

Adsorpsi Ion Besi (Fe) pada Air Formasi Menggunakan Komposit Silika - Kitosan dari Abu Ampas Tebu (*Saccharum officinarum* L.)

Viona Azahara, Anerasari Meidinariasty*, Mustain

Program Studi DIV Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

*Koresponden email: anerasari@polsri.ac.id

Diterima: 3 Agustus 2026

Disetujui: 10 Agustus 2026

Abstract

Formation water generated by the oil and gas industry carries dissolved iron (Fe) ions that threaten receiving waters when discharged untreated. This work prepared a silica–chitosan composite from sugarcane bagasse ash (*Saccharum officinarum* L.) and examined its performance as an adsorbent for Fe ions in formation water. Bagasse was calcined at 700 °C, the ash was extracted with NaOH and precipitated with HCl, and the resulting silica was combined with chitosan at a 2:1 ratio. The composite was characterised by FTIR and SEM. Batch adsorption was run at adsorbent masses of 0.1, 0.2, and 0.3 g over contact times of 40–120 minutes, with an initial Fe concentration of 2.262 mg/L measured by AAS. FTIR confirmed siloxane, silanol, and amine functionalities, while SEM revealed a rougher and more uniform surface after modification. Removal efficiency rose with adsorbent mass whereas adsorption capacity declined. The best condition, 0.2 g and 40 minutes, achieved 79.71% removal with a capacity of 0.451 mg/g. The equilibrium data followed the Langmuir pattern more closely than the Freundlich pattern.

Keywords: bagasse ash, chitosan, formation water, iron ion, silica composite

Abstrak

Air formasi yang dihasilkan industri minyak dan gas membawa ion besi (Fe) terlarut yang mengancam badan air penerima apabila dibuang tanpa pengolahan. Penelitian ini menyiapkan komposit silika–kitosan berbahan abu ampas tebu (*Saccharum officinarum* L.) dan menguji kinerjanya sebagai adsorben ion Fe pada air formasi. Ampas tebu dikalsinasi pada 700 °C, abunya diekstraksi dengan NaOH lalu diendapkan dengan HCl, dan silika yang terbentuk digabungkan bersama kitosan pada nisbah 2:1. Komposit dikarakterisasi melalui FTIR dan SEM. Adsorpsi sistem batch dijalankan pada massa adsorben 0,1; 0,2; dan 0,3 g dengan rentang waktu kontak 40–120 menit, pada konsentrasi awal Fe 2,262 mg/L yang diukur menggunakan AAS. FTIR memastikan hadirnya gugus siloksan, silanol, dan amina, sementara SEM memperlihatkan permukaan yang lebih kasar dan seragam setelah modifikasi. Efisiensi penyisihan naik seiring bertambahnya massa adsorben, sedangkan kapasitas adsorpsi justru turun. Kondisi terbaik, yaitu 0,2 g selama 40 menit, mencapai penyisihan 79,71% dengan kapasitas 0,451 mg/g. Data kesetimbangan lebih mendekati pola Langmuir dibandingkan pola Freundlich.

Kata Kunci: abu ampas tebu, air formasi, ion besi, kitosan, komposit silika

1. Pendahuluan

Perkembangan sektor industri di Indonesia berjalan seiring dengan bertambahnya volume limbah cair yang mengandung logam berat. Sifat logam berat yang sukar terurai secara alami membuatnya mudah tertimbun di lingkungan perairan dan berpindah melalui rantai makanan hingga membahayakan makhluk hidup. Pada kegiatan eksploitasi minyak dan gas bumi, limbah cair dengan volume terbesar berasal dari air formasi, yakni air yang ikut terangkat ke permukaan bersama fluida hidrokarbon dari lapisan reservoir. Kandungan air formasi meliputi garam terlarut, padatan, serta sejumlah ion logam; ion besi (Fe) di antaranya muncul akibat korosi peralatan produksi dan pelarutan mineral batuan [1].

Kadar Fe yang berlebih menimbulkan dua persoalan sekaligus. Dari sisi operasional, Fe mudah teroksidasi lalu mengendap membentuk kerak yang mempersempit saluran perpipaan sekaligus memicu korosi. Dari sisi lingkungan, pembuangan air formasi tanpa penanganan dapat menurunkan mutu air permukaan, mengganggu biota perairan, dan melampaui baku mutu yang dipersyaratkan. Karena itu, penyisihan ion Fe dari air formasi menjadi bagian penting dalam pengelolaan limbah industri hulu migas.

Sejumlah teknik telah diterapkan untuk menyisahkan logam dari limbah cair, mulai dari presipitasi kimia, pertukaran ion, hingga pemisahan berbasis membran. Kendalanya, teknik-teknik tersebut menuntut biaya operasional besar, menyisakan lumpur yang perlu ditangani lebih lanjut, atau memerlukan instalasi yang kompleks. Adsorpsi menawarkan jalan keluar yang lebih sederhana karena bekerja efektif pada kadar logam rendah, murah, serta memungkinkan pemakaian bahan penyerap dari sumber yang mudah dijangkau.

Kinerja adsorpsi sendiri ditentukan oleh luas permukaan adsorben dan banyaknya gugus aktif yang tersedia untuk berinteraksi dengan ion logam.

Silika kerap dipilih sebagai adsorben berkat gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) pada permukaannya yang sanggup menambat ion logam lewat pertukaran ion maupun ikatan koordinasi. Sumber silika tidak harus berasal dari bahan komersial; limbah biomassa berkadar silika tinggi dapat dimanfaatkan, salah satunya abu ampas tebu (*Saccharum officinarum* L.). Sebagai negara produsen tebu, Indonesia menghasilkan ampas tebu dalam jumlah besar, dan abunya dilaporkan mengandung SiO_2 sekitar 68,5% [2]. Pemanfaatan abu ampas tebu dengan demikian sekaligus menjawab persoalan limbah pertanian. Karakter silika hasil ekstraksi abu ampas tebu telah dilaporkan sebelumnya dan kemampuannya menyerap logam berat cukup menjanjikan [3] [4].

Rangkaian sintesis silika dari abu ampas tebu mencakup perendaman asam (HCl) guna melarutkan pengotor anorganik, pelarutan dengan basa (NaOH) sehingga terbentuk natrium silikat, serta pengendapan ulang memakai asam hingga terbentuk gel silika [5]. Kelemahan silika murni terletak pada jumlah gugus aktifnya yang terbatas, sehingga daya serapnya belum maksimal. Penambahan material lain pada permukaan silika diperlukan untuk memperbanyak situs pengikatan ion logam.

Kitosan, biopolimer hasil deasetilasi kitin, membawa gugus amina bebas ($-\text{NH}_2$) serta gugus hidroksil yang reaktif terhadap ion logam. Gugus amina berperan mengikat ion Fe melalui pembentukan senyawa kompleks [6]. Menyatukan silika dengan kitosan dalam bentuk komposit diharapkan memadukan kestabilan dan gugus silanol milik silika dengan keaktifan gugus amina milik kitosan, sehingga daya serap material meningkat [7]. Sebelum dikompositkan, kitosan perlu dilarutkan dalam asam asetat agar penyebarannya pada permukaan silika lebih merata [8].

Bertolak dari uraian di atas, penelitian ini diarahkan untuk menyiapkan komposit silika-kitosan berbahan abu ampas tebu, memastikan pembentukannya melalui FTIR dan SEM, kemudian menguji pengaruh massa adsorben serta waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi ion Fe pada air formasi. Kecenderungan kesetimbangan adsorpsi juga ditinjau memakai model Langmuir dan Freundlich. Penggunaan air formasi sebagai matriks uji, bukan larutan logam sintesis, menjadi pembeda penelitian ini karena mencerminkan kondisi limbah yang sesungguhnya.

Dua peubah yang dikaji, yakni massa adsorben dan waktu kontak, dipilih karena keduanya paling menentukan dalam penerapan adsorpsi di lapangan. Massa adsorben berhubungan langsung dengan jumlah situs aktif yang disediakan serta biaya bahan yang harus ditanggung, sementara waktu kontak menentukan lamanya proses sekaligus kebutuhan energi pengadukan. Menemukan titik ketika penambahan massa maupun perpanjangan waktu tidak lagi memberi perbaikan berarti menjadi hal penting agar pengolahan berjalan hemat. Karena itu, penelitian ini tidak berhenti pada pembuktian terbentuknya komposit, melainkan berlanjut pada penetapan kombinasi kondisi yang paling menguntungkan dari sisi efisiensi maupun pemakaian bahan.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan peralatan

Bahan yang dipakai meliputi ampas tebu, natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl), kitosan, asam asetat 2%, akuades, serta air formasi sebagai sampel uji. Peralatan yang digunakan mencakup *furnace*, oven, neraca analitik, *magnetic stirrer*, *hot plate*, ayakan 100 mesh, kertas saring Whatman No. 42, pH meter, serta peralatan gelas laboratorium. Instrumen analisis yang dipakai adalah *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Seluruh rangkaian percobaan berlangsung di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, pada April hingga Juni 2026.

2.2 Ekstraksi silika dari abu ampas tebu

Ampas tebu dijemur selama dua hari sebelum dibakar dalam *furnace* bersuhu $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam. Abu yang terbentuk digerus lalu diayak sampai lolos 100 mesh. Tahap penghilangan pengotor dilakukan dengan merendam 100 g abu dalam 1 L HCl 1 M (nisbah 1:10 b/v) disertai pengadukan selama 2 jam, kemudian disaring, dibilas sampai pH netral, dan dikeringkan pada $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Abu bersih tersebut dilarutkan dalam NaOH 2 M (nisbah 1:6 b/v) pada $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 1,5 jam sehingga terbentuk larutan natrium silikat, lalu disaring. Filtratnya dititrasi perlahan dengan HCl 1 M sampai pH netral dan didiamkan semalam hingga terbentuk gel silika. Gel dibilas hingga netral lalu dikeringkan pada $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai diperoleh serbuk silika.

2.3 Penyiapan komposit silika-kitosan

Kitosan sebanyak 2 g dilarutkan dalam 100 mL asam asetat 2% sampai homogen. Serbuk silika kemudian dimasukkan ke dalam larutan tersebut dengan nisbah silika terhadap kitosan 2:1 (b/v) sambil

diaduk hingga merata. Campuran dibiarkan pada suhu ruang selama kurang lebih 18 jam, disaring, dibilas sampai pH netral, lalu dikeringkan pada 100 °C hingga bobotnya tetap. Padatan yang diperoleh digerus dan diayak sampai lolos 100 mesh.

2.4 Percobaan adsorpsi

Air formasi sebanyak 50 mL disiapkan untuk setiap percobaan, dan kadar awal ion Fe (C_0) ditetapkan memakai AAS pada panjang gelombang 324,8 nm. Keasaman larutan dikondisikan pada pH 5 dengan HCl 0,1 M. Adsorben ditambahkan pada tiga tingkat massa, yakni 0,1; 0,2; dan 0,3 g, lalu diaduk selama 40, 60, 80, 100, dan 120 menit pada suhu 30 °C. Setelah pengadukan, larutan dipisahkan melalui penyaringan dan kadar Fe sisa (C_e) diukur ulang dengan AAS. Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi (q_e) dihitung memakai persamaan (1) dan (2).

$$\% \text{ Fe teradsorpsi} = [(C_0 - C_e) / C_0] \times 100\% \quad (1)$$

$$q_e = [(C_0 - C_e) \times V] / W \quad (2)$$

C_0 dan C_e berturut-turut menyatakan kadar ion Fe sebelum dan sesudah adsorpsi (mg/L), V adalah volume larutan (L), sedangkan W adalah massa adsorben (g). Data efisiensi dan kapasitas yang diperoleh selanjutnya dipakai untuk meninjau kecenderungan kesetimbangan melalui model Langmuir dan Freundlich.

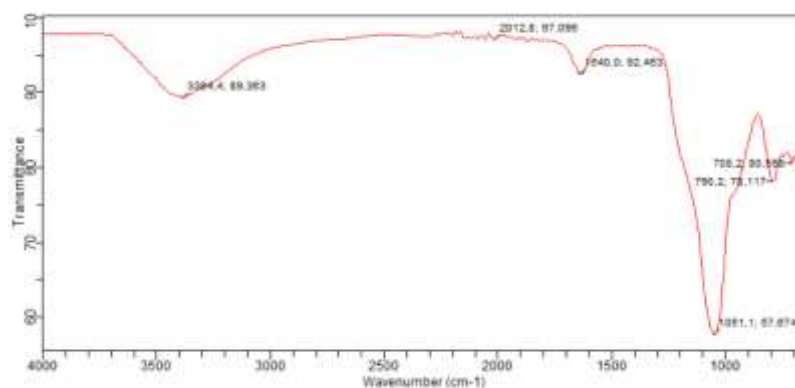
2.5 Karakterisasi material

Identifikasi gugus fungsi dilakukan memakai FTIR pada rentang bilangan gelombang 4000–650 cm^{-1} , sedangkan penampakan permukaan silika sebelum dan sesudah modifikasi diamati melalui SEM pada perbesaran 5.000 $\times$.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Gugus fungsi dan morfologi komposit

Kemampuan silika menambat ion Fe bersandar pada gugus silanol dan siloksan [9], sementara kitosan mengikat Fe lewat gugus aminanya dengan kapasitas terlapor mencapai 11,574 mg/g [10] dan efektivitas hingga 92,65% [11]. Penyatuan kedua material diharapkan menghimpun kelebihan masing-masing. Bukti terbentuknya komposit ditelusuri melalui spektrum FTIR yang disajikan pada **Gambar 1**, dengan penugasan pita serapan dirangkum pada **Tabel 1**.



Gambar 1. Spektrum FTIR komposit silika–kitosan

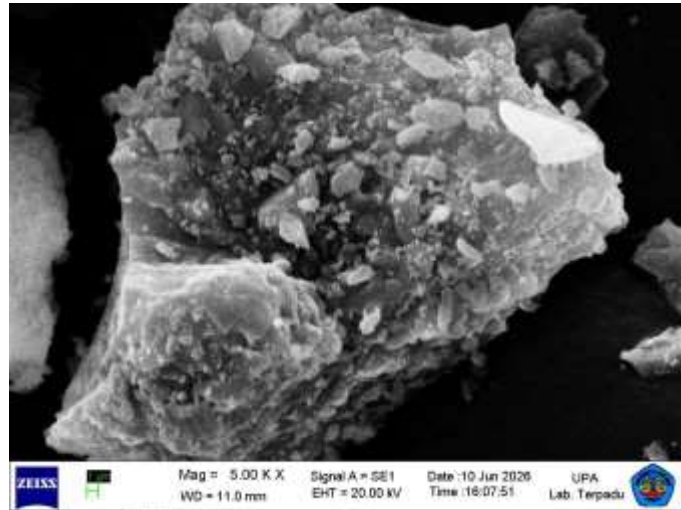
Tabel 1. Penugasan pita serapan FTIR komposit silika–kitosan

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Jenis vibrasi	Sumber gugus
3384,4	Ulur –OH (silanol dan hidroksil)	Silika dan kitosan
1640,0	Tekuk N–H (amina)	Kitosan
1051,1	Ulur asimetris Si–O–Si	Silika
790,2	Ulur simetris Si–O–Si	Silika
708,2	Tekuk Si–O	Silika

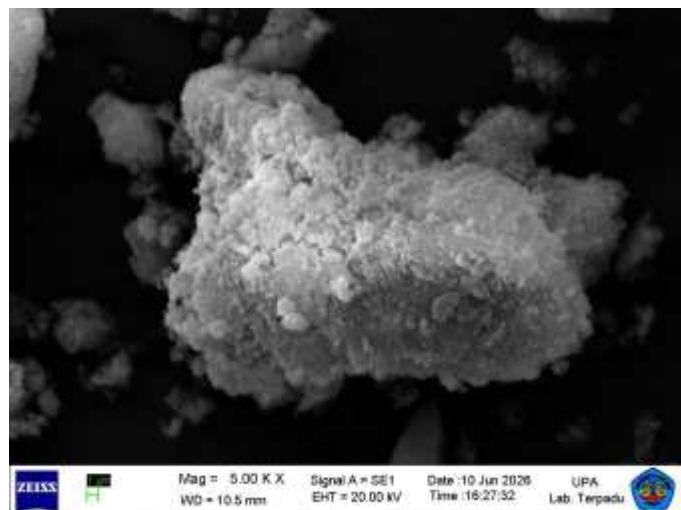
Enam pita serapan utama teramati pada 3384,4; 2012,8; 1640,0; 1051,1; 790,2; dan 708,2 cm^{-1} . Serapan melebar di 3384,4 cm^{-1} mencerminkan bertumpuknya vibrasi silanol milik silika dengan gugus –OH maupun –NH milik kitosan yang terhubung lewat ikatan hidrogen [12]. Munculnya serapan 1640,0 cm^{-1} menandai gugus amina kitosan yang berperan sebagai situs utama penambatan logam [8]. Puncak

paling tajam berada di $1051,1 \text{ cm}^{-1}$ milik siloksan, memperlihatkan dominasi silika dalam komposit sejalan dengan nisbah 2:1 yang dipakai, dan diperkuat serapan pada $790,2$ serta $708,2 \text{ cm}^{-1}$. Kehadiran ketiga jenis gugus, yakni Si-O-Si, Si-OH, dan -NH_2 , di dalam satu spektrum menjadi penanda bahwa penggabungan silika dan kitosan telah berlangsung. Gugus silanol menambat Fe lewat pertukaran ion [13], sedangkan gugus amina melalui pembentukan kompleks.

Tidak terdeteksinya pita serapan baru di luar gugus penyusun kedua bahan menunjukkan bahwa penggabungan berlangsung melalui antaraksi fisik dan ikatan hidrogen, bukan melalui reaksi kimia yang membentuk senyawa baru. Pola semacam ini memang diharapkan pada pembuatan komposit, sebab gugus aktif masing-masing komponen tetap tersedia untuk menambat ion logam. Dengan demikian, silika menyumbang gugus silanol sekaligus kerangka pendukung yang stabil, sementara kitosan menyumbang gugus amina yang reaktif, dan keduanya bekerja berdampingan pada permukaan yang sama. Perubahan penampakan permukaan sebelum dan sesudah modifikasi ditampilkan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.



Gambar 2. Permukaan silika abu ampas tebu pada perbesaran 5.000×



Gambar 3. Permukaan komposit silika-kitosan pada perbesaran 5.000×

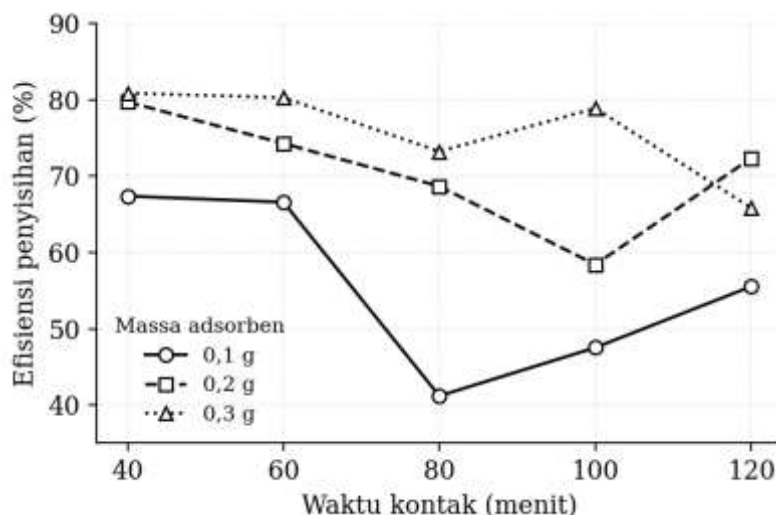
Silika sebelum modifikasi (**Gambar 2**) berupa bongkahan berukuran besar dengan tepian menyudut dan permukaan rapat, sehingga gugus aktif yang terpapar relatif sedikit. Setelah kitosan ditambahkan (**Gambar 3**), permukaan tampak diselubungi butiran halus yang mengelompok dan cenderung membulat. Pola ini menunjukkan kitosan telah menyebar dan menyelubungi permukaan silika. Bertambahnya kekasaran serta luas bidang kontak, disertai hadirnya gugus amina, menjadikan permukaan komposit lebih siap menampung ion Fe. Pengamatan SEM ini sejalan dengan temuan FTIR mengenai keberhasilan modifikasi.

3.2 Peran massa adsorben dan waktu kontak

Percobaan dijalankan pada kadar awal ion Fe 2,262 mg/L dengan tiga tingkat massa adsorben dan lima titik waktu kontak. Hasil perhitungan efisiensi penyisihan dimuat pada Tabel 2 serta divisualkan melalui **Gambar 4**.

Tabel 2. Efisiensi penyisihan ion Fe (%) pada berbagai massa adsorben dan waktu kontak

Massa (g)	40 menit	60 menit	80 menit	100 menit	120 menit
0,1	67,37	66,58	41,20	47,52	55,53
0,2	79,71	74,27	68,66	58,40	72,33
0,3	80,86	80,28	73,21	78,87	65,83



Gambar 4. Hubungan waktu kontak dengan efisiensi penyisihan ion Fe

Penyisihan tertinggi pada seluruh tingkat massa terjadi di menit ke-40, berturut-turut 67,37% untuk 0,1 g; 79,71% untuk 0,2 g; dan 80,86% untuk 0,3 g. Melewati titik tersebut, nilai efisiensi bergerak naik-turun tanpa perbaikan berarti, pertanda kesetimbangan sudah tercapai. Menurunnya efisiensi pada waktu kontak yang lebih panjang diduga berkaitan dengan terlepasnya kembali sebagian ion Fe yang telah terikat akibat pengadukan yang terus berlangsung [14].

Bertambahnya massa adsorben menaikkan efisiensi karena situs aktif yang tersedia ikut bertambah. Kenaikan mencolok hanya terjadi ketika massa dinaikkan dari 0,1 g ke 0,2 g, sedangkan penambahan berikutnya menuju 0,3 g memberi selisih yang tipis. Pola ini mengisyaratkan penyerapan sudah mendekati titik jenuh pada massa 0,2 g. Angka 79,71% yang dicapai sebanding dengan capaian adsorben silika-kitosan berbahan abu ampas tebu pada penelitian terdahulu [15]. Perlu dicatat bahwa kadar awal Fe pada air formasi yang tergolong rendah, yakni 2,262 mg/L, turut membatasi rentang penurunan kadar yang dapat teramati. Kecenderungan berlawanan tampak pada kapasitas adsorpsi, sebagaimana dirangkum pada **Tabel 3** dan **Gambar 5**.

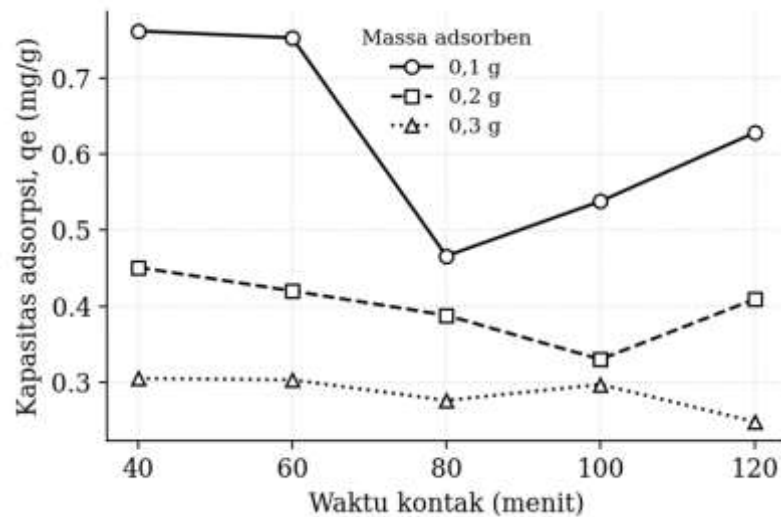
Tabel 3. Kapasitas adsorpsi ion Fe (mg/g) pada berbagai massa adsorben dan waktu kontak

Massa (g)	40 menit	60 menit	80 menit	100 menit	120 menit
0,1	0,762	0,753	0,466	0,538	0,628
0,2	0,451	0,420	0,388	0,330	0,409
0,3	0,305	0,303	0,276	0,297	0,248

Pada waktu kontak 40 menit, kapasitas menurun berurutan dari 0,762 mg/g (0,1 g) menjadi 0,451 mg/g (0,2 g) lalu 0,305 mg/g (0,3 g). Penyebabnya, jumlah ion Fe yang tersedia di dalam larutan bersifat tetap, sehingga menambah massa adsorben berarti menyisakan lebih banyak situs aktif yang tidak terpakai dan menurunkan jumlah ion terserap per satuan massa. Nilai kapasitas yang tergolong kecil juga merupakan konsekuensi rendahnya kadar awal Fe, dan berpeluang naik apabila diuji pada kadar awal yang lebih tinggi. Dengan menimbang efisiensi yang tinggi sekaligus pemakaian bahan yang lebih irit, kombinasi massa 0,2 g dan waktu kontak 40 menit dinilai sebagai kondisi terbaik.

Perbedaan arah antara efisiensi dan kapasitas ini penting dicermati ketika hasil penelitian hendak diterapkan. Efisiensi menggambarkan seberapa besar bagian ion Fe yang berhasil disingkirkan dari larutan,

sehingga menjadi ukuran utama ketika sasarannya adalah pemenuhan baku mutu buangan. Sebaliknya, kapasitas menggambarkan produktivitas setiap gram adsorben, sehingga lebih relevan ketika yang

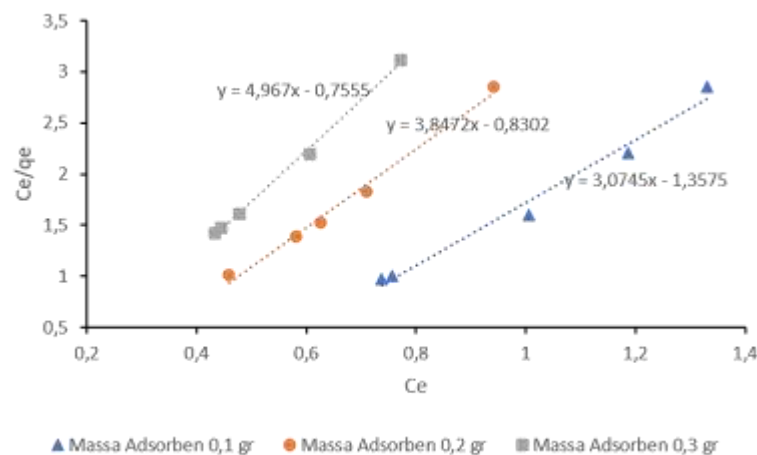


diperhitungkan adalah biaya bahan dan jumlah adsorben bekas yang harus ditangani. Memilih massa yang paling besar memang menghasilkan efisiensi tertinggi, namun sebagian besar situs aktifnya terbuang percuma. Kombinasi 0,2 g selama 40 menit dipandang paling seimbang karena memberi efisiensi yang hampir menyamai massa 0,3 g, sementara kapasitasnya masih jauh lebih baik.

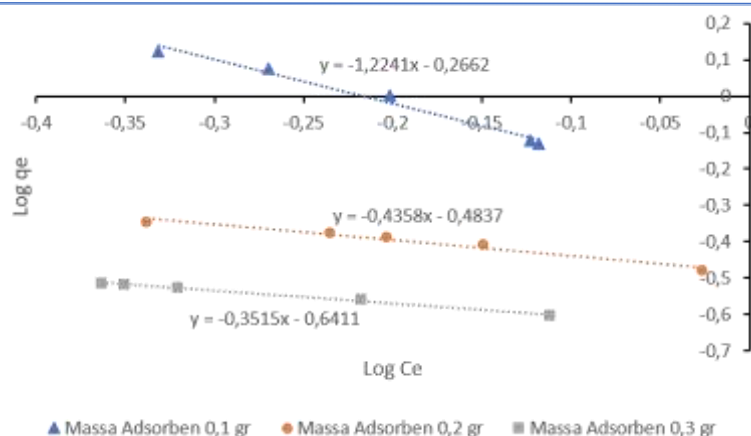
Gambar 5. Hubungan waktu kontak dengan kapasitas adsorpsi ion Fe

3.3 Tinjauan kesetimbangan adsorpsi

Kecenderungan kesetimbangan ditelaah memakai dua model klasik, yakni Langmuir [16] yang mengandaikan penyerapan berlangsung satu lapis pada situs seragam, dan Freundlich [17] yang mengandaikan permukaan bersifat heterogen. Model Langmuir dinilai melalui aluran C_e/q_e terhadap C_e , sedangkan Freundlich melalui aluran $\log q_e$ terhadap $\log C_e$. Kedua aluran ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7, sementara parameternya dirangkum pada Tabel 4.



Gambar 6. Aluran isoterm Langmuir pada adsorpsi ion Fe



Gambar 7. Aluran isoterm Freundlich pada adsorpsi ion Fe

Tabel 4. Parameter isoterm Langmuir dan Freundlich pada adsorpsi ion Fe

Massa (g)	$q_{\max}$ (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2 Langmuir	n	K^R	R^2 Freundlich
0,1	0,325	-2,265	0,983	-1,247	0,606	0,982
0,2	0,260	-4,634	0,991	-2,294	0,328	0,971
0,3	0,201	-6,575	0,997	-2,845	0,229	0,991

Koefisien determinasi model Langmuir (0,983; 0,991; dan 0,997) konsisten berada di atas nilai model Freundlich (0,982; 0,971; dan 0,991). Temuan ini mengarahkan bahwa penyerapan lebih menyerupai pola lapisan tunggal pada situs yang relatif seragam. Kecenderungan senada dilaporkan pada penyerapan Fe(III) memakai komposit kitin–silika berbahan sekam padi [18].

Kendati demikian, tetapan K_L maupun n yang diperoleh bernilai negatif, dan $q_{\max}$ hasil perhitungan berada di bawah q_e hasil pengukuran. Kondisi tersebut membuat parameter isoterm belum layak dimaknai secara fisik. Penyebab utamanya adalah penggunaan satu nilai kadar awal saja, sementara penetapan model isoterm yang sah menuntut variasi kadar awal ion Fe. Oleh sebab itu, kecenderungan ke arah Langmuir pada penelitian ini ditempatkan sebatas indikasi awal, sedangkan penjelasan mekanisme penambatan Fe lebih kuat bersandar pada keberadaan gugus silanol dan amina yang telah dibuktikan FTIR maupun SEM.

3.4 Tinjauan penerapan

Capaian penyisihan sebesar 79,71% memperlihatkan bahwa komposit berbahan limbah ampas tebu mampu bekerja pada matriks air formasi yang sesungguhnya, bukan sekadar pada larutan buatan. Hal ini patut dicatat karena air formasi mengandung beragam ion terlarut lain yang berpotensi bersaing memperebutkan situs aktif, sehingga kinerja pada matriks nyata umumnya lebih rendah dibandingkan pada larutan tunggal. Waktu kesetimbangan yang tergolong singkat, yakni 40 menit, juga menguntungkan dari sisi kebutuhan energi pengadukan apabila proses hendak dijalankan pada skala yang lebih besar.

Sekalipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu dinyatakan secara terbuka. Kadar awal ion Fe yang dipakai hanya satu nilai, sehingga rentang penurunan kadar yang teramati sempit dan penetapan model isoterm belum dapat dituntaskan. Pengujian juga belum mencakup pengaruh keasaman larutan, suhu, maupun kemampuan adsorben untuk dipakai ulang, padahal ketiganya turut menentukan kelayakan penerapan. Pengukuran luas permukaan secara langsung pun belum dilakukan, sehingga penjelasan mengenai bertambahnya luas kontak masih bersandar pada pengamatan morfologi. Keterbatasan-keterbatasan tersebut membuka ruang bagi penelitian lanjutan yang lebih menyeluruh.

4. Kesimpulan

Komposit silika–kitosan berbahan abu ampas tebu berhasil disiapkan, dengan pembentukannya dipastikan melalui FTIR dan SEM. Spektrum FTIR memperlihatkan gugus siloksan, silanol, dan amina, sementara citra SEM menampilkan permukaan yang lebih kasar dan seragam setelah modifikasi; gugus silanol dan amina inilah yang berperan menambat ion Fe melalui pertukaran ion dan pembentukan kompleks. Massa adsorben dan waktu kontak terbukti memengaruhi penyerapan, dengan efisiensi yang meningkat mengikuti pertambahan massa sedangkan kapasitas adsorpsi bergerak sebaliknya. Kombinasi terbaik dicapai pada massa 0,2 g dan waktu kontak 40 menit yang menghasilkan penyisihan 79,71% serta kapasitas 0,451 mg/g. Data kesetimbangan lebih mendekati pola Langmuir, meskipun parameter isoterm belum dapat ditetapkan secara pasti karena percobaan hanya memakai satu kadar awal.

5. Saran

Penelitian lanjutan disarankan menguji beberapa tingkat kadar awal ion Fe agar model isoterm beserta parameter fisiknya dapat ditetapkan secara meyakinkan. Penambahan analisis luas permukaan melalui metode BET dan penelusuran kristalinitas memakai XRD juga akan memperkuat penjelasan mekanisme penyerapan. Selain itu, pengujian daya guna ulang adsorben perlu dilakukan untuk menilai kelayakan penerapannya pada skala yang lebih besar.

6. Referensi

- [1] N. M. Ahmad dan L. Said, "Analisa air formasi dalam menentukan kecenderungan pembentukan scale pada sumur X, Y dan Z," *Seminar Nasional Cendekiawan*, hal. 317–325, 2015.
- [2] C. Purnawan, T. Martini, dan I. P. Rini, "Sintesis dan karakterisasi silika abu ampas tebu termodifikasi arginin sebagai adsorben ion logam Cu(II)," *ALCHEMY J. Penelit. Kim.*, vol. 14, no. 2, hal. 334–349, 2018.
- [3] T. Paramitha, T. R. Saputra, A. N. Aliah, A. V. Tarigan, dan M. Ghazali, "Karakterisasi silika dari abu ampas tebu," *KOVALEN J. Riset Kim.*, vol. 5, no. 3, 2019.
- [4] R. Hidayat, Yupita, P. W. Pangestuti, N. A. Tafdila, dan V. A. Fabiani, "Ekstraksi dan karakterisasi silika dari abu limbah ampas tebu minuman sari tebu di Bangka," dalam *Prosiding SEMNAS-SINTA VII*, vol. 1, hal. 72–77, 2023.
- [5] M. Y. Sari dan E. B. Susatyo, "Sintesis kitosan-silika bead serta aplikasinya untuk menurunkan kadar ion Cr(VI) dalam larutan," *J. MIPA*, vol. 40, no. 2, 2017.
- [6] J. Dai, F. Ren, dan C. Tao, "Adsorption behavior of Fe(II) and Fe(III) ions on thiourea cross-linked chitosan with Fe(III) as template," *Molecules*, vol. 17, no. 4, hal. 4388–4399, 2012.
- [7] R. Putra, R. Elvia, dan H. Amir, "Sintesis silika-kitosan untuk menurunkan kadar ion besi dalam air permukaan," *ALOTROP*, vol. 6, no. 1, 2022.
- [8] S. Sjamsiah, K. Ramadani, dan H. Hermawan, "Sintesis membran silika kitosan dari abu ampas tebu (bagasse)," *Al-Kimia*, vol. 5, no. 1, 2017.
- [9] I. S. Hardyanti, I. Nurani, D. S. Hardjono HP, E. Apriliani, dan E. A. P. Wibowo, "Pemanfaatan silika (SiO₂) dan bentonit sebagai adsorben logam berat Fe pada limbah batik," *JST (J. Sains Terap.)*, vol. 3, no. 2, 2017.
- [10] W. Prambaningrum, K. Khabibi, dan M. C. Djunaidi, "Adsorpsi ion besi(III) dan kadmium(II) menggunakan gel kitosan," *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 12, no. 2, hal. 47–51, 2009.
- [11] K. Karelius, "Pemanfaatan kitosan sebagai adsorben ion logam Fe pada air gambut yang akan digunakan sebagai air minum," *J. Ilm. Kanderang Tingang*, vol. 3, no. 2, hal. 33–39, 2012.
- [12] P. K. Jal, M. Sudarshan, A. Saha, S. Patel, dan B. K. Mishra, "Synthesis and characterization of nanosilica prepared by precipitation method," *Colloids Surf. A*, vol. 240, no. 1–3, 2004.
- [13] A. Mohmed, A. Blash, dan T. V. S. Vara Lakshmi, "Properties of geopolymer concrete produced by silica fume and ground-granulated blast-furnace slag," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 5, 2013.
- [14] A. P. Bagaskoro, L. F. Ayunda, dan N. D. Siswati, "Pemanfaatan biomassa bulu ayam sebagai adsorben logam Fe dalam air tanah," *Chempro*, vol. 1, no. 1, hal. 1–8, 2020.
- [15] T. Pawitra, A. Setiawan, dan T. A. Ramadani, "Sintesis dan karakterisasi kitosan-silika dari abu ampas tebu sebagai adsorben logam berat Cu(II)," *Reka Buana*, vol. 6, no. 1, 2021.
- [16] I. Langmuir, "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 40, no. 9, 1918.
- [17] H. M. F. Freundlich, "Over the adsorption in solution," *J. Phys. Chem.*, vol. 57, hal. 385–471, 1906.
- [18] M. Rahma, H. Hasri, dan D. E. Pratiwi, "Studi adsorpsi logam Fe(III) menggunakan komposit kitin silika sekam padi," *Sainsmat*, vol. 12, no. 2, 2023.