Pengaruh Modifikasi Silika pada Karbon Aktif Ampas Tebu terhadap Penurunan Kapasitas Adsorpsi Ion Fe(III)

Mafira Tunnisa[1], Tisna Harmawan*[1], dan Halimatussakdiah[1]

[1]Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Samudra
Jl. Meurandeh, Langsa Aceh 24416, Indonesia

* Corresponding author: tisna_harmawan@unsam.ac.id

ABSTRAK

Ampas tebu merupakan limbah biomassa potensial yang dapat dikonversi menjadi karbon aktif untuk remediasi logam berat dalam air limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi karbon aktif ampas tebu (KA-AT) serta komposit silika-karbon aktif (Silika-KA-AT), serta mengevaluasi kinerjanya dalam adsorpsi ion Fe(III) pada berbagai variasi pH dan waktu kontak. Karakterisasi FTIR mengonfirmasi keberadaan gugus fungsi hidroksil (O-H), karbonil (C=O), dan aromatik (C=C) pada KA-AT, sementara keberhasilan modifikasi silika dibuktikan oleh munculnya pita serapan siloksan (Si-O-Si) pada bilangan gelombang 1111,00 cm^{-1}. Hasil analisis AAS menunjukkan bahwa kondisi adsorpsi optimum untuk KA-AT tercapai pada pH 7 dengan waktu kontak 140 menit, menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 0,7979 mg/g dan efisiensi penyisihan 99,75%. Sebaliknya, komposit Silika-KA-AT mencapai kondisi optimum pada pH 6 dengan waktu kontak 130 menit, dengan kapasitas yang lebih rendah yaitu 0,6375 mg/g (efisiensi 99,62%). Meskipun terjadi penurunan kapasitas spesifik, kedua adsorben mendemonstrasikan efektivitas yang sangat tinggi dalam menurunkan konsentrasi Fe(III) hingga mencapai ambang batas aman.

Kata Kunci: Adsorpsi, Ampas Tebu, Karbon Aktif, Silika, Fe(III)

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam esensial yang menopang seluruh aspek kehidupan dan aktivitas di bumi. Sebagai pelarut universal, air memiliki kapasitas tinggi untuk melarutkan berbagai zat dari fase gas, cair, padat, hingga mikroorganisme, sehingga eksistensi air murni di alam bebas sangatlah langka. Oleh karena itu, air diklasifikasikan bersih dan layak guna apabila konsentrasi material terlarut di dalamnya tidak menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia [1]. Pemanfaatan air di sektor pertanian, industri, dan domestik menuntut pemenuhan standar kualitas dan kuantitas yang ketat. Penurunan kualitas air terbukti memicu berbagai masalah kesehatan, mulai dari penyakit infeksi akut (seperti diare, tifus, dan kolera) hingga komplikasi kronis akibat paparan jangka panjang (seperti osteoporosis, karies gigi, anemia, dan disfungsi ginjal). Berbagai gangguan ini secara umum berkaitan erat dengan akumulasi kontaminan logam berat toksik dalam sumber air [2][3]. Kontaminasi logam berat di perairan yang melampaui baku mutu dapat mendisrupsi siklus biologis alami dalam ekosistem. Beberapa ion logam yang dikategorikan sebagai polutan berbahaya meliputi merkuri (Hg), timbal (Pb), arsen (As), kadmium (Cd), kromium (Cr), nikel (Ni), dan besi (Fe) [4][5][6]. Besi (Fe) merupakan salah satu cemaran logam yang paling dominan ditemukan di lingkungan perairan dan bersifat toksik bagi organisme akuatik maupun manusia pada tingkat konsentrasi tertentu [7][8][9][10]. Berdasarkan regulasi Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Permenkes No. 32 Tahun 2017), batas maksimum konsentrasi Fe dalam air ditetapkan sebesar 1 mg/L. Untuk menekan kadar Fe agar memenuhi standar regulasi tersebut, diperlukan agen pengikat yang efektif, seperti adsorben [11]. Saat ini, teknologi adsorpsi berbasis karbon aktif diakui sebagai salah satu pendekatan remediasi air yang paling menjanjikan untuk mengeliminasi kontaminan [12].

Metode adsorpsi menawarkan sejumlah keunggulan komparatif, di antaranya efisiensi biaya operasional, kemudahan aplikasi, efektivitas yang tinggi, serta absennya produk samping berupa senyawa toksik. Dewasa ini, eksplorasi material adsorben alternatif terus

ISSN 2716-0963
e-ISSN 2716-1218

dikembangkan guna memitigasi eskalasi pencemaran logam berat, salah satunya dengan memanfaatkan selulosa dan senyawa lignin yang diekstraksi dari limbah ampas tebu [13]. Mengingat ampas tebu memiliki kandungan bahan organik sekitar 90%, biomassa ini sangat berpotensi untuk dikonversi menjadi matriks karbon aktif [14]. Efektivitas ampas tebu sebagai adsorben telah dibuktikan oleh Yoseva dkk. (2015) [15], yang melaporkan bahwa arang aktif ampas tebu mampu mengadsorpsi ion Fe(II) hingga 0,123 mg/L menggunakan 2 g adsorben dengan waktu kontak 120 menit. Lebih lanjut, Kartika (2019) [16] menemukan bahwa pH optimum untuk proses adsorpsi besi berada pada pH 5 dengan kapasitas adsorpsi maksimum mencapai 0,000031 mg/g. Kinerja penyerapan adsorben ampas tebu ini diduga kuat dipengaruhi oleh kandungan silikanya yang cukup tinggi [17].

Silika (SiO_2) merupakan senyawa makromolekul anorganik berwujud jaringan tiga dimensi yang tersusun atas silikon dan oksigen. Sebagai unsur paling melimpah kedua di kerak bumi, silika secara alami terdistribusi luas di dalam tanah dan terakumulasi pada jaringan akar tanaman [18]. Karakteristik fisikokimia silika yang unggul, seperti stabilitas yang tinggi, struktur berpori, luas permukaan yang masif, serta tingkat porositas yang baik, menjadikannya material ideal untuk berbagai aplikasi, termasuk sebagai adsorben kontaminan [19]. Berangkat dari karakteristik tersebut, silika sangat potensial untuk diintegrasikan sebagai material inovasi tambahan (modifier) pada karbon aktif guna meningkatkan kapasitas adsorpsinya.

Berdasarkan tinjauan literatur, kajian mengenai pemanfaatan karbon aktif ampas tebu yang dimodifikasi dengan silika untuk remediasi ion Fe(III) masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji daya adsorpsi logam Fe menggunakan material komposit silika-karbon aktif ampas tebu. Modifikasi adsorben secara terintegrasi ini diproyeksikan dapat menghasilkan karakteristik adsorben yang lebih unggul, yang berimplikasi pada peningkatan daya serap secara signifikan. Penelitian ini akan difokuskan pada evaluasi pengaruh variasi pH dan waktu kontak guna menentukan kondisi operasional optimum komposit silika-karbon aktif ampas tebu dalam meremediasi cemaran logam Fe(III).

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi biomassa ampas tebu, HCl 1 M, akuades, $FeCl_{3\,(s)}$, kertas saring whatman No.42, aluminium foil, serbuk silika yang diperoleh dari laboratorium (Merck) dan buffer standar (HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M).

Metode

Preparasi Sampel

Sampel ampas tebu segar terlebih dahulu dibersihkan untuk menghilangkan berbagai impuritas fisik. Selanjutnya, sampel dikeringkan di bawah paparan sinar matahari langsung hingga mencapai tingkat kekeringan yang optimal [20].

Pembuatan Karbon Aktif Ampas Tebu (KA-AT)

Ampas tebu kering ditimbang dan dikarbonisasi menggunakan tanur (furnace) pada suhu 300°C selama 30 menit. Setelah proses pendinginan, arang yang terbentuk dihaluskan menggunakan mortar dan disaring melewati ayakan berukuran 100 mesh. Proses aktivasi kimia dilakukan dengan merendam 100 g serbuk arang ke dalam larutan HCl 1 M selama 24 jam, dilanjutkan dengan pengadukan kontinu menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Karbon aktif yang telah diaktivasi kemudian disaring, dicuci dengan akuades secara berulang hingga mencapai kondisi netral (pH 7), dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam [20].

Pembuatan Adsorben Silika-Karbon Aktif Ampas Tebu (Silika-KA-AT)

Komposit adsorben disintesis dengan mencampurkan 2 g serbuk silika dan 8 g karbon aktif ampas tebu. Campuran tersebut disuspensikan ke dalam 500 mL akuades yang ditambahkan secara perlahan, lalu diaduk secara mekanis menggunakan magnetic stirrer hingga homogen. Suspensi silika-karbon aktif didiamkan selama 30 menit sebelum tahap penyaringan menggunakan kertas saring Whatman No. 42. Residu padatan selanjutnya

ISSN 2716-0963
e-ISSN 2716-1218

dicuci menggunakan akuades hingga mencapai pH 7 dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam [21].

Karakterisasi Adsorben dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Analisis gugus fungsi pada sampel karbon aktif dan komposit silika-karbon aktif diidentifikasi menggunakan spektrofotometer FTIR. Preparasi sampel dilakukan menggunakan metode pelet KBr, di mana sampel dicampur dengan serbuk KBr murni lalu ditekan (press) hingga membentuk pelet transparan. Pengukuran spektrum inframerah direkam pada rentang bilangan gelombang 400–4000 cm^{-1} [16].

Larutan Standar Fe(III) 20 ppm

Larutan stok Fe(III) dengan konsentrasi 20 ppm dipreparasi dengan melarutkan 0,29 g padatan $FeCl_3$ ke dalam labu takar berkapasitas 500 mL. Akuades kemudian ditambahkan hingga mencapai tanda batas volume, lalu dihomogenkan secara seksama [22].

Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Fe(III)

Deret larutan standar disiapkan dengan memipet larutan induk Fe(III) 100 ppm masing-masing sebanyak 0; 0,5; 1; 2; 3; dan 5 mL ke dalam enam labu takar 100 mL yang berbeda. Akuades ditambahkan ke dalam setiap labu hingga tanda batas, sehingga menghasilkan variasi konsentrasi sebesar 0; 0,5; 1; 2; 3; dan 5 ppm. Nilai absorbansi dari masing-masing larutan standar diukur menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) pada panjang gelombang 248,3 nm [23].

Kurva kalibrasi dikonstruksi untuk menentukan konsentrasi logam dalam sampel. Plot linier antara konsentrasi (ppm) pada sumbu-x dan nilai absorbansi pada sumbu-y akan menghasilkan persamaan regresi linier sebagai berikut:

$$y = bx + a$$

Keterangan:
y = Absorbansi Sampel (A)
x = Konsentrasi Sampel (ppm)
a = *Intercept*
b = *Slope*

Adsorpsi Fe(III) Menggunakan Adsorben

Sebanyak lima labu Erlenmeyer berkapasitas 50 mL disiapkan dan diberi label sesuai variasi pH (3, 4, 5, 6, dan 7). Ke dalam masing-masing Erlenmeyer dimasukkan 40 mL larutan Fe(III) dengan konsentrasi awal 20 ppm yang disiapkan dari larutan stok menggunakan air deionisasi.

Nilai pH larutan diatur menggunakan larutan buffer standar (HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M) pada pH 3, 4, 5, 6, dan 7, dan dikontrol menggunakan pH meter terkalibrasi dengan akurasi ±0,01.

Percobaan dilakukan menggunakan dua jenis adsorben, yaitu karbon aktif (KA-AT) berbahan dasar ampas tebu dan komposit silika–karbon aktif (Silika KA-AT). Sebanyak 1 g masing-masing adsorben ditambahkan ke dalam larutan Fe(III) pada setiap Erlenmeyer dalam dua set percobaan terpisah dengan kondisi operasional yang identik.

Campuran kemudian dikocok menggunakan orbital shaker pada kecepatan konstan 200 rpm pada suhu ruang (±25 °C). Waktu kontak divariasikan untuk setiap Erlenmeyer sebagai berikut: 100, 110, 120, 130, dan 140 menit.

Setelah proses adsorpsi selesai, campuran disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42 untuk memisahkan fase padat dan cair. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan AAS untuk menentukan konsentrasi akhir Fe(III) dalam larutan yang mengacu pada metode yang dilaporkan oleh Kartika (2019) [16]. Rincian variasi kondisi penelitian disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Desain eksperimen variasi pH dan waktu kontak pada proses adsorpsi menggunakan karbon aktif ampas tebu

No	Karbon Aktif Ampas Tebu (g)	pH	Waktu Kontak Menit)
1	1	3	100
2	1	4	110
3	1	5	120
4	1	6	130
5	1	7	140

ISSN 2716-0963
e-ISSN 2716-1218

Tabel 2. Desain eksperimen variasi pH dan waktu kontak pada proses adsorpsi menggunakan silika-karbon aktif

No	Silika-Karbon Aktif Ampas Tebu (g)	pH	Waktu Kontak (Menit)
1	1	3	100
2	1	4	110
3	1	5	120
4	1	6	130
5	1	7	140

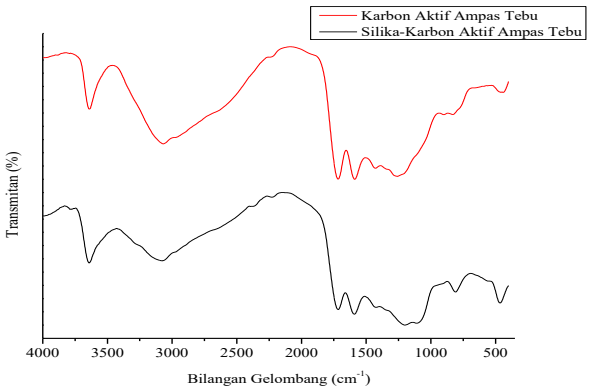
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Ampas Tebu

Sintesis karbon aktif ampas tebu dilakukan melalui tahap karbonisasi dan aktivasi kimia. Karbonisasi termal pada suhu 300°C selama 30 menit bertujuan untuk mengeliminasi senyawa volatil dan membentuk struktur karbon awal. Guna mengoptimalkan luas permukaan, karbon yang dihasilkan dihaluskan dan diayak menggunakan saringan 100 mesh [24]. Selanjutnya, aktivasi kimia dilakukan melalui perendaman dalam larutan HCl 1 M selama 24 jam. Pemilihan HCl didasarkan pada sifatnya sebagai agen pendehidrasi yang efektif melarutkan oksida logam dan memperbesar struktur pori sebagai situs aktif adsorpsi [25][26]. Residu asam dan produk samping reaksi yang berpotensi memblokir pori kemudian dihilangkan melalui pencucian dengan akuades hingga mencapai pH netral [27]. Tahap akhir melibatkan pengeringan sampel dalam oven bersuhu 105°C untuk menguapkan sisa kelembapan.

Analisis Karakterisasi FTIR Adsorben

Karakterisasi FTIR pada rentang bilangan gelombang 400–4000 cm^{-1} dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi fungsional pada permukaan adsorben sebelum dan sesudah modifikasi. Hasil perbandingan spektra antara KA-AT dan komposit Silika-KA-AT disajikan secara visual pada Gambar 1, sedangkan rincian perbandingan bilangan gelombang dengan literatur dirangkum dalam Tabel 3.



Gambar 1. Spektrum FTIR adsorben KA-AT dan silika KA-AT

Tabel 3. Identifikasi gugus fungsi berdasarkan bilangan gelombang pada KA-AT dan silika-KA-AT

Bilangan Gelombang (cm^{-1})				
Handayani dan Rusmini, 2019 [28]	Nisa,dkk 2022 [29]	Penelitian Karbon Aktif Ampas Tebu	Penelitian Silika Karbon Aktif Ampas Tebu	Gugus Fungsi
3441,53	3448,72	3639,68	3641,60	O-H
1607,36	-	1587,42	1591,27	C=C
-	-	1716,65	1716,65	C=O
1246,69	-	1259,42	1201,65	C-O
2959,36	-	2978,09	3076,46	C-H
-	1095,57	-	1111,00	Si-O
-	470,63	-	464,84	Si-O-Si

Berdasarkan spektra yang disajikan pada Gambar 1 dan diringkas pada Tabel 3, modifikasi KA-AT dengan silika telah berhasil dilakukan, ditandai dengan munculnya pita serapan spesifik baru.

Pada adsorben KA-AT murni, spektra menunjukkan profil karakteristik karbon aktif. Pita serapan lebar teramati pada bilangan gelombang 3639,68 cm^{-1}, yang merepresentasikan vibrasi regang ikatan hidrogen dari gugus hidroksil (O-H). Puncak ini mengindikasikan adanya interaksi antara permukaan karbon dengan molekul air yang teradsorpsi, sejalan dengan temuan Handayani dan Rusmini (2019) [28]. Pita serapan pada 2978,09 cm^{-1} merujuk pada vibrasi regang C-H alifatik. Selain itu, teridentifikasi puncak pada 1587,42 cm^{-1} yang merepresentasikan vibrasi regang C=C dari struktur aromatik (alkena), di mana gugus ini diyakini berkontribusi secara

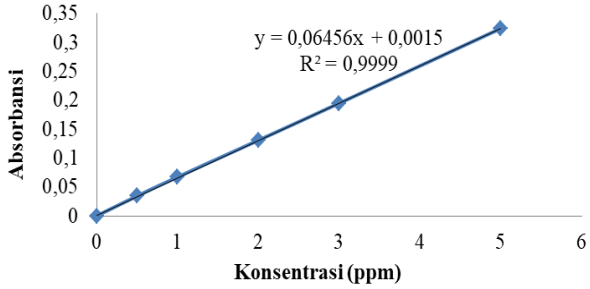
ISSN 2716-0963
e-ISSN 2716-1218

signifikan sebagai situs aktif dalam mekanisme adsorpsi logam. Keberadaan gugus beroksigen pada KA-AT juga dikonfirmasi oleh serapan regang C=O pada 1716,65 cm^{-1} dan C-O pada kisaran 1259,42 cm^{-1}.

Keberhasilan sintesis komposit Silika-KA-AT secara kuat dibuktikan oleh retensi gugus fungsi bawaan karbon dan kemunculan pita serapan baru yang menjadi sidik jari (fingerprint) dari matriks silika. Pada komposit ini, gugus O-H mengalami sedikit pergeseran menjadi 3641,60 cm^{-1}, sementara puncak regang C=C dan C-O berturut-turut terdeteksi pada 1591,27 cm^{-1} dan 1201,65 cm^{-1}. Bukti integrasi silika ditunjukkan secara definitif oleh munculnya pita serapan dominan pada 1111,00 cm^{-1}, yang merupakan karakteristik dari vibrasi ulur simetri Si-O pada ikatan siloksan (Si-O-Si). Lebih lanjut, pita serapan pada daerah 464,84 cm^{-1} memperkuat indikasi keberadaan jejaring Si-O-Si. Kehadiran gugus siloksan ini krusial karena menunjukkan bahwa silika tidak hanya menempel, melainkan membentuk struktur rantai panjang dan pori fungsional melalui ikatan silika-oksigen antarmolekul pada matriks karbon aktif [29].

Evaluasi Kinerja Adsorpsi Logam Fe(III) melalui Analisis AAS

Evaluasi kinerja adsorpsi ion Fe(III) dikuantifikasi menggunakan AAS. Validitas pengukuran melalui kurva kalibrasi standar yang menunjukkan tingkat linearitas sangat tinggi (R^2 = 0.9999). Secara keseluruhan, data mengonfirmasi bahwa baik KA-AT maupun komposit Silika KA-AT merupakan adsorben yang sangat efektif dalam meremediasi logam Fe(III) dari fasa akuatik, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva kalibrasi standar logam Fe(III) menggunakan AAS

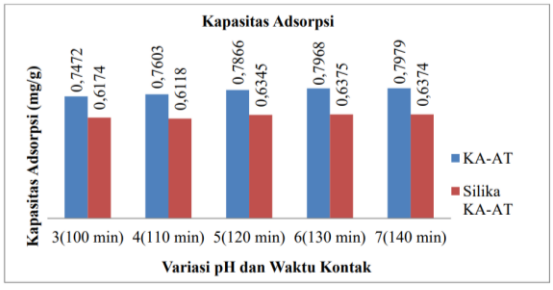
Pengaruh pH dan Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dan persentase adsorpsi dihitung berdasarkan nilai konsentrasi logam sebelum dan sesudah penambahan adsorben menggunakan AAS. Data komprehensif mengenai penurunan konsentrasi logam Fe(III) setelah interaksi dengan kedua jenis adsorben pada berbagai variasi pH dan waktu kontak disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Konsentrasi sisa logam Fe(III) setelah proses adsorpsi.

Adsorben	Variasi pH dan Waktu Kontak (Menit)	Massa (g)	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)
Karbon Aktif Ampas Tebu (KA-AT)	pH 3 (100)	1	20	1,3181
	pH 4 (110)			0,9913
	pH 5 (120)			0,3346
	pH 6 (130)			0,0791
	pH 7 (140)			0,0512
Silika-Karbon Aktif Ampas Tebu (Silika-KA-AT)	pH 3 (100)	1	20	0,7032
	pH 4 (110)			0,8798
	pH 5 (120)			0,1705
	pH 6 (130)			0,0760
	pH 7 (140)			0,0806

Peningkatan pH dan durasi kontak secara signifikan meningkatkan kapasitas penyerapan ion logam, dengan tren data yang ditampilkan pada Gambar 3. Kapasitas maksimal KA-AT tercapai pada pH 7 dengan waktu kontak 140 menit sebesar 0,7979 mg/g. Secara kinetika, interaksi yang lebih lama memungkinkan tercapainya kesetimbangan adsorpsi yang lebih stabil [30], sementara peningkatan pH mengurangi kompetisi ion H^+ sehingga afinitas situs aktif terhadap ion Fe(III) meningkat [31].



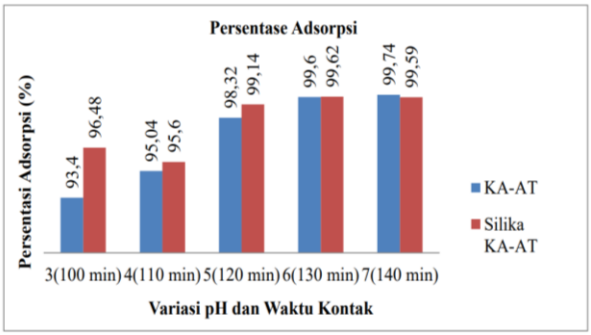
Gambar 3. Kapasitas adsorpsi Fe(III)

ISSN 2716-0963
e-ISSN 2716-1218

Penurunan kapasitas pada komposit Silika KA-AT (0,6375 mg/g) dibandingkan KA-AT murni dianalisis sebagai dampak pengaruh pH dimana pada pH 7 merupakan suasana netral yang mempengaruhi pengadsopsian [32].

Persentase Adsorpsi dan Efisiensi Penyisihan

Nilai persentase adsorpsi berdasarkan pengaruh pH dan waktu kontak adsorben karbon aktif ampas tebu dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Persentase efisiensi adsorpsi logam Fe(III) oleh KA-AT dan silika KA-AT

Terlepas dari variasi kapasitas, efisiensi penyisihan logam oleh kedua adsorben secara konsisten melampaui 93%, dengan rincian data pada Gambar 4.

Efisiensi yang tinggi ini (93,4% – 99,74%) tervalidasi secara kualitatif melalui perubahan warna larutan $FeCl_3$ dari jingga menjadi jernih (tidak berwarna), yang mengindikasikan transfer massa logam dari fase cair ke permukaan padat adsorben secara ekstensif [33].

KESIMPULAN

Penelitian ini secara komprehensif membuktikan bahwa karbon aktif ampas tebu (KA-AT) dan komposit silika-karbon aktif (Silika-KA-AT) merupakan adsorben yang sangat efektif untuk remediasi ion Fe(III) dari fase akuatik. Karakterisasi spektral melalui FTIR memberikan bukti definitif mengenai keberhasilan integrasi silika pada matriks karbon melalui kemunculan vibrasi spesifik gugus siloksan (Si-O-Si), yang berdampingan dengan gugus fungsi bawaan seperti hidroksil dan karbonil. Secara signifikan, evaluasi kinerja menggunakan AAS mengungkapkan fenomena anomali di mana modifikasi silika justru menurunkan kapasitas adsorpsi spesifik dari 0,7979 mg/g menjadi 0,6375 mg/g, sebuah kondisi yang secara mekanistik diatribusikan pada efek pengaruh pH dimana pada pH 7 merupakan suasana netral yang mempengaruhi pengadsopsian. Meskipun terjadi penurunan kapasitas pada komposit, kedua material secara konsisten menunjukkan efisiensi penyisihan yang sangat superior melampaui 93% pada kondisi pH 6-7, yang divalidasi secara visual melalui penjernihan larutan secara signifikan.

REFERENSI

[1] Djoharam, V., Riani, E., & Yani, M. (2018). Analisis kualitas air dan daya tampung beban pencemaran sungai pesanggrahan di wilayah provinsi DKI Jakarta. *Jurnal pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan*, *8*(1), 127-133.

[2] Mutia, E., Lydia, E. N., & Fahriana, N. (2020). Teknik penjernihan air menggunakan limbah cangkang kerang sebagai pengikat ion logam berbahaya pada air. *Global Science Society: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, *2*(2), 389-397.

[3] Ningsih, S., & Harmawan, T. (2022). Pengaruh Penambahan Al2 (SO4) 3 Terhadap Derajat Keasaman Air Baku pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Keumueneng Langsa. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, *4*(1), 20-23.

[4] Hardyanti, I. S., Nurani, I., HP, D. S. H., Apriliani, E., & Wibowo, E. A. P. (2017). Pemanfaatan Silika (SiO2) dan Bentonit sebagai adsorben logam berat Fe pada limbah batik. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, *3*(2).

[5] Harmawan, T., & Irmawati, A. (2017). Analisa Kadar Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Krim Pemutih Yang Beredar Di Daerah Percut Sei Tuan Sampali Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, *1*(1).

[6] Harmawan, T., & Lestari, D. (2020). Pemeriksaan logam berat cadmium (Cd) dan plumbum (Pb) pada lipstik yang beredar di Pasar Brayan Medan Timur

secara spektrofotometri serapan atom (SSA). *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, *2*(2), 18-22.

[7] Faizal, M., Hariyani, H., & Fitri, R. M. (2014). Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Logam Cd Menggunakan Komposit Adsorbent dengan Bentonit & Fe3O4. *Jurnal Teknik Kimia*, *20*(3).

[8] Mellanie, M. D., Harmawan, T., & Wahyuningsih, P. (2022). Iron Metal Ion Adsorption Capacity on Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Montmorillonite Adsorbent. *Journal of Pure & Applied Chemistry Research*, *11*(3).

[9] Saragih, Y. S., Harmawan, T., & Fajri, R. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Montmorillonit Terpilar Besi (III) Oksida. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, *5*(1), 14-18.

[10] Harmawan, T. (2019). Analisa Besi pada Serum Penderita Diabetes Mellitus yang Berobat di Rumah Sakit (RS) Balimbingan PTPN IV Pematang Siantar. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, *1*(2), 24-27.

[11] Lestari, S., Sriana, T., Nurrahman, A., & Nugroho, B. S. (2022). Peningkatan Kualitas Air Sumur Menjadi Air Bersih di Desa Ketileng Kecamatan Todanan Kabupaten Blora Jawa Tengah. *Jurnal ESDM*, *11*(1), 19-27.

[12] Efendy, I., & Syamsul, D. (2019). Faktor Yang Berhubungan Tingkat Konsumsi Air Bersih Pada Rumah Tangga Di Kecamatan Peudada Kabupaten Bireun. *Jurnal Biology Education*, *7*(2), 110-126.

[13] Gunam, I. B. W., Wartini, N. M., Anggreni, A. A. M. D., & Suparyana, P. M. (2011). Delignifikasi ampas tebu dengan larutan natrium hidroksida sebelum proses sakaraifikasi secara enzimatis menggunakan enzim selulase kasar dari Aspergillus niger Fnu 6018. *Jurnal teknologi indonesia*, *34*(3), 24-32.

[14] Nurhayati, I., & Sutrisno, J. (2014). pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai penyerap logam berat cu. *Wahana: Tridarma Perguruan Tinggi*, *63*(2), 27-32.

[15] Yoseva, P. L., Muchtar, A., & Sophia, H. (2015). *Pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai adsorben untuk peningkatan kualitas air gambut* (Doctoral dissertation, Riau University).

[16] Kartika, D. 2019. Karakterisasi Adsorpsi Logam Fe(III) Menggunkan Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit. Tugas Akhir.

[17] Widwiastuti, H., & Asworo, R. Y. (2022). Komparasi Daya Adsorpsi Silika Dari Abu Sekam Padi dan Ampas Tebu Terhadap Adsorpsi Pb2+. *Journal Syifa Sciences and Clinical Research*, *4*(2).

[18] Sulaiman, N., & Cahyaningrum, S. E. (2013). Penentuan pH Optimum Adsorpsi Ion Logam Cr(VI) oleh Kitosan Bead dan Kitosan-Silika Bead. *UNESA Journal of Chemistry*. 2(1), 89 – 93.

[19] Wardhani, G. A. P. K. (2017). Karakterisasi silika pada tongkol jagung dengan spektroskopi infra merah dan difraksi sinar-X. *Jurnal Kimia Riset*, *2*(1), 37-42.

[20] Putri, R. W., Haryati, S., & Rahmatullah, R. (2019). Pengaruh suhu karbonisasi terhadap kualitas karbon aktif dari limbah ampas tebu. *J. Tek. Kim*, *25*(1), 1-4.

[21] Putra, R. (2022). Sintesis silika-kitosan untuk menurunkan kadar ion besi dalam air permukaan. *Alotrop: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*. 6(1): 1 – 9.

[22] Amelia, D. R., & Firiyana, F. (2021). PENGARUH KONSENTRASI HCl TERHADAP SINTESIS KOAGULAN FERI KLORIDA SEBAGAI UPAYA PENANGGULANGAN LIMBAH LOGAM Fe PASCA REGENERASI PROSES ADSORPSI. *Jurnal Chemurgy*, *5*(1), 38-44.

[23] Indonesia, S. N. (2009). Air dan air limbah-Bagian 4: Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)–nyala. *SNI*, *6989*, 2009.

[24] Asrijal, A., Chadijah, S., & Aisyah, A. (2014). Variasi konsentrasi aktivator asam sulfat (H2SO4) pada karbon aktif ampas tebu terhadap kapasitas adsorpsi logam timbal. *Al-Kimia*, *2*(1), 33-44.

[25] Nurbaeti, L., Prasetya, A. T., & Kusumastuti, E. (2018). Arang Ampas Tebu (Bagasse) Teraktivasi Asam Klorida sebagai Penurun Kadar Ion H2PO4. *Indonesian Journal of Chemical Science*, *7*(2), 132-139.

[26] Imani, A., Sukwika, T., & Febrina, L. (2021). Karbon aktif ampas tebu sebagai adsorben penurun kadar besi dan mangan limbah air asam tambang. *Jurnal Teknologi*, *13*(1), 33-42.

[27] Robbika, F. (2022). Sintesis karbon aktif dari ampas tebu dengan aktivasi kimia menggunakan koh sebagai adsorben logam berat cr-vi. *Berkala Penelitian Teknologi Kulit, Sepatu Dan Produk Kulit*, *21*(1), 24-33.

[28] Handayani, D. P., & Rusmini. (2019). Pemanfaatan Ampas Tebu sebagai Karbon Aktif. *Journal of Chemistry*. 8(1): 13-16.

[29] Nisa, M. K., Lianasari, I. Y., & Koesnarpadi, S. (2022). PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI ADSORBEN KITOSAN–SILIKA DAN PENGAPLIKASIAN TERHADAP ADSORPSI ION Cd2+. *Jurnal Atomik*, *7*(1), 30-34.

[30] Kusumawardani, R., Zaharah, T. A., & Destiarti, L. (2018). Adsorpsi kadmium (II) menggunakan adsorben selulosa ampas tebu teraktivasi asam nitrat. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, *7*(3).

[31] Annisa, N., Muhammad, M., Masrullita, M., Zulnazri, Z., & Dewi, R. (2023). Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu sebagai Adsorben Penyerapan Logam dan Kesadahan pada Air Sumur. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, *3*(1), 139-150.

[32] Alif, A., & Mubarak, A. A. (2022). Sintesis Karbon Nanopori Bebas Silika dari Ampas Tebu (Saccharum officenarum) melalui Iradiasi Ultrasonik. *Jurnal Matematika, Sains, dan Pembelajarannya*. 8(2): 159 – 167.

[33] Nurdila, F. A., Asri, N. S., & Suharyadi, E. (2015). Adsorpsi Logam Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Nikel (Ni) dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Nanopartikel Cobalt Ferrite (CoFe2O4)(Halaman 23 sd 27). *Jurnal Fisika Indonesia*, *19*(55).