Jurnal Keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan (JK3L)
e-ISSN: 2776-4133. Volume 07 (1) 2026
http://jk3l.fkm.unand.ac.id/index.php/jk3l/index

Perbandingan Penurunan Konsentrasi Mangan dalam Larutan Aqueous menggunakan Limbah Kulit Nangka dan Kulit Jengkol

Comparative Study on the Removal of Dissolved Manganese in Aqueous Solutions Using Jackfruit and Jengkol Peel Waste

Trisfa Augia[1*], Dendi Adi Saputra[2], Aliffa Oktanofrida Hade[3]

1. Departemen Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Andalas, Padang, Indonesia
2. Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Indonesia
3. Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

***Corresponding Author : Trisfa Augia**
Email : trisfaaugia@ph.unand.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran mangan (Mn) dalam air dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan dan kualitas lingkungan, sehingga diperlukan metode pengolahan yang efektif dan ekonomis. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kemampuan limbah kulit nangka dan kulit jengkol dalam menurunkan konsentrasi mangan terlarut dalam larutan *aqueous*. Percobaan dilakukan dengan menambahkan 1 g biomassa ke dalam larutan $MnSO_4$ artifisial, selama 30 menit kemudian difiltrasi untuk memperoleh fraksi mangan terlarut. Variasi perlakuan meliputi arang kulit jengkol tanpa aktivasi, pelet kulit nangka, serbuk kulit nangka (100 mesh), biochar kulit nangka, serta *manganese greensand* sebagai pembanding. Konsentrasi Mn dianalisis menggunakan metode spektrofotometri serapan atom, dan data diuji secara statistik menggunakan ANOVA dan uji lanjut Tukey HSD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan arang kulit jengkol menurunkan konsentrasi Mn sebesar 4,81%. Serbuk kulit nangka dan biochar kulit nangka menunjukkan efisiensi penurunan tertinggi, masing-masing sebesar 65,4% dan 69,1%. Terdapat perbedaan signifikan antara perlakuan menggunakan kulit jengkol dan kulit nangka. Namun, tidak terdapat perbedaan signifikan antara serbuk kulit nangka dan biochar. Perlakuan lainnya tidak berbeda signifikan terhadap kontrol. Hasil ini menunjukkan bahwa limbah kulit nangka berpotensi sebagai bahan adsorben yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk pengolahan air tercemar mangan. Ukuran partikel dan luas permukaan biomassa berperan penting dalam penurunan mangan terlarut.

Kata Kunci : mangan terlarut, kulit nangka, kulit jengkol, adsorben biomassa

ABSTRACT

Manganese (Mn) contamination in water poses risks to human health and environmental quality, necessitating effective and economical treatment methods. This study aimed to compare the performance of jackfruit peel and jengkol peel waste in reducing dissolved manganese concentration in aqueous solution. Experiments were conducted by adding 1 g of biomass into artificial $MnSO_4$ solution, followed by a 30-minute contact period and filtration to obtain the dissolved Mn fraction. The treatments included unactivated jengkol peel charcoal, jackfruit peel pellets, powdered jackfruit peel (100 mesh), jackfruit peel biochar, and manganese greensand as a reference. Mn concentrations were determined using atomic absorption spectrophotometry, and the data were analyzed using one-way ANOVA followed by Tukey HSD test. The results showed that jengkol peel charcoal reduced Mn concentration by 4.81%. Powdered jackfruit peel and jackfruit peel biochar exhibited the highest removal efficiencies of 65.4% and 69.1%, respectively. A significant difference was observed between jengkol peel and jackfruit peel treatments, whereas no significant difference was found between powdered jackfruit peel and biochar. Other treatments were not significantly different from the control. These findings indicate that particle size and surface area play a key role in manganese removal. Jackfruit peel waste shows strong potential as an effective, low-cost, and environmentally friendly adsorbent. Keywords: dissolved manganese, jackfruit peel, jengkol peel, biomass adsorbent

PENDAHULUAN

Kulit jengkol merupakan limbah padat pertanian yang berasal dari buah tanaman jengkol (*Archidendron jiringa* atau *Pithecello bium jiringa*) yang banyak dikonsumsi di wilayah Asia Tenggara, termasuk Indonesia, Malaysia, dan Thailand. Tanaman ini menghasilkan buah berbentuk polong berwarna ungu tua yang berisi beberapa biji, sedangkan bagian kulitnya umumnya dibuang sebagai limbah organik setelah proses konsumsi atau pengolahan makanan. Kulit buah nangka (*Artocarpus heterophyllus*) juga merupakan salah satu limbah padat yang banyak ditemukan di Indonesia dikarenakan pemanfaatan buah nangka sebagai sumber makanan dan minuman yang populer. Limbah kulit jengkol dan kulit nangka memiliki potensi pemanfaatan yang cukup besar karena secara kimiawi mengandung berbagai komponen biomassa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang termasuk dalam kelompok lignoselulosa. Komponen lignoselulosa tersebut memberikan sifat struktural yang kaya akan gugus fungsi aktif sehingga memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan adsorben alami dalam proses pengolahan limbah cair.

Karakteristik fisik kulit jengkol dan kulit buah nangka mendukung penggunaannya sebagai bahan adsorben (1) (2) (3). Struktur biomassa yang bersifat berpori serta kandungan karbon yang relatif tinggi memungkinkan pembentukan arang aktif melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Dalam penelitian terdahulu, adsorben yang dibuat dari kulit jengkol menunjukkan nilai bilangan iodin yang cukup tinggi, yang mengindikasikan kemampuan adsorpsi yang baik terhadap senyawa dalam fase cair (4). Kulit jengkol juga digunakan sebagai biosorben untuk mengadsorpsi berbagai ion logam berat seperti kromium, timbal, kadmium, dan besi dari larutan berair (5-7). Demikian juga dengan kulit buah nangka dalam bentuk arang aktif, efektif menyerap logam timbal dalam limbah cair (8). Proses biosorpsi tersebut umumnya dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pH larutan, waktu kontak, konsentrasi awal logam, serta massa adsorben yang digunakan. Kemampuan ini menjadikan kulit jengkol sebagai bahan adsorben alternatif yang potensial, terutama karena ketersediaannya melimpah, biaya yang rendah, serta sifatnya yang ramah lingkungan dibandingkan dengan adsorben komersial seperti karbon aktif sintetik.

Mangan (Mn) merupakan salah satu logam transisi yang banyak ditemukan di alam dan termasuk unsur esensial bagi organisme hidup dalam jumlah kecil. Unsur ini memiliki nomor atom 25 dan secara alami terdapat di kerak bumi dalam berbagai bentuk mineral seperti oksida, karbonat, dan silikat. Aktivitas industri seperti pertambangan, metalurgi, produksi baterai, serta industri kimia turut meningkatkan pelepasan mangan ke lingkungan, khususnya ke badan air, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran perairan (9). Selain dari aktivitas antropogenik, keberadaan mangan dalam air juga dapat berasal dari proses alami seperti pelapukan batuan dan erosi tanah yang mengandung mineral mangan (10).

Secara kimia, mangan dapat berada dalam berbagai tingkat oksidasi, antara lain Mn^{2+}, Mn^{3+}, Mn^{4+}, Mn^{6+}, dan Mn^{7+}. Namun, dalam sistem perairan alami bentuk yang paling stabil dan umum dijumpai adalah mangan divalen (Mn^{2+}). Bentuk ini memiliki kelarutan yang tinggi dalam air sehingga mudah berpindah dan terdistribusi dalam lingkungan perairan . Dalam kondisi oksidatif, Mn^{2+} dapat teroksidasi menjadi mangan dioksida (MnO_2) yang bersifat kurang larut dan cenderung mengendap sebagai partikel padat. Proses oksidasi dan reduksi mangan sangat dipengaruhi oleh kondisi kimia air seperti pH, konsentrasi oksigen terlarut, serta keberadaan mikroorganisme (11).

Keberadaan mangan dalam air sering ditemukan pada air tanah maupun air permukaan yang terkontaminasi oleh aktivitas geologis maupun limbah industri. Pada konsentrasi rendah, mangan merupakan unsur mikro yang dibutuhkan oleh organisme untuk berbagai proses metabolisme. Namun, apabila konsentrasinya melebihi batas tertentu, mangan dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan dan kesehatan . Dalam sistem

:

distribusi air minum, keberadaan mangan dapat menyebabkan perubahan warna air menjadi kecokelatan atau kehitaman akibat pembentukan endapan MnO_2. Selain itu, mangan juga dapat menimbulkan rasa logam, bau tidak sedap, serta meningkatkan kekeruhan air (12) (13).

Dari aspek kesehatan, paparan mangan dalam jumlah berlebih dapat memberikan dampak negatif terhadap sistem saraf manusia. Konsentrasi mangan yang tinggi dalam air minum berpotensi menyebabkan gangguan neurologis, karena mangan dapat terakumulasi pada bagian otak tertentu seperti basal ganglia (14). Paparan kronis terhadap mangan dalam dosis tinggi diketahui berkaitan dengan gangguan neurologis yang menyerupai gejala penyakit Parkinson. Oleh karena itu, keberadaan mangan dalam air perlu dikendalikan agar tidak melebihi batas aman yang ditetapkan dalam standar kualitas air (15).

Dalam konteks pengolahan air dan limbah cair, mangan termasuk salah satu logam yang sering menjadi target proses pemisahan karena sifatnya yang relatif stabil dan sulit dihilangkan dengan metode konvensional tertentu. Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk menghilangkan mangan dari air, seperti presipitasi kimia, pertukaran ion, oksidasi, filtrasi, serta adsorpsi menggunakan berbagai jenis adsorben. Metode adsorpsi menjadi salah satu alternatif yang banyak diteliti karena memiliki keunggulan berupa efisiensi yang tinggi, biaya operasional relatif rendah, serta menghasilkan limbah sekunder yang minimal . Oleh karena itu, penggunaan biosorben berbasis biomassa, termasuk limbah pertanian seperti kulit jengkol, menjadi salah satu pendekatan yang potensial dalam upaya mengurangi kandungan mangan dalam air tercemar.

Maka dengan itu peneliti ingin melakukan penelitian dengan mengambil judul "Perbandingan Penurunan Konsentrasi Mangan dalam Larutan Aqueous menggunakan Limbah Kulit Nangka dan Kulit Jengkol".

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah kulit jengkol dan kulit buah nangka muda yang dikumpulkan dari pasar tradisional, asam nitrat (HNO_3) 3 M, *aquadest,* natrium hidroksida.

Peralatan analisis yang digunakan: pH meter, *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dan *X-Ray Diffraction.*

Tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Pengambilan sampel kulit jengkol

Kulit jengkol yang digunakan sebagai biosorben adalah bagian kulit terluar yang berwarna ungu kehitaman. Kulit jengkol yang diperoleh dari pasar tradisional dicuci bersih, dipotong dan dikeringkan (pengeringan sinar matahari) selama kurang lebih 3 hari. Setelah kulit jengkol kering (bobot tetap) dilakukan proses pemanasan dengan oven hingga menjadi arang lalu dihaluskan hingga berukuran yaitu 1,7-2 mm.

Pembuatan sampel

Kulit jengkol yang digunakan sebagai biosorben adalah bagian kulit terluar yang berwarna ungu kehitaman. Kulit jengkol yang diperoleh dari pasar tradisional dicuci bersih, dipotong dan dikeringkan (pengeringan sinar matahari) selama kurang lebih 3 hari. Setelah kulit jengkol kering (bobot tetap) dilakukan proses pemanasan dengan oven hingga menjadi arang lalu dihaluskan hingga berukuran yaitu 1,7-2 mm.

Kulit nangka yang digunakan sebagai biosorben adalah kulit nangka muda bagian kulit terluar yang berwarna hijau. Kulit nangka yang diperoleh dari pasar tradisional dicuci bersih, dipotong dan dikeringkan (pengeringan sinar matahari) selama kurang lebih 3 hari. Setelah kulit nangka kering, dihaluskan menjadi serbuk berukuran 100 mesh dan sebagian diubah menjadi pellet dan dipirolisis dalam tungku biomassa hingga menjadi biochar.

Persiapan larutan logam mangan

Larutan mangan 1 mg/L

1. Buat larutan dengan konsentrasi 1 gram/L dengan menimbang 3,07645 g $MnSO_4 \cdot H_2O$ lalu larutkan dalam aqua demineralisata hingga 1.000 ml.
2. Pipet 1 ml larutan 1 gram/L, lalu encerkan dengan aqua demineralisata hingga 1.000 ml.

Uji efektivitas biosorpsi logam mangan oleh kulit jengkol dan kulit buah nangka dilakukan dengan menggunakan metode batch.

Prosedur penelitian

Sampel kulit jengkol ukuran 1,7-2 mm, serbuk kulit nangka berukuran 100 mesh dan biochar kulit nangka dengan berat masing-masing 1 g dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi larutan logam mangan dengan konsentrasi 1 mg/L dengan perlakuan seperti Table 1, berikut:

Tabel 1 Perlakuan Sampel

Kode sampel	Perlakuan
P0	Sampel Blanko
P1	Sampel larutan $MnSO_4$ dengan tambahan 1 g arang kulit jengkol kering tanpa aktivasi
P2	Sampel larutan $MnSO_4$ dengan tambahan 1 g pelet kulit nangka kering tanpa aktivasi
P3	Sampel larutan $MnSO_4$ dengan tambahan 1 g serbuk kulit nangka tanpa aktivasi
P4	Sampel larutan $MnSO_4$ dengan tambahan 1 g biochar kulit nangka
P5	Sampel larutan $MnSO_4$ dengan tambahan 1 g *manganese greensand* yang sudah dicuci

Analisis ragam (ANOVA) satu arah dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis adsorben terhadap konsentrasi akhir mangan (Mn) dalam larutan $MnSO_4$. Tabung reaksi kemudian diinkubasi pada suhu ruang dan waktu 30 menit (3). Setelah inkubasi, larutan diambil untuk diukur konsentrasi logam mangan dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom.

Analisis data

Data yang diperoleh dari uji efektivitas biosorpsi logam mangan oleh kulit jengkol dan biochar kulit nangka akan dianalisis menggunakan analisis statistik. Untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel terhadap efektivitas biosorpsi logam mangan oleh kulit jengkol, akan dilakukan analisis ANOVA dan uji-Tukey (16).

Pengendalian Kualitas

Untuk mengendalikan kualitas penelitian, akan dilakukan beberapa langkah sebagai berikut:

a. Pemilihan kulit jengkol dan kulit nangka yang berkualitas baik

b. Persiapan larutan logam mangan dan larutan kulit jengkol dan larutan biochar kulit nangka yang teliti

c. Uji efektivitas biosorpsi dilakukan dengan kontrol negatif dan kontrol positif

d. Penggunaan alat dan bahan yang terstandarisasi

e. Pengambilan data dilakukan dengan teliti dan akurat

Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan, di antaranya:

a. Penelitian ini hanya menggunakan sampel kulit jengkol dalam bentuk arang tanpa aktivasi dan kulit nangka dalam bentuk serbuk dan bichar sebagai bahan biosorben. Kulit jengkol pada penelitian ini hanya digunakan dalam bentuk arang tanpa aktivasi karena keterbatasan studi sebelumnya terkait pemanfaatannya sebagai adsorben dalam bentuk serbuk dan bichar, sehingga penelitian ini difokuskan sebagai studi pendahuluan (*preliminary study*) untuk mengidentifikasi potensi awal bahan tersebut. Sementara itu, kulit nangka telah banyak dilaporkan dalam literatur sebagai bahan adsorben, sehingga dilakukan variasi bentuk (pelet, serbuk, dan biochar) untuk mengevaluasi pengaruh bentuk fisik dan proses perlakuan terhadap kinerja penurunan mangan (8) (3) (17) (18).

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan membandingkan dua jenis biomassa, tetapi juga untuk memahami pengaruh bentuk dan perlakuan biomassa terhadap efektivitas penurunan mangan, khususnya pada kulit nangka yang telah memiliki dasar kajian yang lebih luas.

b. Penelitian ini hanya menguji efektivitas biosorpsi logam mangan oleh arang kulit jengkol, serbuk dan biochar kulit nangka pada kondisi laboratorium, sehingga hasil

:

penelitian tidak dapat digeneralisasi untuk kondisi lapangan.

Penelitian ini hanya mengukur konsentrasi logam mangan setelah kontak dengan kulit jengkol dan biochar kulit nangka, sehingga faktor lain seperti pH, suhu, dan ukuran partikel logam tidak diuji.

HASIL PENELITIAN

Kulit jengkol dan kulit nangka muda yang diperoleh dari pedagang dicuci bersih untuk menghilangkan kotoran, kemudian dijemur di bawah sinar matahari selama lebih kurang 5 hari (jengkol) dan 7 hari (kulit nangka). Pengurangan bobot kulit jengkol setelah dikeringkan adalah 51,7% sedangkan kulit nangka sebesar 85,8%

Karakteristik Kulit Jengkol



Gambar 1. Arang kulit jengkol dalam berbagai ukuran

Arang kulit jengkol dalam berbagai ukuran dapat dilihat pada Gambar 1. Pada penelitian ini ukuran partikel yang digunakan adalah 1,7-2 mm.

Pada Tabel 2 menunjukkan karakteristik fisik dan kimia kulit jengkol.

Tabel 2. Karakteristik Fisika dan Kimia Kulit Jengkol

FISIK	
Warna	Kulit jengkol berwarna hijau saat masih muda, kemudian berubah menjadi coklat kehitaman saat sudah tua dan matang.
Tekstur	Kulitnya tebal dan keras, terutama pada buah yang sudah masak.
Bentuk	Kulit buah jengkol mengikuti bentuk buahnya yang pipih dan melengkung
KIMIA	
Kandungan senyawa metabolit sekunder	Alkaloid (+) Flavonoid (+) Saponin (+) Tanin (+) Triterpen (+)

Disamping senyawa metabolit sekunder, berdasarkan hasil Pengujian dengan *X-Ray Diffraction* diketahui bahwa kulit jengkol kering mengandung 12 senyawa kimia dan unsur yang dapat dilihat pada Tabel 3. Senyawa kimia dengan kandungan tertinggi dalam kulit jengkol adalah K_2O dan unsur Kalium, SO_3 dan Klor.

Tabel 3. Kandungan senyawa kimia dan unsur pada kulit jengkol

No	Senyawa	Konsentrasi (%)	Unsur	Konsentrasi (%)
1	K_2O	3,794	Kalium	3,15
2	SO_3 (Sulfit)	2,099	Sulfur	0,84
3	Cl	2,045	Cl	2,045
4	Sb_2O_3	0,709	Sb	0,59
5	CaO	0,669	Ca	0,48
6	P_2O_5	0,529	P	0,23
7	GeO_2	0,24	Ge	0,17
8	CdO	0,24	Cd	0,21
9	SiO_2	0,152	Si	0,07
10	Rb_2O	0,144	Rb	0,13
11	MgO	0,132	Mg	0,08
12	Bi_2O_3	0,128	Bi	0,12

Karakteristik Biochar Kulit Buah Nangka



Gambar 2. Biochar kulit buah nangka

Gambar 1 menunjukkan biochar kulit buah nangka yang merupakan hasil pirolisis menggunakan kompor biomassa.

Pada Tabel 4 menunjukkan karakteristik fisik dan kimia kulit buah nangka.

Tabel 4. Karakteristik Fisika dan Kimia Kulit Buah Nangka (19)

FISIK	
Warna	Kulit buah nangka berwarna hijau saat masih muda, kemudian berubah menjadi hijau kekuningan saat sudah tua dan matang.
Tekstur	Kulitnya tebal dan lunak seperti spon, terutama pada buah yang sudah masak.
Bentuk	Kulit buah nangka mengikuti bentuk buahnya yang bulat atau lonjong
KIMIA	
Kandungan senyawa metabolit sekunder	Alkaloid (+) Flavonoid (+) Saponin (-) Tanin (+) Terpenoid (+) Hemicellulose (6,815%) Cellulose (26,43%) Lignin (3,086%)

Disamping senyawa metabolit sekunder, berdasarkan hasil Pengujian dengan *X-Ray Diffraction* diketahui bahwa kulit buah Nangka kering mengandung 11 senyawa kimia dan unsur yang dapat dilihat pada Tabel 5. Senyawa kimia yang paling tinggi terkandung dalam kulit nangka adalah senyawa K_2O dan unsur Kalium, senyawa Fe2O3 dan unsur Fe serta senyawa CaO dan Kalsium.

Tabel 5. Kandungan senyawa kimia dan unsur pada kulit nangka

No	**Senyawa**	**Konsentrasi (%)**	**Unsur**	**Konsentrasi (%)**
1	K_2O	6,630	Kalium	5,5
2	SO_3 (Sulfit)	0,666	Sulfur	0,270
3	Cl	0,304	Cl	0,304
4	Sb_2O_3	0,941	Sb	0,790
5	CaO	1,624	Ca	1,160
6	P_2O_5	0,489	P	0,210
7	Fe_2O_3	2,270	Fe	1,590
8	CdO	0,160	Cd	0,140
9	SiO_2	0,824	Si	0,390
10	Rb_2O	0,158	Rb	0,140
11	MgO	0,186	Mg	0,110

:

Tabel 6. Konsentrasi Mangan pada Berbagai Perlakuan

Kode Sampel	Pengulangan 1	Pengulangan 2	Pengulangan 3	Rata-rata
P0	1,1455	1,2380	1,1682	1,184
P1	1,1885	1,1211	1,0716	1,127
P2	1,1675	1,1342	1,1342	1,145
P3	0,4307	0,3642	0,4330	0,409
P4	0,2297	0,4238	0,4441	0,366
P5	1,1136	1,1168	1,1176	1,116

Pengukuran konsentrasi mangan (Mn) terlarut dilakukan pada enam perlakuan dengan tiga kali pengulangan. Hasil pengukuran menunjukkan adanya variasi konsentrasi Mn antar perlakuan sebagaimana disajikan pada Tabel 6. Perlakuan P3 dan P4 menghasilkan nilai konsentrasi Mn terlarut yang jauh lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Sementara itu, perlakuan P0, P1, P2, dan P5 menunjukkan nilai konsentrasi yang relatif serupa.

Tabel 7. Efisiensi Penurunan Mn Terlarut

Perlakuan	Rata-rata(mg/L)	Efisiensi (%)
P1	1,127	4,8%
P2	1,145	3,3%
P3	0,409	65,4%
P4	0,366	69,1%
P5	1,116	5,7%

Efisiensi penurunan Mn dihitung berdasarkan perbandingan antara konsentrasi awal (kontrol) dan konsentrasi akhir masing-masing perlakuan. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 7. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan P3 dan P4 memiliki efisiensi penurunan yang jauh lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

Analisis ragam satu arah (*one-way* ANOVA) dilakukan untuk mengevaluasi perbedaan konsentrasi Mn antar perlakuan. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar kelompok perlakuan ($p < 0,05$), yang mengindikasikan bahwa jenis perlakuan memberikan pengaruh yang nyata terhadap konsentrasi Mn terlarut.

Untuk mengetahui perbedaan antar pasangan perlakuan, dilakukan uji lanjut Tukey HSD. Hasil uji menunjukkan bahwa perlakuan P3 dan P4 berbeda signifikan ($p < 0,05$) dibandingkan dengan P0, P1, P2, dan P5. Tidak terdapat perbedaan signifikan antara P3 dan P4 ($p > 0,05$). Perlakuan P0, P1, P2, dan P5 tidak berbeda signifikan satu sama lain ($p > 0,05$)

Berdasarkan hasil tersebut, perlakuan dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok homogen Kelompok I (efektif) adalah P3 dan P4, serta Kelompok II (tidak efektif) adalah P0, P1, P2, dan P5

PEMBAHASAN

Penurunan konsentrasi mangan (Mn^{2+}) dalam penelitian ini terjadi melalui beberapa mekanisme utama, yaitu adsorpsi permukaan, pertukaran ion, kompleksasi, dan presipitasi. Secara umum, biomassa berbasis lignoselulosa seperti kulit nangka dan kulit jengkol memiliki gugus fungsional aktif seperti –OH (hidroksil), –COOH (karboksil), dan fenolik yang mampu berinteraksi dengan ion logam dalam larutan.

Mekanisme pertama adalah adsorpsi dan kompleksasi permukaan, di mana ion Mn^{2+} berikatan dengan gugus fungsional melalui pembentukan kompleks:

$$\equiv COO^- + Mn^{2+} \rightarrow \equiv COO–Mn^+$$

Interaksi ini termasuk dalam chemisorption yang melibatkan ikatan koordinasi dan elektrostatik. Permukaan biomassa yang bermuatan negatif akan menarik ion Mn^{2+} melalui gaya elektrostatik, terutama pada pH netral hingga sedikit basa (20).

Selain itu, mekanisme pertukaran ion (ion exchange) juga berperan, di mana ion logam menggantikan ion lain (misalnya K^+ atau Ca^{2+}) yang terikat pada permukaan biomassa. Proses ini umum terjadi pada biochar dan biomassa karena adanya mineral anorganik yang terdistribusi pada permukaan (21).

Mekanisme lain yang penting adalah presipitasi permukaan (surface precipitation). Pada kondisi tertentu, ion Mn^{2+} dapat bereaksi dengan ion karbonat atau hidroksida yang berasal dari biomassa membentuk senyawa tidak larut seperti $MnCO_3$ atau $Mn(OH)_2$:

$$Mn^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow MnCO_3(s)$$

Proses ini dilaporkan sebagai mekanisme dominan dalam beberapa sistem adsorpsi biomassa (22).

Selain itu, adsorpsi Mn oleh biomassa juga dapat melibatkan kombinasi mekanisme, termasuk presipitasi dan kompleksasi simultan, yang meningkatkan efisiensi penurunan Mn dalam larutan . Oleh karena itu, penurunan Mn dalam penelitian ini kemungkinan merupakan hasil sinergi dari beberapa mekanisme tersebut, bukan hanya adsorpsi tunggal.

2. Pengaruh Ukuran Partikel dan Luas Permukaan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan serbuk kulit nangka (P3) dan biochar kulit nangka (P4) memiliki kinerja terbaik dalam menurunkan Mn. Salah satu faktor utama yang memengaruhi hasil ini adalah ukuran partikel dan luas permukaan spesifik.

Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar luas permukaan yang tersedia untuk interaksi dengan ion logam. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penurunan ukuran partikel secara signifikan meningkatkan kapasitas adsorpsi logam berat, karena meningkatkan jumlah situs aktif yang tersedia (23).

Pada serbuk kulit nangka (100 mesh), luas permukaan eksternal sangat besar sehingga memungkinkan kontak lebih intensif dengan Mn^{2+}, difusi lebih cepat dan peningkatan laju adsorpsi awal

Dengan demikian, meskipun biochar memiliki porositas internal yang tinggi, luas permukaan eksternal serbuk dapat memberikan kontribusi yang sama besar dalam kondisi waktu kontak yang singkat.

3. P3 dan P4 tidak berbeda signifikan

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa serbuk kulit nangka (P3) dan biochar kulit nangka (P4) tidak berbeda signifikan merupakan hasil yang sangat penting secara ilmiah. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui beberapa aspek berikut:

a. Dominasi luas permukaan eksternal

Serbuk (P3) memiliki luas permukaan eksternal yang sangat besar, sehingga ion Mn^{2+} dapat langsung berinteraksi dengan permukaan tanpa hambatan difusi. Sebaliknya, biochar (P4) memiliki banyak pori internal, namun tidak semua pori dapat diakses dalam waktu 30 menit dan difusi ke dalam pori membutuhkan waktu lebih lama. Akibatnya, kinerja keduanya menjadi setara dalam waktu kontak pendek

b. Perbedaan gugus fungsional

Biomassa mentah (P3) masih mengandung gugus –OH, gugus –COOH dan senyawa lignin dan hemiselulosa (24) (25).

Gugus ini sangat aktif dalam mengikat logam. Sebaliknya, proses pirolisis pada biochar dapat mengurangi gugus fungsional oksigen dan meningkatkan struktur aromatik yang lebih inert, sehingga serbuk memiliki keunggulan kimia, biochar memiliki keunggulan struktur dan hasilnya seimbang.

c. Mekanisme presipitasi dan interaksi permukaan

Penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi Mn^{2+} pada biomassa sering melibatkan presipitasi selain adsorpsi (21). Pada serbuk, ion Mn dapat membentuk endapan pada permukaan dan endapan ini ikut terperangkap saat filtrasi. Hal ini meningkatkan efisiensi removal yang terukur.

d. Waktu kontak yang terbatas

Adsorpsi pada biochar sering mengikuti kinetika *pseudo-second-order* dan membutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan (26). Dalam penelitian ini waktu kontak hanya 30 menit sehingga kemungkinan biochar belum mencapai kapasitas maksimum, sehingga performanya tampak setara dengan serbuk.

Penurunan mangan dalam penelitian ini dikendalikan oleh kombinasi mekanisme adsorpsi, pertukaran ion, dan presipitasi permukaan. Tidak adanya perbedaan signifikan antara serbuk kulit nangka dan biochar menunjukkan bahwa luas permukaan eksternal dan keberadaan gugus fungsional memainkan peran yang lebih dominan dibandingkan porositas internal biochar dalam kondisi waktu kontak yang terbatas.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan menggunakan *manganese*

:

greensand (P5) tidak memberikan penurunan konsentrasi mangan (Mn) yang signifikan dibandingkan dengan kontrol (P0). Fenomena ini menunjukkan bahwa dalam kondisi percobaan yang dilakukan, *manganese greensand* tidak bekerja secara optimal sebagai media penghilang Mn. Secara teoritis, *manganese greensand* merupakan media filtrasi yang dilapisi mangan dioksida (MnO_2) dan bekerja melalui mekanisme oksidasi katalitik, di mana ion Mn^{2+} dioksidasi menjadi Mn^{4+} yang kemudian mengendap sebagai MnO_2 tidak larut (10) (27). Proses ini sangat bergantung pada keberadaan oksidator seperti oksigen terlarut, klorin, atau kalium permanganat ($KMnO_4$) untuk mempertahankan aktivitas lapisan MnO_2 (28).

Dalam penelitian ini, larutan yang digunakan merupakan larutan artifisial $MnSO_4$ dalam aqua demineralisata, yang kemungkinan memiliki kandungan oksidator sangat rendah. Tanpa oksidator yang memadai, lapisan MnO_2 pada permukaan *manganese greensand* tidak dapat berfungsi secara efektif dalam mengoksidasi Mn^{2+} [2,3]. Selain itu, media *manganese greensand* secara umum memerlukan proses regenerasi kimia menggunakan $KMnO_4$ agar tetap aktif. Tanpa regenerasi, lapisan MnO_2 dapat mengalami reduksi dan kehilangan kemampuan oksidatifnya (28).

Faktor pH juga berperan penting dalam proses oksidasi mangan. Oksidasi Mn^{2+} menjadi MnO_2 berlangsung lebih cepat pada kondisi pH netral hingga basa, sedangkan pada pH rendah atau netral proses ini berlangsung lambat (10). Jika kondisi pH dalam sistem tidak optimal, maka Mn akan tetap berada dalam bentuk terlarut sehingga tidak terjadi penurunan konsentrasi yang signifikan.

Selain itu, terdapat kemungkinan terjadinya proses reduksi MnO_2 menjadi Mn^{2+} pada permukaan media, yang dapat menyebabkan pelepasan kembali mangan ke dalam larutan. Fenomena ini telah dilaporkan pada media berbasis MnO_2 yang tidak berada dalam kondisi oksidatif yang stabil. Dengan demikian, *manganese greensand* tidak hanya gagal menghilangkan Mn, tetapi juga berpotensi mengalami ketidakstabilan kimia dalam sistem tanpa oksidator.

Dari aspek operasional, *manganese greensand* umumnya dirancang untuk digunakan dalam sistem filtrasi kontinu, bukan sistem batch seperti dalam penelitian ini. Pada sistem batch dengan waktu kontak terbatas (30 menit), reaksi oksidasi katalitik kemungkinan belum berlangsung secara optimal. Hal ini berbeda dengan biomassa yang bekerja melalui mekanisme adsorpsi permukaan yang relatif cepat (29).

Dengan demikian, tidak adanya perbedaan signifikan antara perlakuan *manganese greensand* dan kontrol menunjukkan bahwa efektivitas media ini sangat bergantung pada kondisi operasional seperti keberadaan oksidator, pH, dan sistem pengolahan yang sesuai. Dalam kondisi percobaan sederhana, biomassa alami seperti kulit nangka dalam bentuk serbuk dan biochar menunjukkan kinerja yang lebih efektif dalam menurunkan mangan terlarut.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis adsorben berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi Mn terlarut ($p < 0,05$). Perlakuan serbuk kulit nangka dan biochar kulit nangka menunjukkan penurunan konsentrasi Mn yang signifikan dibandingkan kontrol, dengan efisiensi masing-masing sebesar 65,4% dan 69,1%. Sebaliknya, arang kulit jengkol, pelet kulit nangka, dan *manganese greensand* tidak menunjukkan perbedaan signifikan terhadap kontrol. Hasil ini menunjukkan bahwa ukuran partikel dan luas permukaan adsorben merupakan faktor dominan dalam proses penyerapan Mn dari larutan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai dari DIPA Penelitian Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Andalas. Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Andalas, Laboratorium Sentral Universitas Andalas dan Laboratorium FMIPA UNP Padang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Barceloux DG. Djenkol bean [Archidendron jiringa (Jack) I. C. Nielsen]. Dis Mon. 2009;55(6):361-4.
2. Sundarraj AA. Physicochemical characterization of Jackfruit (Artocarpus integer (Thumb.).) Peel. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2017;8:2285-95.
3. Ibrahim H, Abid MK, Zain HHM. Heavy

Metal Ions Adsorption from Aqueous Solution by Jackfruit Peel as Activated Biochar Low-Cost Adsorbent. Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences. 2020;67(2):154-65.
4. Pandia S, Sitorus R. Penentuan Bilangan Iodin Adsorben Kulit Jengkol dan Aplikasinya dalam Penyerapan Logam Pb (II) Pada Limbah Cair Industri Pelapisan Logam. Teknik Kimia. 2016;5(4).
5. Pandia S, Warman B. Pemanfaatan Kulit Jengkol sebagai adsorben dalam Penyerapan Logam Cd pada Limbah Cair industri pelapisan logam. Teknik Kimia 2016;5(4).
6. Wardani GA, Wulandari WT, editors. Pengaruh Waktu Kotak Terhadap Daya Adsorpsi Kulit Jengkol (Pithecellobium jiringa) pada Ion Timbal (II). Seminar Nasional Kimia UNY; 2017; Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
7. Chaidir Z, Hasanah Q, Zein R. Penyerapan Ion Logam Cr(III)dan Cr(VI) Dalam Larutan Menggunakan Kulit Buah Jengkol (Pithecellobium jiringa(JACK) PRAIN.). Riset Kimia. 2015;8(2).
8. Rosli NA, Zawawi MH, Bustami RA, Hipni F, Kamruddin M. Adsorption of Lead Using Jackfruit Peel Activated Carbon. Applied Mechanics and Materials. 2015;773-774:1079 - 84.
9. Ikeda K, Tachibana T, Manome Y. Chapter 9 - The Applications, Neurotoxicity, and Related Mechanisms of Manganese-Containing Nanoparticles. In: Jiang X, Gao H, editors. Neurotoxicity of Nanomaterials and Nanomedicine: Academic Press; 2017. p. 205-25.
10. Organization WH. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva2017.
11. Barceloux DG. Manganese. J Toxicol Clin Toxicol. 1999;37(2):293-307.
12. Desbureaux S, Mortier F, Zaveri E, Michelle THvV, Russ J, Rodella AS, et al. Mapping Global Hotspots and Trends of Water Quality (1992–2010): A Data Driven Approach. Environmental Research Letters. 2022;17(11):114048.
13. World_Health_Organization. Manganese in drinking-water. Geneva: World Health Organization; 2021.
14. Iyare PU. The effects of manganese exposure from drinking water on school-age children: A systematic review. Neurotoxicology. 2019;73:1-7.
15. Obeng SK, Kulhánek M, Balík J, Černý J, Sedlář O. Manganese: From Soil to Human Health-A Comprehensive Overview of Its Biological and Environmental Significance. Nutrients. 2024;16(20).
16. McHugh ML. Multiple comparison analysis testing in ANOVA. Biochem Med (Zagreb). 2011;21(3):203-9.
17. Hadisoebroto G, Dewi L, Hanifah HN. Efektivitas Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Nangka Sebagai Bioadsorben Logam Pb dari Limbah Industri Farmasi. Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan 2023;14 (1):8-16.
18. Khotima K, Santoso T. Pemanfaatan Pektin Kulit Nangka (Artocarpus Heterophyllus) Sebagai Adsorben Logam Cu (II). Media Eksakta. 2020;16(2):105-12.
19. Raihan; M, Taqwa; N, Hanifah; AR, Lallo; S, Ismail;, Amir MN. Skrining Fitokimia Ekstrak Kulit Buah Nangka (Artocarpus heterophyllus) dan Aktifitas Antioksidannya terhadap [2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate)] (ABTS). Majalah Farmasi dan Farmakologi. 2019;23(3):101-6.
20. Wang K, Tang Y, Zhang X, Huang X, Zhang B. Study of the Reaction Mechanism of the Excessive Adsorption of Mn2+ from Water by In Situ Synthesis of MnO2@SiO2 Colloid as an Adsorbent. International Journal of Molecular Sciences [Internet]. 2025; 26(7):[2928 p.].
21. Yankovych H, Novoseltseva V, Kovalenko O, Marcin Behunova D, Kanuchova M, Vaclavikova M, et al. New perception of Zn(II) and Mn(II) removal mechanism on sustainable sunflower biochar from alkaline batteries contaminated water. Journal of Environmental Management. 2021;292:112757.
22. An Q, Miao Y, Zhao B, Li Z, Zhu S. An alkali modified biochar for enhancing Mn2+ adsorption: Performance and chemical mechanism. Materials Chemistry and Physics. 2020;248:122895.

:

23. Akbari Zadeh M, Daghbandan A, Abbasi Souraki B. Removal of iron and manganese from groundwater sources using nano-biosorbents. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2022;9(1):3.
24. Deng J, Xiong T, Wang H, Zheng A, Wang Y. Effects of Cellulose, Hemicellulose, and Lignin on the Structure and Morphology of Porous Carbons. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2016;4.
25. Tamo AK, Doench I, Deffo G. Lignocellulosic biomass and its main structural polymers as sustainable materials for (bio)sensing applications. Journal of Materials Chemistry and Physics. 2025;13:24185-253.
26. Hussain M, Ali AS, Kousar T, Mahmood F, Haruna A, Zango ZU, et al. Efficient removal of manganese (II) ions from aqueous solution using biosorbent derived from rice husk. Sustainable Chemistry One World. 2025;5:100047.
27. Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. . Boston.: McGraw-Hill; 2003.
28. Edzwald JK. Water quality and treatment: a handbook on drinking water. . New York: McGraw-Hill; 2011.
29. Babel S, Kurniawan TA. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. J Hazard Mater. 2003;97(1-3):219-43.