn is 140 pm, Pb is 180 pm and Zn is 131 pm.

Keywords: Material innovation, Adsorption, Banana Peel, Heavy Metal, Polluted Water

1. PENDAHULUAN

Perkembangan kasus akibat wabah covid 19 terus meningkat di seluruh dunia khususnya Indonesia. Pola hidup sehat dituntut untuk menjaga imun tubuh manusia, termasuk asupan air bersih. Air

merupakan kebutuhan yang sangat vital bagi kehidupan manusia [1] [2]. Pengadaan air bersih dan sehat di Indonesia khususnya untuk skala yang besar masih terpusat di daerah perkotaan. Pencemaran air di Indonesia bahkan dunia

juga merupakan masalah yang cukup serius dan membutuhkan perhatian serta penanggulangan. Limbah yang sangat berbahaya mencemari ekosistem air adalah limbah logam berat. [3] Logam berat berbahaya bagi makhluk hidup karena mengandung racun dan bersifat karsinogenik. Salah satunya adalah logam berat Timbal (Pb). Tingginya aktivitas industri yang menyebabkan timbal menjadi pencemar. Walau dalam konsentrasi yang rendah logam berat ini dapat merusak kesehatan. Untuk itu perlu dilakukan penanggulangan untuk dapat memulihkan kembali air tersebut menjadi air yang layak pakai atau melakukan remediasi air tercemar. [4] [5] Salah satu metode yang paling baik adalah metode adsorpsi. Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan suatu substansi pada permukaan zat padat. Pada fenomena adsorpsi, terjadi gaya tarik-menarik antara substansi terserap dan penyerapnya. Dalam sistem adsorpsi, fasa teradsorpsi dalam solid disebut adsorbat sedangkan solid tersebut adalah adsorben. [6] [7] Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang. Adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif adalah metode yang cukup menjanjikan karena metodenya sederhana dan kinerjanya tinggi. Teknik adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif sudah banyak dilakukan untuk meremediasi air tercemar dengan memanfaatkan limbah pasca panen seperti karbon aktif dari jerami padi, cangkang kelapa sawit, bambu, tongkol jagung dan tempurung kelapa serta kulit pisang. [8][9] Namun kulit pisang masih sedikit yang mengembangkannya karena teksturnya yang lunak dan banyak mengandung air. [10] [11] Di sisi lain kandungan kulit pisang seperti sulfur, nitrogen dan asam karboksilat yang berpotensi digunakan untuk meremediasi air tercemar. Kulit pisang disintesis menjadi karbon aktif yang akan mengikat logam berat timbal

(Pb). Metode sintesis karbon aktif telah banyak dikembangkan. [12][13] Menurut data BPS (Badan Pusat Statistik) Indonesia, produksi buah pisang terus meningkat setiap tahunnya dan pada tahun 2018 produksi buah pisang mencapai 7.006.645 ton. [14][15] Produksi pisang di Sumatera Utara (931.358 ton pada tahun 2018) menduduki peringkat ketiga terbesar di Indonesia setelah Jawa Barat dan Jawa Timur (1.313.935 dan 1.082.070 ton). [16][17][18] Karbon aktif kulit pisang diduga dapat menghasilkan nilai adsorpsi yang tinggi jika dibandingkan material lain seperti material silika yang mana bisa digunakan hingga 15 kali remediasi. Menurut sudher kumar, karbon aktif kulit pisang digabung dengan kulit tempurung, kulit jeruk menggunakan asam H_3PO_4 dengan kecepatan pengdukan 120 rpm, selama 1 jam menghasilkan penghapusan logam berat 79% [19] [20]. Santos singh karbon aktif kulit pisang dapat menghapus Rhodamin B dengan konsentrasi penghilangan 85.9%. [21] [22] Untuk penghapusan logam berat tembaga oleh karbon aktif kulit pisang dengan menggunakan asam H_2SO_4 telah dilaporkan oleh M.A.Hossain dengan konsentrasi awal logam berat tembaga adalah 71.42 mg/g dan dapat dihilangkan sebesar 27.78 mg/g. Pada penelitian ini akan dilakukan inovasi pada material adsorben dari limbah kulit pisang dengan metode suhu tinggi dengan kombinasi perlakuan HEM selama 24 jam untuk menghasilkan butiran yang halus dan mendapatkan hasil penghilangan yang maksimal untuk remediasi logam berat Pb

2. METODE

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen. Menghilangkan kotoran kotoran yang menempel pada kulit pisang (3 kg) dengan aquades. [21][22] Kemudian memotong kecil (2 cm) dan mengeringkan kulit pisang di bawah terik matahari untuk mengurangi kadar air selama 7 hari. Menghaluskan dengan lumpang dan alu, kemudian

mengayaknya dengan ayakan 200 mesh, lalu menghaluskan kembali dengan blender. Kemudian melakukan pengarangan di furnace pada suhu 700°C selama 3 jam. [23] Selanjutnya hasil pengarangan diaktivasi kimia dengan menggunakan larutan HCl pekat 25% (disintesis dengan bahan kimia pendukung lainnya). Kemudian dicuci dengan aquades sampai pH netral dan mengeringkannya di oven selama 1 jam. [28] [4]Lalu serbuk yang terbentuk diberi perlakuan dengan HEM (*High Energy Milling*) selama 24 jam dengan kecepatan 200 rpm. Nano karbon dari kulit pisang yang sudah terbentuk dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*), XRD (*X-Ray Diffraction*) BET (*Brunauer, Emmet, dan Teller*) dan AAS (*Atomic Adsorbition Spectroscopy*). Untuk perhitungan ukuran kristal dengan menggunakan persamaan scherer grain size yakni [23]

$$S = \frac{0,9\lambda}{B\cos\theta} \quad (1)$$

dengan : S = crystal size
size (nm)

λ = wavelength (

A).

B = FWHM (full
width half maximum)(rad)

θ = angle with high
intensity(°)

Untuk pengujian adsorben dilakukan dengan memasukkan karbon aktif kulit pisang ke dalam 50 ml air tercemar logam berat (Pb) dengan variasi massa karbon aktif kulit pisang 0.5 g, 1.0 g, 1.5 g, dan 2.0 g kemudian variasi kecepatan pengadukan 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, 200 rpm dan 250 rpm, dengan suhu 70°C dan waktu kontak 60 menit. Kemudian menyaring dengan kertas saring unntuk melakukan analisis kadar Pb di dalam air tecemar yang sudah terserap oleh karbon aktif kulit pisang [30]

$$\%Penghilangan = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

(2)

Dimana C_o = Konsentrasi awal Pb

C_e = Kosentrasi akhir Pb

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses adsorpsi yang dilakukan pada tahap ini sama halnya dengan proses yang dilakukan pada magnetik Fe₃O₄. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kualitas yang optimal dari kedua material tersebut agar dapat digunakan sebagai nanoadsorben gabungan pada produk akhirnya. Adapun pada tahap ini material adsorben yang digunakan adalah nanokristal karbon aktif kulit pisang tanpa tambahan material lain yang dimasukkan ke dalam air tercemar untuk melihat seberapa besar pengaruhnya terhadap penghilangan logam berat. Hasil % adsorpsi yang diperoleh pada uji karakterisasi dengan AAS ini dilihat dari tingkat keasaman dan waktu kontak adalah sebagai berikut pada Tabel 5.1 dan 5.2

Tabel 1. % Adsorpsi logam berat berdasarkan waktu kontak adsorpsi dengan menggunakan nanokristal karbon aktif kulit pisang

Waktu Kontak (menit)	% Adsorpsi			
	Zn	Fe	Mn	Pb
30	20,14	27,36	11,12	15,15
60	29,23	33,48	18,46	26,44
90	35,29	37,72	22,59	29,19
120	47,28	47,85	36,28	33,11
150	50,17	57,69	47,92	44,94
180	51,45	53,09	49,62	47,13
210	51,96	52,11	50,03	48,45
240	50,75	50,67	50,72	49,15

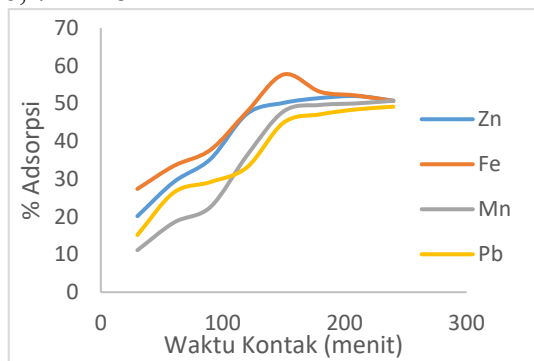
Dengan konsentrasi awal logam berat Fe, Mn, Zn dan Pb (1.351, 1.210, 17.403, dan 0.17mg/L) pH 6 dengan volume air tercemar 50 mL, kecepatan pengadukan 200 rpm dan massa adsorben 0.5 g untuk masing-masing waktu kontak 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 dan 240 menit.

Tabel 2. % Adsorpsi logam berat berdasarkan tingkat keasaman adsorpsi dengan menggunakan nanokristal karbon aktif kulit pisang

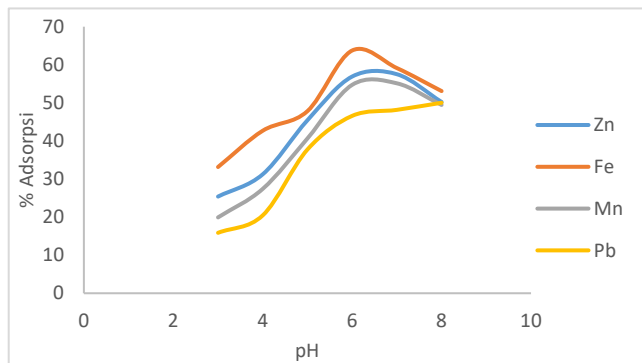
pH	% Adsorpsi			
	Zn	Fe	Mn	Pb

3	25,39	33,15	19,92	15,87
4	31,24	42,68	27,41	20,45
5	45,43	47,83	40,65	37,75
6	56,91	63,75	54,73	46,58
7	57,52	59,13	55,13	48,16
8	50,23	53,09	49,45	50,02

Dengan konsentrasi awal logam berat Fe, Mn, Zn dan Pb (1.351, 1.210, 17.403, dan 0.17mg/L) pH 6 dengan volume air tercemar 50 mL, kecepatan pengadukan 200 rpm, waktu kontak 120 menit dan massa adsorben 0.5 g untuk masing-masing tingkat keasaman 3, 4, 5, 6, 7 dan 8



Gambar 1. Grafik Hubungan % Adsorpsi dengan waktu kontak dengan menggunakan nanokristal limbah kulit pisang



Gambar 2. Grafik Hubungan % Adsorpsi dengan pH dengan menggunakan nanokristal limbah kulit pisang

Dari tabel dan grafik hubungan antara waktu kontak dan tingkat keasaman dan % adsorpsi logam berat yang terserap diperoleh waktu optimum sebesar 150 menit dan tingkat keasaman 6. Berbeda dengan magnetik Fe₃O₄ yang hanya memerlukan waktu 120 menit, nanokristal karbon aktif kulit pisang pada saat 120 menit masih belum terpisah secara

maksimal sehingga waktu untuk pengamatan ditambah sampai 240 menit. Begitu juga dengan tingkat keasamannya, dimulai dari pH 3 karena ingin melihat ketahanan materialnya terhadap keasamaan. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa %adsorpsi ion logam berat mempunyai urutan dari yang terbesar hingga terkecil adalah sebagai berikut : %Fe> %Zn> %Mn> dan %Pb pada suhu kamar(27°). (Annadurai, Juang, and Lee 2018)(Oyewo, Onyango, and Wolkersdorfer 2016). Hal ini dikarenakan jari – jari ion Fe paling kecil diantara keempat ion logam berat tersebut sehingga mobilitas ion Mn memiliki % adsorpsi paling besar. Sehingga pemilihan sampel yang paling baik ditentukan seberapa besar nilai % adsorpsinya kemudian dilakukan karakterisasi pada sampel nanokristal karbon aktif limbah kulit pisang yakni sampel dengan waktu kontak 150 menit, kecepatan pengadukan 200 rpm dan pH 6. Jari jari ion Fe adalah 126 pm, Mn adalah 140 pm, Pb adalah 180 pm dan Zn adalah 131 pm.

Penjelasan secara umum mekanisme adsorpsi ion logam berat oleh adsorben biomassa diadsorpsi dari mekanisme katalis heterogen berlangsung fase larutan yang dikenal dengan mekanisme Rideal-Eley-Langmuir-Hinshelwood yang terdiri dari lima tahapan sebagai berikut : tahapan sebagai berikut yakni (Mtshatsheni, Ofomaja, and Naidoo 2019)

- **Tahap 1** : proses difusi atau transfer massa ion logam berat dari fase bulk yang mempunyai konsentrasi yang lebih besar menuju ke permukaan adsorben yang umumnya berlangsung cepat atau kadang juga berlangsung lambat.
- **Tahap 2** : pada tahap ini terjadi proses chemisoption atau physical sorption dan ion - ion logam berat pada permukaan adsorben, tahap ini umumnya berlangsung cepat.

- **Tahap 3** : terjadi reaksi atau interaksi kimia antara ion logam berat dengan gugus -gugus aktif yang mengandung atom-atom donor pasangan atom bebas dari komponen adsorben. Tahap ini umumnya berlangsung lambat dari pada tahap lainnya.
- **Tahap 4** : desorpsi adsorbet ion logam berat yang terikat pada gugus aktif dari adsorben (jika jenis adsorpsinya adalah physical sorption). Tahap ini berlangsung cepat

Pergerakan molekul – molekul adsorbat ion logam berat berlangsung secara acak atau random pada proses difusi tersebut. Seberapa jauh lintasan atau jarak yang ditempuh oleh adsorbat ion logam berat yang bergerak secara random dalam kurun waktu t. Diasumsikan jari – jari pelarut lebih besar daripada jari jari adsorbat ion logam berat. Maka diantara keempat jenis ion logam berat tersebut, ion Mn yang paling mudah mengalami fenomena difusi dalam mekanisme adsorpsi ion logam berat oleh adsorben karbon aktif kulit pisang. Disamping itu ion logam berat yang memiliki jari –jari ion yang lebih kecil memiliki mobilitas ionik yang lebih besar dari pada ion logam berat dengan jari – jari ion lebih besar.(Rukayat and Usman 2021)(Dave and Chopda 2014)

4. KESIMPULAN

- Struktur dari karbon aktif limbah kulit pisang bersifat kristalin bukan amorf. Komposisi fasa yang terkandung terlihat dari 3 puncak dari sampel serbuk limbah kulit adalah Carbon (100) sebanyak 95,5% dan sisanya adalah Silikat (85) dan Kalium (75)
- Hasil dari setelah ditambahkan material karbon ke dalam air tanah tersebut adalah kadar Fe dengan variasi massa karbon aktifnya terlihat bahwa material karbon aktif dari limbah kulit pisang ini dapat menurunkan kadar logam Fe dalam

air. Dimana nilai maksimum ada pada massa 1,5 g. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak massa karibon aktif yang ditambahkan pada air tercemar maka semakin menurunkan kadar logam Fe secara signifikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- A. H. Jawad, R. A. Rashid, M. Azlan, M. Ishak, and K. Ismail, “Adsorptive removal of methylene blue by chemically treated cellulosic waste banana (*Musa sapientum*) peels banana (*Musa sapientum*) peels,” *J. Taibah Univ. Sci.*, vol. 3655, 2018.
- B. H. P. Dini Fatmi, “Studi Efektifitas Limbah Kulit Pisang (*Musa Acuminata*) Sebagai Biosorben Logam Berat Seng (Zn),” *MENARA Ilmu*, vol. XII, no. 9, pp. 40–50, 2018.
- C. Tejada-tovar, A. Dar, and A. Villabona-ortiz, “Characterization of Residual Biomasses and Its Application for the Removal of Lead Ions from Aqueous Solution,” *Appl. Sci.*, 2019.
- C. R. Silva *et al.*, “Banana peel as an adsorbent for removing atrazine and ametryne from waters,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 61, no. 10, pp. 2358–2363, 2013.
- C. Tejada-Tovar, A. Gonzalez-Delgado, and A. Villabona-Ortiz, “Comparison of banana peel biosorbents for the removal of Cr (VI) from water,” *Contemp. Eng. Sci.*, vol. 11, no. 21, pp. 1033–1041, 2018.
- E. Bibaj *et al.*, “Activated carbons from banana peels for the removal of nickel ions,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, no. May, 2018.
- E. M. Gultom and M. T. Lubis, “Aplikasi Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivator H 3 Po 4 Untuk Penyerapan Logam Berat Cd Dan Pb,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 3, no. 1, pp. 5–10, 2014.

- F. M. Machado and S. B. Fagan, “Carbon Nanoadsorbents Density of States,” *Springer Int. Publ. Switz.*, 2015.
- H. G. A. R.A. Olaoye, O. D. Afolayan, O. I. Mustapha, “The Efficacy of Banana Peel Activated Carbon in the Removal of Cyanide and Selected Metals from Cassava Processing Wastewater The Efficacy of Banana Peel Activated Carbon in the Removal of Cyanide and Selected Metals from Cassava Processing Wastewater,” *Adv. Res.*, no. August, 2018.
- J. H. Khairiah, “Potential Banana Husk Waste (Musa Paradisiaca) For An Adsorbent,” *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 9, no. 03, pp. 1601–1604, 2020.
- J. H. Khairiah, “Pengaruh Suhu dan Lama Aktivasi Carbon Black Kulit Pisang Terhadap Kadar Abu dan Hasil Karbonisasi,” in *Prosiding Seminar Nasional dan Expo II Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UMN Alwashliyah*, 2019, pp. 1081–1085.
- J. H. Khairiah, “Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Nilai Efisiensi Adsorben Dari Limbah Kulit Pisang,” in *Prosiding Seminar Nasional dan Expo Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UMN Alwashliyah*, 2019, pp. 556–559.
- J. Abdulfatai, A. A. Saka, A. S. Afolabi, and O. Micheal, “Development of adsorbent from banana peel for wastewater treatment,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 248, no. December, pp. 310–315, 2013.
- K. Ahmad and E. Yuliwati, “Adsorption Analysis of Activated Carbon from Rice Husk and Kepok Banana (Saba Banana) Peel for Treating Ogan River Water,” *Chem. J. Tek. Kim.*, vol. 7, no. 2, pp. 159–167, 2020.
- M. A. Hossain, H. H. Ngo, W. S. Guo, and T. V Nguyen, “Removal of Copper from Water by Adsorption onto Banana Peel as Bioadsorbent,” *Int. J. GEOMATE*, pp. 227–234, 2012.
- M. H. W Astuti, Megawati, MA Mahardhika, DA Putri, M Rohman, MF Sihab, T Sulistyaningsih, “Application of kepok banana peel activated carbon prepared by conventional and microwave heating for malachite green adsorption Application of kepok banana peel activated carbon prepared by conventional and microwave heating for malachite green adsorption,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. Pap.*, 2019.
- M. E. A. El-sayed, “Nanoadsorbents for water and wastewater remediation,” *Sci. Total Environ.*, vol. 739, p. 139903, 2020.
- M. Negroiu *et al.*, “Novel Adsorbent Based on Banana Peel Waste for Removal of Heavy Metal Ions from Synthetic Solutions,” *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 14, p. 3946, 2021.
- M. Khajeh, S. Laurent, and K. Dastafkan, “Nanoadsorbents : Classification , Preparation , and Applications (with Emphasis on Aqueous Media),” *Chem. Rev.*, 2013.
- O. Fasakin *et al.*, “Synthesis and characterization of porous carbon derived from activated banana peels with hierarchical porosity for improved electrochemical performance Electrochimica Acta Synthesis and characterization of porous carbon derived from activated banana peels,” *Electrochim. Acta*, vol. 262, no. January, pp. 187–196, 2021.
- O. A. Oyewo, M. S. Onyango, and C. Wolkersdorfer, “Application of banana peels nanosorbent for the removal of radioactive minerals from real mine water Application of banana peels nanosorbent for the removal of radioactive minerals from real mine water,” *J. Environ.*

- Radioact.*, vol. 164, no. August, pp. 369–376, 2016.
- Prastika Alifaturrahma dan Okik Hendriyanto C, “Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Untuk Menyisihkan Logam Cu,” *J. Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 8, no. 2, pp. 105–111.
- R. A. Kusumadewi, A. Wijayanti, and R. Hadisoebroto, “Utilization Of Banana Peel And Water Hyacinth Leaves As Adsorbent For Removal Of Copper From Wastewater,” *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 8, no. 12, pp. 2529–2534, 2019.
- S. Singh, N. Parveen, and H. Gupta, “Adsorptive decontamination of rhodamine-B from water using banana peel powder: A biosorbent,” *Environ. Technol. Innov.*, vol. 12, pp. 189–195, 2018.
- S. K. Shukla, N. R. S. Al Mushaiqri, H. M. Al Subhi, K. Yoo, and H. Al Sadeq, “Low-cost activated carbon production from organic waste and its utilization for wastewater treatment,” *Appl. Water Sci.*, vol. 10, no. 2, pp. 1–9, 2020.
- S. Lata and S. R. Samadder, “Removal of arsenic from water using nano adsorbents and challenges: A review,” *J. Environ. Manage.*, vol. 166, pp. 387–406, 2016.
- V. S. Munagapati, V. Yarramuthi, Y. Kim, K. M. Lee, and D. S. Kim, “Removal of anionic dyes (Reactive Black 5 and Congo Red) from aqueous solutions using Banana Peel Powder as an adsorbent,” *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 148, no. August 2017, pp. 601–607, 2018.
- Y. C. Sharma, V. Srivastava, V. K. Singh, S. N. Kaul, and C. H. Weng, “Nanoadsorbents for the removal of metallic pollutants from water and wastewater,” *Taylor Fr. Inf.*, no. July 2012, pp. 37–41, 2020.
- Y. Li, J. Liu, Q. Yuan, H. Tang, F. Yu, and X. Lv, “A green adsorbent derived from banana peel for highly effective removal of heavy metal ions from water,” *RSC Adv.*, vol. 6, no. 51, pp. 45041–45048, 2016.