

KAJIAN LITERATUR PEMANFAATAN ADSORBEN KITOSAN TERMODIFIKASI ARANG AKTIF LIMBAH ORGANIK TERHADAP LOGAM BERAT

LITERATURE REVIEW ON THE UTILIZATION OF ORGANIC WASTE ACTIVATED CHARCOAL MODIFIED CHITOSAN ADSORBENT FOR HEAVY METALS

Tarisa Arsyakia*, Soerja Koesnarpadi, Ika Yekti Lianasari

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman
Jalan Barong Tongkok No. 4 Kampus Gunung Kelua, Samarinda, 75123

*E-mail: tarisa.arsyakia@gmail.com

Diterbitkan: 31 Oktober 2024

ABSTRACT

A literature review on the utilization of chitosan adsorbent modified organic waste activated charcoal against heavy metals has been conducted. From the results of the study, it was obtained that organic waste activated charcoal still has chemical content in the form of cellulose, lignin, hemicellulose, carboxymethyl cellulose ranging from 33.61-65,7%. The carbon compounds formed ranged from 66.60-86.4%. The organic waste activated charcoal used includes coffee grounds; tea grounds; teak wood powder; coconut shell; durian peel waste; pineapple peel waste; salak fruit seed waste; and rubber fruit shell. Activated charcoal is modified with chitosan to optimize pores, expand the surface, and increase adsorption power. The modification process is by mixing chitosan with a certain weight and dissolving it in 1-3% CH₃COOH, then adding activated charcoal with a certain weight, stirring until a homogeneous gel is formed. Next, it was baked at 60°C for 24 hours. The results formed were mixed into NaOH with a certain concentration, then washed with distilled water until neutral and stored in a desiccator. The chitosan - activated charcoal adsorbent was then contacted with heavy metals Arsenic (As); Lead (Pb); Cadmium (Cd); Copper (Cu); Zinc (Zn); and Iron (Fe). The results obtained percent absorption and adsorption capacity ranged from 85.32-99.992% and 0.1236-177.7035 mg/g. The values of percent absorption and adsorption capacity are influenced by the surface area, concentration, and adsorbent that needs to be activated.

Keywords : Activated Charcoal, Chitosan, Modification, Heavy Metal

PENDAHULUAN

Aktivitas industri akan selalu menghasilkan limbah sebagai produk sampingnya. Salah satu limbah yang dihasilkan berupa limbah cair yang harus diolah terlebih dahulu sesuai dengan baku mutu air limbah yang ditetapkan oleh pemerintah sebelum dibuang ke lingkungan agar tidak menimbulkan dampak negatif bagi kehidupan, khususnya Sumber Daya Air (SDA) (Suwazan & Nurhidayanti, 2022).

Limbah organik termasuk sisa-sisa tanaman, limbah pertanian, dan sisa makanan merupakan sumber daya berharga yang dapat didaur ulang menjadi pupuk organik. Penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan tanah, meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang berbahaya bagi lingkungan. Selain itu, pengelolaan sampah organik juga dapat mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan meningkatkan efisiensi sumber daya dalam pertanian (Husega *et al.*, 2023).

Banyak adsorben yang biasa digunakan untuk menghilangkan logam berat, seperti karbon aktif, lempung, oksida logam, silika, dan zeolit. Namun, karbon aktif saat ini lebih disukai sebagai adsorben karena kapasitas dan laju adsorpsinya yang tinggi, struktur makropori dan permukaan internal, non toksisitas, dan ketahanan mekanik dan kimia yang tinggi (Suhendi *et al.*, 2023). Kandungan utama suatu adsorben berasal dari bahan alam seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Gugus fungsi

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



selulosa yang memungkinkan selulosa untuk mengikat untuk mengikat ion logam (Kardiman *et al.*, 2019).

Terdapat berbagai macam faktor yang dapat mempengaruhi sifat adsorben antara lain ukuran pori karbon aktif, nilai konsentrasi awal sampel, luas permukaan adsorben dan waktu kesetimbangan adsorpsi. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan organik atau bahan anorganik yang memiliki kandungan karbon serta permukaan yang berpori. Karbon aktif yang berasal dari serbuk kayu dapat diaplikasikan pada penyerapan zat berbahaya seperti zat pewarna hingga logam berat yang terdapat pada limbah cair (Syamboga dan Budianto, 2021).

Arang aktif dapat dibuat dari bahan organik yang mengandung karbon atau dari arang yang telah mendapat perlakuan khusus untuk membuat permukaannya lebih luas. Tidak hanya bahan bakunya yang perlu diperhatikan saat membuat arang aktif. Namun, prosedur aktivasi juga karena aktivasi merupakan komponen penting dalam pembuatan arang aktif. Aktivasi fisika dan aktivasi kimia adalah dua proses yang dapat digunakan untuk mengaktifkan arang aktif. Biasanya aktivasi fisika menggunakan uap, karbondioksida, dan oksigen (udara). Setelah bahan dikeringkan pada suhu sekitar 170°C, dekomposisi mulai terjadi pada suhu 270–280°C, dimana terbentuk tar, metanol, dan zat-zat lainnya. Sedangkan aktivasi fisik pada suhu 400– 600°C. Aktivasi kimia adalah proses di mana arang dicampur dengan bahan kimia atau zat aktivator, dan kemudian dikeringkan, sehingga pori-pori arang menjadi lebih besar. Bahan kimia yang sering digunakan yaitu H_3PO_4 dan $ZnCl_2$. Proses aktivasi dapat dilakukan dengan melakukan perendaman arang dalam reagen aktif. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kadar tar karena proses karbonasi menutupi pori-pori, sehingga ukuran pori-pori berkurang setelah perendaman (Ambarwati *et al.*, 2019).

Berbagai upaya telah banyak dilakukan baik secara fisika, kimia, dan biologi dengan tujuan untuk terus meningkatkan kapasitas adsorpsi agar dapat menghilangkan polutan secara maksimal. Saat ini, modifikasi kimia seperti perlakuan asam, basa, dan penambahan gugus fungsi lebih disukai sebab menunjukkan hasil yang lebih tinggi dan lebih efisien jika dibandingkan dengan modifikasi lain. Banyak penelitian tentang modifikasi kimia terhadap adsorben salah satunya dengan penambahan biopolimer kitosan (Suhendi *et al.*, 2023).

Kitosan merupakan salah satu biomaterial yang bersifat polikationik yang telah dikenal luas sebagai adsorben yang selektif, terutama untuk ion logam golongan transisi. Selektivitas kitosan berhubungan dengan kandungan gugus $-NH_2$ dan $-OH$ yang dapat bertindak sebagai ligan bagi ion logam (Suhendi *et al.*, 2023). Tersedia dalam jumlah banyak dan biayanya yang relatif terjangkau jika dibandingkan dengan adsorben lain, misalnya, karbon aktif, dan *biochars* (Suwazan *et al.*, 2022). Modifikasi kitosan dapat meningkatkan ketahanan terhadap kondisi asam. Salah satunya ampas teh telah diidentifikasi sebagai biosorben logam berat yang baik, karena memiliki senyawa selulosa sebanyak 37% dan juga lignin. Pemanfaatan teh sebagai biosorben mempunyai efisiensi adsorpsi sebesar 125 mg/g untuk timbal dan 142,9 mg/g untuk kadmium. Dan laju adsorpsi sebesar 197,5 mg/g untuk kromium. Efektivitas biosorben ampas daun teh mampu meningkatkan proses penyerapan logam arsen dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,412 mg/g (Suhendi *et al.*, 2023).

Pada penelitian Suwazan & Nurhidayanti (2022) dimana dalam pembuatan adsorben kitosan yang termodifikasi arang aktif dengan mencampurkan kitosan sebanyak 1,2 gr, kemudian dilarutkan dengan asam asetat 3% sebanyak 60 mL, ditambahkan 0,6 gr karbon ampas teh, di *stirer* hingga homogen. Dituangkan ke kaca akrilik, dikeringkan di oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Hasil yang terbentuk dicampurkan ke dalam larutan NaOH 1M dan didiamkan selama 24 jam. Kemudian dilepaskan dari kaca akrilik, lalu dicuci dengan akuades hingga netral. Dikeringkan pada suhu kamar. Disimpan dalam desikator. Dilakukan hal yang sama dengan variasi berat penambahan karbon sebanyak 0.8 gr; 1 gr; 1,2 gr dan 1,4 gr. Selanjutnya biosorben dianalisis menggunakan FTIR dan SEM-EDS.

Logam timbal (Pb) termasuk dalam logam berat yang dengan kategori logam transisi golongan B yang bersifat toksik atau berbahaya. Logam ini dapat ditemukan dalam emisi kendaraan yang dapat terabsorpsi oleh manusia melalui udara. Emisi dari kendaraan yang mengandung logam timbal juga dapat ditemukan di jalanan dan terminal kendaraan. Banyak kendaraan seperti bus, angkutan kota, dan kendaraan umum (Rachmawati *et al.*, 2020). Anak-anak rentan terkontaminasi timbal daripada orang dewasa yang dapat menurunkan kecerdasan, gangguan pendengaran, anemia, dan juga dapat menimbulkan gangguan tingkah laku. Paparan yang tinggi dapat menyebabkan kematian atau

kerusakan otak yang parah. Keracunan timbal sangat berbahaya bagi anak-anak. Dibandingkan orang dewasa, sistem syaraf pusat mereka belum matang, sehingga mereka lebih mudah menyerap timbal (Dewi, 2022). Nilai baku mutu ion Pb^{2+} yang diperbolehkan adalah 0,1 mg/L, menurut Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 tahun 2014 (Lianasari et al., 2023). Sedangkan, baku mutu Pb dalam perairan adalah 0,3 mg/L. Jika baku mutu lebih rendah dari batas yang ditentukan maka logam berat Pb yang masuk ke dalam perairan mengalami pengenceran sebagai akibat dari pasang surut dan arus yang mengalir (Putri et al., 2019).

Seng (Zn) merupakan salah satu unsur logam berat. Zn memiliki nomor atom 30 dan massa atom 65,39. Titik leleh Zn yaitu 410°C dan titik didih mencapai 906°C. Zn dalam pemanasan tinggi akan menimbulkan endapan seperti pasir. Seperti logam-logam lainnya, Zn diperlukan tubuh untuk proses metabolisme dalam jumlah tertentu, tetapi dalam kadar tinggi dapat bersifat menjadi racun. Karakteristik Zn cukup reaktif, dengan penampakan fisik berwarna putih-kebiruan, Akan pudar bila terkena uap udara, dan terbakar bila terkena udara dengan api hijau terang. Dapat bereaksi dengan asam, basa dan senyawa non logam. Di alam, logam ini tidak berada dalam keadaan bebas tetapi dalam bentuk terikat dengan unsur lain berupa mineral (Faliha, 2023). Logam Zn pada dasarnya merupakan logam berat yang beracun. Logam Zn ini dapat mempengaruhi metabolisme tubuh mengakibatkan mual, sakit perut, demam, anemia dan terjadi gangguan reproduksi menjadi masalah bagi manusia. Salah satu biota air di Sungai Asahan yang menyerap cemaran limbah yakni Ikan baung, ikan lundu, udang, lele serta ikan tilan dan biota air lainnya. Baku mutu arsen dalam air sebesar 0,05 mg/L berdasarkan PPRI No. 22 Tahun 2021 (Arianti et al., 2024).

Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena bersifat non-degradable oleh organisme hidup. Kadmium (Cd) bersifat toksik bagi tubuh walaupun dalam kadar yang sangat rendah. Efek toksik Cd dipengaruhi oleh lama paparan dan kadar selama paparan, sehingga jika terpapar dengan kadar yang tinggi dalam waktu lama akan meningkatkan efek toksik yang lebih besar. Dosis tunggal Cd dapat menyebabkan gangguan saluran pencernaan, sedangkan paparan Cd dalam dosis rendah tetapi berulang kali bisa menyebabkan gangguan fungsi ginjal. Akibat mudahnya terakumulasi baik dalam sedimen maupun organisme, Cd dapat mengakibatkan gangguan sistem biologis. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010 telah mengatur batasan logam berat yang terdapat di air minum. Logam berat Cd termasuk dalam parameter wajib dan parameter yang langsung berhubungan dengan kesehatan. Batasan standar yang diatur oleh WHO dan EPA untuk kandungan Cd pada air minum adalah 3 dan 5 $\mu\text{g}/\text{l}$.¹⁵ (Pulungan & Wahyuni, 2021).

Tembaga (Cu) adalah logam yang berwarna kemerahan, mudah dibentuk, mudah melar, dan bersifat racun bagi makhluk hidup. Tembaga penting bagi tubuh untuk mencegah anemia dengan membantu penyerapan zat besi, merangsang sintesis hemoglobin dan melepaskan simpanan zat besi di hati. Tembaga bersifat beracun bagi tubuh manusia dalam konsentrasi tertentu. Keracunan Tembaga bisa akut, atau menumpuk pada awalnya. Gejala keracunan akut yaitu mual, sakit perut, muntah, hemolisis, netrofisis, kejang dan bisa berakibat fatal. Pada keracunan kronis Tembaga terakumulasi di hati, sehingga menyebabkan hemolisis karena akumulasi H_2O_2 dalam sel darah merah, menyebabkan oksidasi lapisan sel, sehingga sel menjadi pecah. Kadar tembaga di dalam air minum normalnya 0,01-0,5 mg/L. tembaga berperan penting untuk pembuatan sel darah merah, pelepasan zat besi dari jaringan (Putri, 2023).

Arsen merupakan salah satu unsur paling beracun yang dapat ditemukan secara alami di alam. Secara alami arsen dapat berada dalam tanah, air dan udara. Arsen pada umumnya terikat sebagai garam sulfida. Biji arsen banyak didapatkan berasosiasi dengan biji timah, nikel, kobalt, perak, timbal dan emas. Oleh sebab itu arsen dihasilkan juga sebagai hasil sampingan dari kegiatan pertambangan, dan salah satunya yaitu pertambangan emas. Arsen dapat bersifat karsinogenik dan non karsinogenik. Efek akut atau paparan jangka pendek dari paparan arsen menyebabkan mual, muntah, detak jantung tidak normal, kerusakan pembuluh darah, dan kurangnya produksi eritrosit dan juga leukosit, paparan jangka panjang atau kronis dari arsen menyebabkan pembentukan lesi pada kulit, masalah neurologis, kanker internal, penyakit paru, hipertensi. dan penyakit jantung. Baku mutu arsen dalam air sebesar 0,05 mg/L berdasarkan Peraturan Pemerintah No.28 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air (Liono et al., 2022).

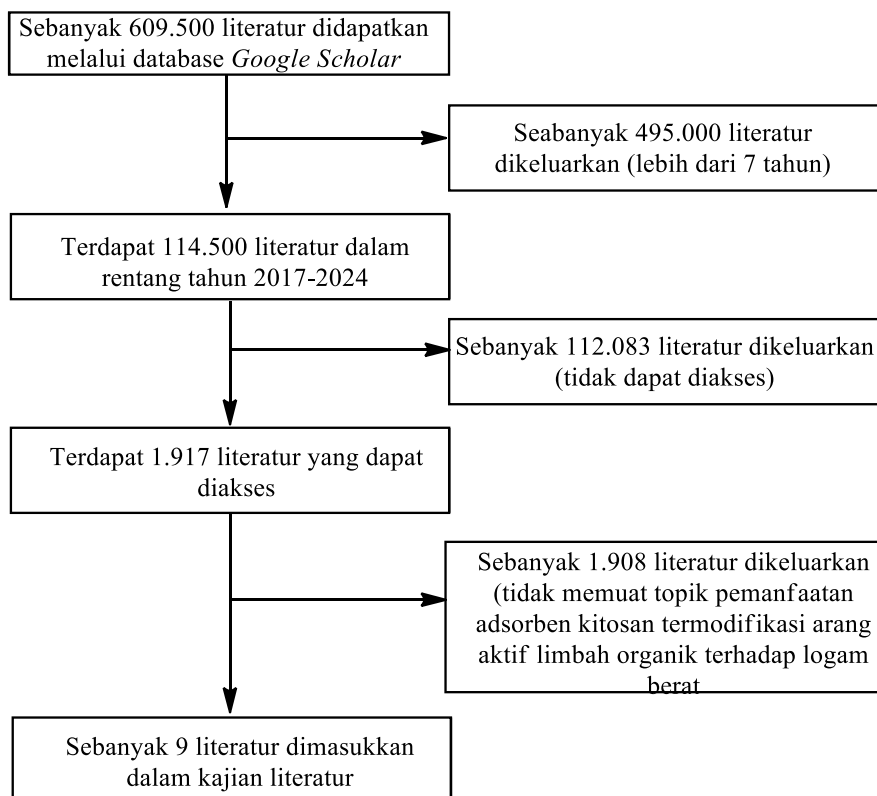
Logam berat besi (Fe) merupakan logam paling banyak melimpah di kerak bumi menempati posisi keempat terbesar. Logam berat besi (Fe) berasal dari limbah industri maupun limbah rumah tangga dapat mencemari lingkungan sungai dengan jumlah yang banyak, sehingga menimbulkan keracunan pada tubuh manusia yang mudah terserap dalam saluran pencernaan bersifat korosif dan cepat meningkatkan penyerapan racun. Saat mengalami kelebihan zat besi disimpan di beberapa organ dalam tubuh terutama disimpan di dalam hati. Gejalanya adalah menyebabkan rasa mual, muntah, diare, peningkatan denyut jantung, sakit kepala, dan pingsan. Kekurangan zat besi dapat menghambat pembentukan klorofil mengakibatkan berkurangnya kandungan pigmen dan protein serta mengakibatkan berkurangnya kemampuan untuk mengatur suhu tubuh. Gejalanya adalah menyebabkan pucat, rasa lemah, letih, pusing, kehilangan nafsu makan, menurunnya kebugaran fisik, kekebalan tubuh dan gangguan penyembuhan luka. Kadar Besi (Fe) dalam air minum diatur dalam PERMENKES No.429/MENKES/PER/ IV/2010 bahwa kadar maksimum Fe pada air minum adalah 0,3 mg/L (Widawati *et al.*, 2020).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur yang merupakan metode penelitian yang menggunakan metode pengumpulan data dari berbagai pustaka kemudian dianalisis untuk memberi pemahaman tentang pemanfaatan adsorben kitosan termodifikasi arang aktif limbah organik terhadap logam berat. Database yang digunakan untuk mencari artikel ini dari *Google Scholar*. Penelusuran literatur dimulai dari tahun 2017 hingga 2024 untuk dianalisis.

Penelusuran artikel pada penelitian ini menggunakan dua bahas, yaitu Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia dengan kata kunci arang aktif, kitosan, modifikasi, logam berat, *activated charcoal*, *chitosan*, *modification*, dan *heavy meta*. Selain itu, artikel harus terindeks ISSN (*International Standard Serial Number*), artikel dengan jenis penelitian eksperimen, dan artikel yang memuat topik pemanfaatan adsorben kitosan termodifikasi arang aktif limbah organik terhadap logam berat. Diagram alur pemilihan litelatur pada artikel ini adalah sebagai berikut.

Gambar 1. Alur Pemilihan Literatur



HASIL

Berikut hasil skrining jurnal yang dianalisis dengan metode kajian literatur sebanyak delapan jurnal. Hasil analisis jurnal ditampilkan dalam bentuk tabel dibawah ini:

Tabel 1. Rekap Hasil Pencarian Jurnal

No	Peneliti, Tahun	Judul	Jurnal dan Volume	Hasil
1	Nisa Nurhidayanti, Nur Ilman Ilyas, Dhonny Suwazan (2021)	Efektivitas Kombinasi Kitosan dan Ampas Kopi Sebagai Adsorben Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Arsen Pada Limbah Cair PT PXI	Jurnal Tekno Insentif, 15(2), 76-87 https://doi.org/10.3687/jti.v15i2.584	Hasil dari analisis menunjukkan bahwa penggunaan adsorben alami kitosan dan karbon aktif ampas kopi 1,4 gr dapat menghasilkan efisiensi penurunan logam arsen tertinggi sebesar 86,18% dengan konsentrasi akhir sebesar 0,79 mg/L. Namun hasil tersebut belum memenuhi baku mutu logam arsen yang ditetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2020. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi penurunan logam arsen.
2	Dhonny Suwazan dan Nisa Nurhidayanti (2022)	Efektivitas Kombinasi Kitosan dan Ampas Teh sebagai Adsorben Alami dalam Menurunkan Timbal Pada Limbah Cair PT PXI	Jurnal Ilmu Lingkungan, 20(1), 37-44 ISSN: 1829-8907	Hasil dari analisis menunjukkan bahwa biosorben yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran antara kitosan dan karbon aktif dari ampas teh. Tahap awal dilakukan pengujian kandungan logam berat pada PT PXI dan diperoleh kandungan awal logam Pb sebesar 1,02 mg/L. Kemudian dilakukan sintesis adsorben hasil kombinasi kitosan dan karbon aktif dari ampas teh. Hasil karakterisasi diperoleh kadar karbon terikat sebesar 78,09%. Biosorben kombinasi kitosan dan karbon aktif dari ampas teh diaplikasikan sebagai adsorben dalam penghilangan logam berat Pb pada limbah industri tekstil PT PXI dengan variasi massa adsorben. Analisa konsentrasi Pb dilakukan menggunakan AAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan karbon aktif ampas teh sebesar 1,4 gr menghasilkan persen efektivitas tertinggi dalam penghilangan logam berat Pb sebesar 90,6% dan dapat menurunkan konsentrasi hingga 0.1 mg/L sehingga dapat memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan.
3	Dhonny Suwazan, Nisa Nurhidayanti, Angga Bahrul	Pemanfaatan Kitosan dan Karbon Aktif Dari Ampas Teh Dalam Menurunkan Logam	Jurnal Reka Lingkungan. 10(2), 91-102	Hasil analisis menunjukkan pada penelitian ini telah berhasil disintesis adsorben hasil kombinasi kitosan dan karbon aktif dari ampas teh. Hasil karakterisasi diperoleh kadar karbon terikat

	Fahmi, Agus Riyadi (2022)	Kadmium dan Arsen Pada Limbah Industri PT X	P-ISSN: 2337-6228 E-ISSN: 2722-6077 http://dx.doi.org/10.26760/rekalingkuangan.v10i2.91-102	sebesar 78,09%. Tahap awal dilakukan pengujian kandungan logam berat pada PT X dan diperoleh kandungan awal logam kadmium (Cd) sebesar 1,15 mg/L dan logam arsen (As) sebesar 5,74 mg/L. Biosorben kombinasi kitosan dan karbon aktif dari ampas teh diaplikasikan sebagai adsorben dalam penghilangan logam berat kadmium (Cd) dan arsen (As) pada limbah industri tekstil PT X dengan variasi massa adsorben. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan karbon aktif sebesar 1,4 gr menghasilkan persen efektivitas tertinggi dalam penghilangan logam berat kadmium (Cd) sebesar 92,50% dan arsen (As) sebesar 85,32%.
4	Adnan Farras Suhendi, Vina Amalia, Adi Mulyana Supriatna (2023)	Karbon Aktif Limbah Serbuk Kayu Jati Termodifikasi Kitosan Sebaai Adsorben Ion Logam Kadmium (II)	Prosiding Seminar Nasional Kimia 2023, 34, 81-90	Hasil analisis menunjukkan pada penelitian ini memodifikasi dengan menambahkan kitosan ke dalam karbon aktif hasil preparasi dari limbah serbuk kayu jati. Selanjutnya, karbon aktif termodifikasi kitosan diaplikasikan kepada ion logam kadmium. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari limbah serbuk kayu jati mempunyai kadar air sebesar 3,01% yang memenuhi SNI 06-3730- 1995.Selain itu, karbon aktif hasil modifikasi memiliki nilai kapasitas adsorpsi sebesar 69,99 mg/g dan efisiensi sebesar 99,992%, yang lebih baik dibandingkan karbon aktif sebelum modifikasi. Isoterm adsorpsi juga ditentukan pada penelitian ini untuk mengetahui model isoterm mana yang cocok digunakan, hasilnya model isoterm Freundlich lebih cocok digunakan untuk adsorben karbon aktif limbah serbuk kayu jati termodifikasi kitosan terhadap ion logam kadmium.
5	Ikhsan Fadilah Basir (2017)	Sintesis Komposit <i>Beads</i> Kitosan / Arang Aktif Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Ion Cu (II) dalam Air	Skripsi	Hasil dari analisis menunjukkan bahwa komposit dibuat dengan perbandingan arang aktif dan kitosan 50:50%. Arang aktif dalam sintesis komposit <i>beads</i> kitosan/arang aktif tempurung kelapa telah diuji kualitas mutunya berdasarkan SNI. 0258-79. Karakterisasi gugus fungsi menunjukkan gugus fungsi khas kitosan dalam komposit <i>beads</i> . Karakterisasi permukaan menunjukkan luas permukaan dari arang aktif 19,595 m ² /g, kitosan <i>beads</i> 3,826 m ² /g, dan komposit <i>beads</i> 1,041 m ² /g. Arang aktif, kitosan <i>beads</i> , dan komposit <i>beads</i> termasuk ke dalam

				<p>kategori mesopori. Hasil optimasi adsorpsi ion Cu (II) menunjukkan bahwa pH optimum diperoleh pada pH 5. Waktu kontak optimum selama 90 menit dicapai oleh arang aktif, dan selama 120 menit dicapai oleh kitosan <i>beads</i> dan komposit <i>beads</i>. Kapasitas adsorpsi ion Cu(II) arang aktif $1,064 \times 10^{-4}$ mol/g, kitosan <i>beads</i> $5,663 \times 10^{-4}$ mol/g dan komposit <i>beads</i> $5,960 \times 10^{-4}$ mol/g. Diperoleh juga persen penyerapan sebesar 90,01%.</p>
6	Yusri Fauzan (2024)	Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah Kulit Durian (<i>Durio Zibethinus L.</i>) Termodifikasi Kitosan Sebagai Adsorben Ion Logam Timbal (II)	Skripsi	<p>Hasil dari analisis menunjukkan bahwa karbon aktif dapat ditingkatkan kapasitas adsorpsinya dengan modifikasi secara kimia, salah satunya dengan penambahan kitosan. Penelitian ini dilakukan dengan memodifikasi adsorben karbon aktif berbahan dasar limbah kulit durian dengan kitosan. Selanjutnya karbon aktif modifikasi diaplikasikan ke dalam model limbah ion logam timbal (II) dengan variasi massa, waktu, dan konsentrasi serta dilakukan penentuan isoterm adsorpsi. Hasil adsorpsi menunjukkan kapasitas adsorpsi paling besar pada 177,7035 mg/g untuk variasi massa 0,02 g dan efisiensi paling besar pada 99,95% untuk variasi massa 0,1 g. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pemodelan isoterm Freundlich lebih cocok digunakan pada adsorben karbon aktif kulit durian termodifikasi kitosan terhadap ion logam timbal (II).</p>
7	Arif Rahman Hakim (2023)	Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah Biji Buah Salak (<i>Salacca zalacca</i>) Termodifikasi Kitosan Terhadap Adsorpsi Ion Logam Tembaga (II)	Skripsi	<p>Hasil dari analisis menunjukkan bahwa biji salak memiliki kandungan selulosa yang dapat disintesis menjadi karbon aktif, namun masih kurang efektif ketika diaplikasikan. Kitosan dapat digunakan menjadi bahan pemodif adsorben karena memiliki gugus amina dan karboksil yang dapat menjadi gugus aktif tambahan bagi adsorben. Proses modifikasi karbon aktif menggunakan kitosan dilakukan dengan mensintesis karbon aktif dari biji salak yang telah diaktivasi, kemudian ditambahkan dengan gel kitosan dan diendapkan menjadi <i>beads</i> adsorben. Berdasarkan hasil pada adsorpsi ion logam Cu (II) menunjukkan kapasitas adsorpsi terbaik sebesar 53,475 mg/g dan efisiensi adsorpsi terbaik sebesar 94,216%. Hasil penentuan isoterm adsorpsi yang cocok untuk adsorben termodifikasi menunjukkan bahwa isoterm Langmuir merupakan metode adsorpsi yang lebih</p>

cocok.

8	Rahmah Nia Faliha (2023)	Sintesis dan Karakterisasi Hidrogel dari Mikroselulosa Limbah Daun Nanas (<i>Ananas comosus</i>) dengan Kitosan-Glutaraldehid sebagai Adsorben Logam Berat Berat Pb dan Zn	Skripsi	Hasil dari analisis menunjukkan bahwa alam serat nanas terkandung selulosa sekitar 62,9% - 65,7%. Selulosa sebagai alternatif dalam produksi hidrogel dengan modifikasi polimer kitosan untuk peyerapan logam berat karena sifatnya yang tidak larut air namun ramah lingkungan. Tahapan penelitian meliputi persiapan sampel, isolasi selulosa, sintesis hidrogel, pengujian derajat ikat silang, rasio <i>swelling</i> , analisis FTIR untuk analisa gugus fungsi, Analisis SEM untuk melihat morfologi hidrogel, pengaplikasian hidrogel dalam penyerap ion Pb^{2+} dan Zn^{2+} , serta uji nilai serapan menggunakan SSA dan penentuan pola isoterm adsorpsi untuk ion Pb^{2+} dan ion Zn^{2+} . Hasil penelitian menunjukkan bahwa hidrogel dengan variasi terbaik dalam penyerapan air yaitu pada variasi glutaraldehid 1 mL dengan, persentase rasio <i>swelling</i> sebesar 1730%. dan nilai derajat ikat silang sebesar 16,08%. Hidrogel yang diinteraksikan dengan ion Pb^{2+} menunjukkan nilai adsorpsi sebesar 9,13 mg/g sedangkan pada logam Zn^{2+} sebesar 10,65 mg/g. Pola Isoterm yang berlaku pada adsorbat logam Pb^{2+} yaitu isoterm Langmuir, Sedangkan pada logam Zn^{2+} berlaku isoterm Freundlich.
9	Zainal Arifin, Dedy Irawan, Muh. Kasim, dan Mulyana Fajar (2018)	Adsorpsi Logam Fe (II) dalam Limbah Cair Artifisial Menggunakan Komposit Kitosan-Karbon Aktif Cangkang Buah Karet	Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan", 1-5 ISSN: 1693-4393	Hasil dari analisis menunjukkan bahwa berdasarkan optimasi pengaruh waktu adsorpsi terhadap jumlah logam Fe (II) terjerap, dapat dilihat bahwa komposit karbon aktif-kitosan dapat menurunkan konsentrasi logam Fe (II). Komposit karbon aktif-kitosan memiliki kemampuan menyerap ion logam karena didalamnya terdapat karbon aktif dan kitosan, dimana karbon aktif memiliki pori-pori yang terisi oleh kitosan yang juga dapat mengikat logam Fe (II) sehingga logam Fe (II) akan terjerap lebih banyak. Disini terdapat 3 komposit yaitu CRSSAC1, CRSSAC2, dan CRSSAC3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu adsorpsi dan semakin sedikit karbon aktif yang ditambahkan dalam komposit, jumlah logam Fe (II) yang terjerap akan semakin banyak. Kondisi terbaik diperoleh pada waktu adsorpsi 25 menit menggunakan komposit CRSSAC1 yang dapat menurunkan logam Fe (II) sebanyak 0,1236 mg/g.

Tabel 2. Hasil Analisis Metode Penelitian

No	Peneliti, Tahun	Jenis Arang Aktif	Logam	Kadar Karbon	Kadar Selulosa	Variabel Bebas (Optimasi Adsorpsi)	Kapasitas Adsorpsi	Persen Penyerapan
1	Nisa Nurhidayanti, Nur Ilman Ilyas, Dhonny Suwazan (2021)	Ampas Kopi	As	18,29%	-	Variasi massa adsorben	-	86,18%
2	Dhonny Suwazan dan Nisa Nurhidayanti (2022)	Ampas teh	Pb	78,09%	37%	Variasi massa adsorben	-	90,6%
3	Dhonny Suwazan, Nisa Nurhidayanti, Angga Bahrul Fahmi, Agus Riyadi (2022)	Ampas teh	Cd dan As	66,6%	37%	Variasi massa adsorben	-	92,50% (Cd) dan 85,32% (As)
4	Adnan Farras Suhendi, Vina Amalia, Adi Mulyana Supriatna (2023)	Serbuk kayu jati	Cd	86,40%	-	Variasi massa adsorben, waktu, konsentrasi, dan isotherm adsorpsi	69,99 mg/g	99,992%
5	Ikhsan Fadilah Basir (2017)	Tempurung kelapa	Cu	-	33,61%	Waktu kontak dan pH optimum	-	90,01%
6	Yusri Fauzan (2024)	Limbah kulit durian	Pb	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	Variasi massa adsorben dan isotherm adsorpsi	177,7035 mg/g	99,95%

7	Arif Rahman Hakim (2023)	Limbah biji buah salak	Cu	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	Isoterm adsorpsi	53,475 mg/g	94,475%
8	Rahmah Nia Faliha (2023)	Limbah daun nanas	Pb dan Zn	-	65,7%	pH optimum, konsentrasi optimum, dan isoterm adsorpsi	9,13 mg/g (Pb) dan 10,65 mg/g (Zn)	-
9	Zainal Arifin, Dedy Irawan, Muh. Kasim, dan Mulyana Fajar (2018)	Cangkang buah karet	Fe	-	-	Pengaruh waktu adsorpsi	0,1236 mg/g	-

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa artikel yang dikaji dalam kajian literatur terpublikasi dari tahun 2017 sampai 2024 dengan total sembilan artikel yang akan dikaji, diantaranya terdapat tujuh artikel yang dapat diakses sedangkan dua lainnya tidak dapat diakses dikarenakan hanya terdapat abstrak. Dimana artikel-artikel ini terdiri dari lima jurnal dan empat skripsi. Tiga artikel terindeks ISSN yaitu (Suwazan & Nurhidayanti, 2022), (Suwazan *et al.*, 2022), (Arifin *et al.*, 2018). Dari sembilan artikel yang telah dianalisis, terdapat satu artikel yang menunjukkan hasil paling efektif karena hasil persen penyerapan dan kapasitas adsorpsi sangat tinggi pada penelitian Fauzan (2024) menggunakan limbah kulit durian sebagai adsorben, tetapi diperlukan pengkajian ulang terkait kadar karbon dan kadar selulosa yang tidak dijelaskan dalam artikel tersebut.

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa sembilan artikel yang dikaji menggunakan jenis arang aktif ampas kopi (Nurhidayanti *et al.*, 2021), ampas teh (Suwazan & Nurhidayanti, 2022), (Suwazan *et al.*, 2022), serbuk kayu jati (Suhendi *et al.*, 2023), tempurung kelapa (Basir, 2017), limbah kulit durian (Fauzan, 2024), limbah biji buah salak (Hakim, 2023), limbah buah nanas (Faliha, 2023), serta pada penelitian (Arifin *et al.*, 2018) menggunakan arang aktif cangkang buah karet. Logam yang digunakan pada artikel meliputi Arsen (Nurhidayanti *et al.*, 2021), (Suwazan *et al.*, 2022), Timbal (Suwazan & Nurhidayanti, 2022), (Fauzan, 2024), (Faliha, 2023), Kadmium (Suwazan *et al.*, 2022), (Suhendi *et al.*, 2023), Seng (Faliha, 2023), Tembaga (Basir, 2017), (Hakim, 2023), serta Besi (Arifin *et al.*, 2018). Dari hasil kajian diperoleh arang aktif limbah organik memiliki kandungan kimia berupa selulosa berkisar antara 33,61-71% dan senyawa karbon yang terbentuk berkisar 66,60-86,4%. Variabel bebas yang digunakan pada artikel meliputi variasi massa adsorben variasi massa adsorben (Nurhidayanti *et al.*, 2021), (Suwazan & Nurhidayanti, 2022), (Suwazan *et al.*, 2022), (Suhendi *et al.*, 2023), (Fauzan, 2024), waktu kontak (Suhendi *et al.*, 2023), (Basir, 2017), pH optimum (Basir, 2017), (Faliha, 2023), pengaruh waktu adsorpsi (Arifin *et al.*, 2018), konsentrasi optimum (Suhendi *et al.*, 2023), (Faliha, 2023), isoterm adsorpsi (Suhendi *et al.*, 2023), (Fauzan, 2024), (Hakim, 2023). Dari hasil diperoleh persen penyerapan terhadap logam berat berkisar antara 85,32-99,992%. Kapasitas adsorpsi juga berkisar antara 0,1236-177,7035 mg/g.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis dari sembilan artikel di atas, diketahui bahwa dua artikel terindeks ISSN. Selain itu, dijelaskan juga bahwa terdapat sembilan artikel yang dikaji menggunakan limbah organik antara lain ampas kopi; ampas teh; serbuk kayu jati; tempurung kelapa; limbah kulit durian; limbah kulit nanas; limbah biji buah salak; dan cangkang buah karet. Variabel bebas yang digunakan pada artikel meliputi variasi massa adsorben, waktu kontak, pH optimum, pengaruh waktu adsorpsi, konsentrasi optimum, dan isoterm adsorpsi.

Pada penelitian Nurhidayanti *et al* (2021) menggunakan arang aktif berupa ampas kopi sebagai adsorben untuk diaplikasikan dengan logam As. Senyawa karbon yang terbentuk sebesar 18,29%. Dimana menggunakan variasi massa adsorben yaitu 0,6 gr, 0,8 gr, 1 gr, 1,2 gr, 1,4 gr karena semakin tinggi dosis karbon aktif ampas kopi yang dikombinasikan dengan kitosan akan semakin meningkatkan efisiensi penyerapan logam arsen dalam air limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan adsorben alami kitosan dan karbon aktif ampas kopi 1,4 gr dapat menghasilkan efisiensi penurunan logam arsen tertinggi sebesar 86,18%. Namun hasil tersebut belum memenuhi baku mutu logam arsen yang ditetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2020. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi penurunan logam arsen.

Pada penelitian Suwazan & Nurhidayanti (2022) menggunakan arang aktif berupa ampas teh sebagai adsorben untuk diaplikasikan dengan logam Pb. Ampas teh mengandung selulosa sebesar 37% dan senyawa karbon yang terbentuk sebesar 78,09%. Salah satu metode penghilangan logam berat pada limbah cair yaitu metode adsorpsi menggunakan biosorben. Biosorben yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran antara kitosan dan karbon aktif dari ampas teh. Dimana menggunakan variasi massa adsorben yaitu 0,6 gr, 0,8 gr, 1 gr, 1,2 gr, 1,4 gr. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan karbon aktif ampas teh sebesar 1,4 gr menghasilkan persen efektivitas tertinggi dalam penghilangan logam berat Pb sebesar 90,6% dan dapat menurunkan konsentrasi hingga 0.1 mg/L sehingga dapat memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan.

Pada penelitian Suwazan *et al* (2022) menggunakan arang aktif berupa ampas teh sebagai adsorben untuk diaplikasikan dengan logam Cd dan As. Ampas teh mengandung selulosa sebesar 37%. Tahap awal dilakukan pengujian kandungan logam berat pada PT X dan diperoleh kandungan awal logam kadmium (Cd) sebesar 1,15 mg/L dan logam arsen (As) sebesar 5,74 mg/L. Biosorben kombinasi kitosan dan karbon aktif dari ampas teh diaplikasikan sebagai adsorben dalam penghilangan logam berat kadmium (Cd) dan arsen (As) pada limbah industri tekstil PT X dengan variasi massa adsorben. Dimana menggunakan variasi massa adsorben yaitu 0,6 gr, 0,8 gr, 1 gr, 1,2 gr, 1,4 gr. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan karbon aktif sebesar 1,4 gr menghasilkan persen efektivitas tertinggi dalam penghilangan logam berat kadmium (Cd) sebesar 92,50% dan arsen (As) sebesar 85,32%.

Pada penelitian Suhendi *et al* (2023) menggunakan arang aktif berupa serbuk kayu jati sebagai adsorben untuk diaplikasikan dengan logam Cd. Senyawa karbon yang terbentuk sebesar 86,4%. Diuji penyerapannya untuk variasi massa, waktu, dan konsentrasi. Dapat dilihat berdasarkan kurva kapasitas dan efisiensi adsorpsi penyerapan logam Cd menunjukkan nilai tertinggi pada variasi massa 0,1 gr, variasi waktu 90 menit, dan variasi konsentrasi sebesar 99,992%. Diperoleh secara berturut-turut penyerapan terbaik adalah variasi 0,1 gr. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari limbah serbuk kayu jati mempunyai kadar air sebesar 3,01% yang memenuhi SNI 06-3730-1995. Selain itu, karbon aktif hasil modifikasi memiliki nilai kapasitas adsorpsi sebesar 69,99 mg/g dan efisiensi sebesar 99,992%, yang lebih baik dibandingkan karbon aktif sebelum modifikasi. Isoterm adsorpsi juga ditentukan pada penelitian ini untuk mengetahui model isoterm mana yang cocok digunakan, hasilnya model isoterm Freundlich lebih cocok digunakan untuk adsorben karbon aktif limbah serbuk kayu jati termodifikasi kitosan terhadap ion logam kadmium.

Pada penelitian Basir (2017) menggunakan arang aktif berupa tempurung kelapa sebagai adsorben untuk diaplikasikan dengan logam Cu. Tempurung kelapa mengandung selulosa sebesar 33,61%. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa komposit dibuat dengan perbandingan arang aktif dan kitosan 50:50%. Arang aktif dalam sintesis komposit *beads* kitosan/arang aktif tempurung kelapa telah diuji kualitas mutunya berdasarkan SII. 0258-79. Karakterisasi gugus fungsi menunjukkan gugus fungsi khas kitosan dalam komposit *beads*. Karakterisasi permukaan menunjukkan luas permukaan

dari arang aktif 19,595 m²/g, kitosan *beads* 3,826 m²/g, dan komposit *beads* 1,041 m²/g. Arang aktif, kitosan *beads*, dan komposit *beads* termasuk ke dalam kategori mesopori. Hasil optimasi adsorpsi ion Cu (II) menunjukkan bahwa pH optimum diperoleh pada pH 5. Waktu kontak optimum selama 90 menit dicapai oleh arang aktif, dan selama 120 menit dicapai oleh kitosan *beads* dan komposit *beads*. Kapasitas adsorpsi ion Cu(II) arang aktif 1,064x10⁻⁴mol/g, kitosan *beads* 5,663 x 10⁻⁴mol/g dan komposit *beads* 5,960 x 10⁻⁴ mol/g. Diperoleh juga persen penyerapan sebesar 90,01% .

Pada penelitian Fauzan (2024) menggunakan arang aktif berupa limbah kulit durian sebagai adsorben untuk diaplikasikan dengan logam Pb. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa karbon aktif dapat ditingkatkan kapasitas adsorpsinya dengan modifikasi secara kimia, salah satunya dengan penambahan kitosan. Penelitian ini dilakukan dengan memodifikasi adsorben karbon aktif berbahan dasar limbah kulit durian dengan kitosan. Selanjutnya karbon aktif modifikasi diaplikasikan ke dalam model limbah ion logam timbal (II) dengan variasi massa, waktu, dan konsentrasi serta dilakukan penentuan isoterm adsorpsi. Hasil adsorpsi menunjukkan kapasitas adsorpsi paling besar pada 177,7035 mg/g untuk variasi massa 0,02 gr dan efisiensi paling besar pada 99,95% untuk variasi massa 0,1 g. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pemodelan isoterm Freundlich lebih cocok digunakan pada adsorben karbon aktif kulit durian termodifikasi kitosan terhadap ion logam timbal (II).

Pada penelitian Hakim (2023) menggunakan arang aktif berupa limbah biji buah salak sebagai adsorben untuk diaplikasikan dengan logam Cu. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa biji salak memiliki kandungan selulosa yang dapat disintesis menjadi karbon aktif, namun masih kurang efektif ketika diaplikasikan. Kitosan dapat digunakan menjadi bahan pemodif adsorben karena memiliki gugus amina dan karboksil yang dapat menjadi gugus aktif tambahan bagi adsorben. Proses modifikasi karbon aktif menggunakan kitosan dilakukan dengan mensintesis karbon aktif dari biji salak yang telah diaktivasi, kemudian ditambahkan dengan gel kitosan dan diendapkan menjadi *beads* adsorben. Berdasarkan hasil pada adsorpsi ion logam Cu (II) menunjukkan kapasitas adsorpsi terbaik sebesar 53,475 mg/g dan efisiensi adsorpsi terbaik sebesar 94,216%. Hasil penentuan isoterm adsorpsi yang cocok untuk adsorben termodifikasi menunjukkan bahwa isoterm Langmuir merupakan metode adsorpsi yang lebih cocok.

Pada penelitian Faliha (2023) menggunakan arang aktif berupa limbah buah nanas sebagai adsorben untuk diaplikasikan dengan logam Pb dan Zn. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa alam serat nanas terkandung selulosa sekitar 62,9% - 65,7%. Selulosa sebagai alternatif dalam produksi hidrogel dengan modifikasi polimer kitosan untuk peyerapan logam berat karena sifatnya yang tidak larut air namun ramah lingkungan. Tahapan penelitian meliputi persiapan sampel, isolasi selulosa, sintesis hidrogel, pengujian derajat ikat silang, rasio *swelling*, analisis FTIR untuk analisa gugus fungsi, Hasil penelitian menunjukkan bahwa hidrogel dengan variasi terbaik dalam penyerapan air yaitu pada variasi glutaraldehid 1 mL dengan, persentase rasio *swelling* sebesar 1730%. dan nilai derajat ikat silang sebesar 16,08%. Hidrogel yang diinteraksikan dengan ion Pb²⁺ menunjukkan nilai adsorpsi sebesar 9,13 mg/g sedangkan pada logam Zn²⁺ sebesar 10,65 mg/g. Pola Isoterm yang berlaku pada adsorbat logam Pb²⁺ yaitu isoterm Langmuir, Sedangkan pada logam Zn²⁺ berlaku isoterm Freundlich.

Pada penelitian Arifin *et al* (2018) menggunakan arang aktif berupa cangkang buah karet sebagai adsorben untuk diaplikasikan dengan logam Fe. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa berdasarkan optimasi pengaruh waktu adsorpsi terhadap jumlah logam Fe (II) terjerap, dapat dilihat bahwa komposit karbon aktif-kitosan dapat menurunkan konsentrasi logam Fe (II). Komposit karbon aktif-kitosan memiliki kemampuan menjerap ion logam karena didalamnya terdapat karbon aktif dan kitosan, dimana karbon aktif memiliki pori-pori yang terisi oleh kitosan yang juga dapat mengikat logam Fe (II) sehingga logam Fe (II) akan terjerap lebih banyak. Disini terdapat 3 komposit yaitu CRSSAC1, CRSSAC2, dan CRSSAC3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu adsorpsi dan semakin sedikit karbon aktif yang ditambahkan dalam komposit, jumlah logam Fe (II) yang terjerap akan semakin banyak. Kondisi terbaik diperoleh pada waktu adsorpsi 25 menit menggunakan komposit CRSSAC1 yang dapat menurunkan logam Fe (II) sebanyak 0,1236 mg/g.

KESIMPULAN

Hasil dari kajian literatur menyimpulkan bahwa arang aktif dari limbah ampas kopi, ampas teh, serbuk kayu jati, tempurung kelapa, limbah kulit durian, limbah kulit nanas, limbah biji buah salak,

dan cangkang buah karet yang dimodifikasi dengan kitosan dapat dimanfaatkan sebagai adsorben. Limbah-limbah ini mempunyai potensi menjadi arang aktif karena mengandung selulosa berkisar 33,61-65,7%. Senyawa karbon yang terbentuk berkisar 66,60-86,4%. Dari hasil diperoleh persen penyerapan berkisar 85,32-99,992% dan kapasitas adsorpsi berkisar 0,1236-177,7035 mg/g. Besar kecilnya nilai persen penyerapan dan kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh luas permukaan, konsentrasi, dan adsorben yang perlu diaktivasi. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, penggabungan antara arang aktif dan kitosan memungkinkan untuk memperluas permukaan dan meningkatkan daya adsorpsi karena kitosan memiliki sifat dan karakteristik yang cukup tinggi untuk mengikat ion logam.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penghargaan dan terima kasih dari penulis kepada pengelola Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman yang telah memfasilitasi penulis selama proses penyusunan kajian literatur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ambarwati, Y., Syarifah, N. P., & Widodo, L. U. (2019). Pemanfaatan Limbah Batang Ubi Kayu Sebagai Arang Aktif Serta Pengaruh Aktivator HCl dan Waktu Aktivasi Terhadap Mutu Arang Aktif. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(2), 68-81.
- [2] Arianti, R., Febriani, H., & Syukriah. (2024). Analisis Kandungan Logam Seng (Zn) Pada Air dan Daging Ikan Tilan (*Mastacembelus armatus*) di Sungai Asahan Kota Tanjungbalai. *LEMURU: Jurnal Ilmu Perikanan dan Kelautan Indonesia*, 6(1), 76-92.
- [3] Arifin, Z., Irawan, D., Kasim, Moh., & Fajar, M. (2018). Adsorpsi Logam Fe (II) dalam Limbah Cair Artifisial Menggunakan Komposit Kitosan-Karbon Aktif Cangkang Buah Karet. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*.
- [4] Basir, I. F. (2017). Sintesis Komposit *Beads* Kitosan /Arang Aktif Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Ion Cu (II) Dalam Air. Skripsi.
- [5] Dewi, R. E. (2022). Analisis Cemaran Logam Berat Arsen, Timbal, dan Merkuri Pada Makanan di Wilayah Kota Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*. 18(1), 1-9.
- [6] Faliha, R. N. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Hidrogel dari Mikroselulosa Limbah Daun Nanas (*Ananas comosus*) dengan Kitosan-Glutaraldehyd Sebagai Adsorben Logam Berat Pb dan Zn. Skripsi.
- [7] Fauzan, Y. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah Kulit Durian (*Durio Zibethinus L.*) Termodifikasi Kitosan Sebagai Adsorben Ion Logam Timbal (II). Skripsi.
- [8] Hakim, A. R. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah Biji Buah Salak (*Salacca zalacca*) Termodifikasi Kitosan Terhadap Adsorpsi Ion Logam Tembaga (II). Skripsi.
- [9] [Kardiman., Ifa, L & Rasyid. (2019). Pembuatan Adsorben dari Sabut Kelapa Sebagai Penyerap Logam Berat Pb (II). *ILTEK*, 14(2), 2083-2087.
- [10] Lianasari, I. Y., Koesnarpadi, S., Pratiwi, D. R., & Munandar, A. (2023). Penentuan Variasi Komposisi dan pH Optimum Adsorben Kitosan-Fe₃O₄ Berdasarkan Persen Penyerapan Ion Pb²⁺. *Jurnal Atomik*, 8(1), 4-8.
- [11] Liono, V. V., Joseph, W. B.S., & Maddusa, S.S. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Logam Berat Arsen (As) pada Masyarakat Sekitar Sungai yang Mengonsumsi Ikan Nilem (*Ostoechillus Vittatus*) dari Sungai Desa Bakan Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow. *Jurnal KESMAS*, 11(2), 200-206.
- [12] Husega, G., Isnani, A. N., Dewi, F. A., Zuhro, I. L. A., Salsabila, L. M., Cholil, M. A., & Suryani, D. (2023). *Community Development Journal*, 4(3), 6774-6780.
- [13] Nuridayanti, N., Ilyas, N. I., & Suwazan, D. (2021). Efektivitas Kombinasi Kitosan dan Ampas Kopi Sebagai Adsorben Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Arsen Pada Limbah Cair PT PXI. *Jurnal Tekno Insekto*, 15(2), 76-87.
- [14] Rachmawati, N., Anliza, S., Hilya, H., Lestari S, S. I., & Novita. (2020). Penentuan Kadar Logam Timbal Pada Rambut Supir Bus Rute Tangerang-Padang-Surabaya-Yogyakarta di Terminal Poris Tangerang. *Journal Kesehatan Poltekkes Palembang*, 15(2), 73-79.

- [15] Suhendi, A. F., Amalia, V., & Supriatna, A. M. (2023). Karbon Aktif Limbah Serbuk Kayu Jti Termodifikasi Kitosan Sebaai Adsorben Ion Logam Kadmium (II). *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2023*.
- [16] Suwazan, D & Nurhidayanti, N. (2022). Efektivitas Kombinasi Kitosan dan Ampas Teh sebagai Adsorben Alami dalam Menurunkan Timbal Pada Limbah Cair PT PXI. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(1), 37-44.
- [17] 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.
- [18] Syamboga, A., & Budianto, A. (2021). Review Karakterisasi Karbon Aktif dari Berbagai Jenis Serbuk Kayu. *TECNOSCIENZA*, 6(1), 1-2.
- [19] Pulungan, A. F & Wahyuni, S. (2021). Analisis Kandungan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air Minum Isi Ulang (AMIU) di Kota Lhokseumawe, Aceh. *AVERROUS: Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Malikussaleh*, 7(1), 75-83.
- [20] Putri, A. A. (2023). Serapan Logam Tembaga (Cu) Pada Saw Hijau (*Brassica Rapa Var. Parachinesis L.*) dari Penggunaan Pupuk dan Pestisida Anorganik. Skripsi.
- [21] Widawati, D., Rudyanti, S., & Taufani, W. T. (2020). Biokonsentrasi Logam Berat Berat Besi (Fe) Pada Kerang Hijau di Pantai Morosari, Demak. *PENA Akuatika*, 19(1), 26-33.