

Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 |ISSN (Online) 2597-5129|



Artikel Penelitian

Potensi *Spent Mushroom Substrate* (SMS) dari Limbah Tandan Kosong Sawit (TKS) Sebagai *Green Biosorben*

Elvi Yenie¹⁾, Lita Darmayanti¹⁾, Atria Martina²⁾, Yemima Priscilia P Girsang¹⁾, Stella Desce P Simarmata¹⁾

1) Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Riau, Riau, Indonesia

2) Program Studi Biologi, Universitas Riau, Riau, Indonesia

*Koresponden: elvienie@lecturer.unri.ac.id

Diterima: 21 Oktober 2024

Diperbaiki: 20 November 2024

Disetujui: 3 Januari 2025

ABSTRACT

Spent mushroom substrate (SMS) is an organic compost medium produced from the mushroom cultivation process. The chemical composition of SMS includes 22.86% cellulose, 19.71% hemicellulose, and 10.24% lignin. The aim of this study is to determine the optimal biosorbent mass for lead (Pb) heavy metal biosorption and to analyze the characteristics of the best biosorbent using tests such as SEM, BET, XRD, FTIR, and lignocellulosic tests. The constant variables used are a contact time of 30 minutes, a stirring speed of 150 rpm, and a biosorbent size of 100 mesh. The variable to be tested is the biosorbent mass (0.5, 1, 1.5) grams. The results showed that the highest removal occurred with a biosorbent mass of 0.5 grams, with a biosorption capacity of 1.160 mg/g and an efficiency of 65%. SMS has rough, cracked, porous, and fragmented pores, with a surface area of 1.4666 m²/g, a pore size of 43.1569 Å, and a crystallinity degree of 1.89% from 5.30%. The lignin content is 13.93%, hemicellulose 9.25%, and cellulose 16.15%, while FTIR testing indicates the presence of hydroxyl, amino, carbonyl, and phosphate groups.

Keyword: Heavy Metal Pb, biosorption, characterization, *Spent Mushroom Substrate*

ABSTRAK

*Spent mushroom substrate (SMS) adalah media organik kompos yang dihasilkan dari proses budidaya jamur. Kandungan kimia SMS berupa selulosa 22,86%, hemiselulosa 19,71% dan lignin 10,24%. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan massa biosorben terbaik dalam biosorpsi logam berat Pb serta mengetahui karakteristik biosorben terbaik dengan menggunakan uji berupa SEM, BET, XRD, FTIR dan uji Lignoselulosa. Variabel tetap yang digunakan adalah waktu kontak 30 menit, kecepatan pengadukan 150 rpm dan ukuran biosorben 100 mesh. Variabel yang akan diuji adalah massa biosorben (0,5, 1, 1,5)gr. Hasil menunjukkan bahwa penyisihan tertinggi terjadi pada massa biosorben 0,5 gr, dengan kapasitas biosorpsi 1,160 mg/gr serta efisiensi 65%. SMS memiliki pori yang *rough*, retak, keropos dan terfragmentasi dengan luas permukaan 1,4666 m²/g, ukuran pori 43,1569 Å, derajat kristalinitas yaitu 1,89% dari 5,30%. Kandungan lignin 13,93%, hemiselulosa 9,25% dan selulosa 16,15% serta pengujian FTIR yang menunjukkan adanya gugus hidroksil, amino, karbonil dan grup fosfat*

Kata Kunci: Logam berat Pb, Biosorpsi, Karakterisasi, *Spent mushroom substrate*

1. PENDAHULUAN

Industri minyak kelapa sawit telah berkembang secara eksponensial, hal ini menyebabkan meningkatnya limbah dari produksi minyak kelapa sawit, terutama tandan kosong sawit (*empty fruit bunches*). Daur ulang tandan kosong kelapa sawit dilakukan dengan mengkonversinya menjadi produk berguna yang sesuai untuk mengurangi limbah tandan kosong sawit (TKS). Saat ini, terdapat beberapa solusi yang tersedia termasuk menggunakan TKS sebagai bahan bakar pada mesin *boiler* di pabrik dan pengomposan TKS yang digunakan sebagai mulsa pada perkebunan. Sebagian besar dari solusi ini tidak efektif dan mahal (Siddiquee dkk., 2017).

Metode konvensional dalam pembuangan TKS ke TPA selain membutuhkan lahan yang luas, tetapi juga menyebabkan bahaya polusi dan ketidaknyamanan yang disebabkan oleh bau dari degradasi sisa minyak (Loh dkk., 2013). Tingginya rasio C:N dan adanya polimer seperti selulosa dan lignin dalam TKS yang menjadi penghalang alami dalam proses biodegradasi (Gaiind dan Nain, 2007). Selulosa yang terkandung dalam TKS sebesar 38,76% dan kandungan serat mencapai 72,67% (Dewanti, 2018). Penumpukan TKS dapat menyebabkan menjadi media tumbuhnya jamur pada limbah tersebut.

Menurut Goyal dkk., 2005 fungi secara aktif terlibat dalam dekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terdapat dalam bahan organik. Lignin merupakan komponen struktural pokok pada tumbuhan, dan merupakan salah satu material yang sulit terdegradasi. Degradasi lignin paling utama diselesaikan oleh jamur. Jamur pendegradasi lignin yang biasa di ketahui adalah jamur pelapuk putih atau *white rot fungi* (Dias dkk., 2010). Kemampuan jamur pelapuk putih untuk menurunkan lignoselulosa dikarenakan adanya sistem enzimatik. Jamur memiliki dua jenis sistem enzimatik ekstraseluler dan hidrolitik. Sistem hidrolitik yang mana menghasilkan hydrolase yang bertanggung jawab untuk degradasi polisakarida dan oksidatif, sedangkan ekstraseluler lignoselulosa sistem yang mana mampu mendegradasi lignin (Mohammad dkk., 2012).

Jamur pelapuk putih (JPP) merupakan pendegradasi lignin terefisien pada lingkungan. JPP dapat mendegradasi seluruh structural dinding sel tanaman termasuk lignin (Mäkelä dkk., 2021). Jamur pelapuk putih memiliki kemampuan mendegradasi lignin yang tinggi dengan sedikit mengakibatkan kehilangan selulosa (Hasibuan dkk., 2021). Selulosa inilah yang akan dimanfaatkan dalam penelitian sebagai biosorben. Jamur pelapuk putih yang merupakan divisi *basidiomycetes* memiliki enzim laccase. Jamur pelapuk putih ini memiliki kemampuan untuk mengubah lignin menjadi enzim *laccase* (Leonowicz dkk., 1997). *Coprinus comatus* termasuk dalam kelompok JPP, dengan bertambahnya umur jamur ini maka *C.comatus* akan mengeluarkan tinta, sehingga dari bagian bawah tutupnya sampai ke atas berubah menjadi warna hitam tinta. Jamur *C.comatus* ini memiliki gugus fungsi seperti hidroksil, karboksil, karbonil fosfat, sulfhidril, amina, imidazole, fosfanat, fosfodoester, dan gugus fungsi lainnya untuk menyerap logam berat (El-Gendy dkk., 2017).

Pada perkebunan kelapa sawit telah banyak ditemukan jamur pelapuk putih (JPP) yang tumbuh pada TKS dan beberapa dari jamur ini adalah jamur yang dapat dikonsumsi (Dimawarnita dkk., 2022). Proses delignifikasi adalah proses pemecahan lignoselulosa salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan merendam TKS pada larutan asam yang telah diencerkan untuk memecah lignin pada TKS. Keterbaruan dari penelitian ini adalah dengan menggunakan TKS sebagai media tumbuh jamur *C.comatus* adalah salah satu cara proses delignifikasi tanpa bahan kimia (Tan dkk., 2013). Pada penelitian Isroi dkk., (2011) ditemukan beberapa keuntungan dari penggunaan jamur dalam proses delignifikasi salah satunya adalah JPP memiliki proses degradasi selektif yang memungkinkan JPP mendegradasi lignin dan hemiselulosa secara terpisah sedangkan selulosa tidak terpengaruhi. Beberapa penelitian menunjukkan potensi dari SMS untuk dekontaminasi lingkungan seperti pengolahan untuk drainase tambang asam, bioremediasi dan sebagai biosorben (Halim dkk., 2017). Biomassa dari jamur adalah campuran kompleks dari sisa miselium, selulosa, hemiselulosa dan lignin. Sejumlah besar gugus fungsi, seperti karboksil, fosfat, hidroksil dan amino pada permukaan biomassa ini dapat mengendapkan Cu dan Pb (Qu dkk., 2015a; Wu dkk., 2019).

Limbah logam berat seperti Pb dan Cu telah mencemari lingkungan yang disebabkan oleh produksi industri, pemanfaatan energi, pertambangan dan aplikasi dari pestisida dan pupuk. Timbal (Pb) dan tembaga (Cu) adalah logam berat yang umum, sangat beracun, memiliki berbagai macam sumber dan *non-biodegradable*, sehingga menyebabkan Pb dan Cu yang terkandung pada limbah cair telah menjadi masalah lingkungan yang serius. Kontaminasi logam berat juga dapat membahayakan ekosistem dan manusia karena toksisitas dan akumulasinya pada rantai makanan (Qu dkk., 2015a; Wu dkk., 2019). Menurut El-Gendy dkk., (2017) sisa jamur dapat dimanfaatkan untuk penyisihan logam berat seperti Pb dan Cu dari larutan cair. Penyerapan logam berat menggunakan sisa media jamur dilihat pada proses yang diteliti dalam sistem *batch* menunjukkan parameter penting (pH awal, konsentrasi logam berat, dosis biosorben, dan waktu kontak) untuk mencapai hasil optimal pada proses biosorpsi. Sebelum limbah logam berat dapat dibuang ke lingkungan perlu adanya pengolahan, salah satu alternatif pengolahan yang dapat dilakukan adalah biosorpsi, dimana metabolisme fisiko-kimia-independen proses yang mengakibatkan penghilangan zat dari larutan oleh bahan biologis (Fomina dan Gadd, 2014).

2. METODOLOGI

2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, oven, cawan porselin, ayakan 100 mesh, spatula, pH meter, pipet tetes, erlenmeyer 250 ml, *jar test*, gelas ukur 100 ml, corong, kertas saring, desikator, cawan petri, jarum ose, tabung reaksi, pinset, erlenmeyer 500 ml, *autoclave*, *microwave*, bunsen, instrumen *Scanning Electron Microscope (SEM)*, instrumen *Brunauer–Emmett–Teller (BET)*, instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*, *Instrument X-Ray diffraction (XRD)* dan Instrumen uji Lignoselulosa. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aquadest, alkohol 70%, PDA, urea, kapur pertanian, dedak padi, spiritus, limbah artificial Cu dan Pb sebanyak 100 ml dengan konsentrasi 10 mg/l dan sisa media jamur *C. Comatus*.

2.2 Variabel Penelitian

Variabel tetap pada penelitian ini adalah Waktu kontak 30 menit (Qu dkk., 2015), kecepatan pengadukan 150 rpm (Qu dkk., 2015) dan ukuran biosorben 100 mesh (Kamarudjaman dkk., 2013). Sedangkan variabel bebas pada penelitian ini adalah massa biosorben yaitu 0,5; 1; 1,5 gr.

2.3 Preparasi *Spent Mushroom Substrate (SMS) Coprinus comatus*

Spent mushroom substrate sebanyak 500 gram dicuci dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama 5 hari. SMS yang telah dikeringkan kemudian dipanaskan pada suhu 80°C selama 24 jam dan ditempatkan pada desikator. SMS yang sudah kering tersebut kemudian diayak dengan ukuran 100 mesh, kemudian digunakan untuk penelitian selanjutnya.

2.4 Proses Biosorpsi

Proses biosorpsi pada penelitian dilakukan dengan sistem *batch*. Biosorben ditimbang masing-masing sebanyak 0,5 gram ; 1 gram ; 1,5 gram dan dimasukkan kedalam 500 ml larutan logam Cu dan Pb pada konsentrasi 10 mg/L, kecepatan pengadukan 150 rpm dan waktu pengadukan selama 30 menit. Selanjutnya larutan didiamkan selama 15 menit dan dipisahkan SMS dari filtrat. Selanjutnya kadar logam Cu dan Pb pada filtrat ditentukan dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*. Data yang diperoleh kemudian dihitung menggunakan persamaan efisiensi penyisihan logam dan kapasitas biosorpsi sesuai dengan persamaan berikut

$$q_e = \left(\frac{C_o - C_e}{m} \right) \times V \quad (1)$$

$$\% E = \left(\frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Dimana: q_e = Kapasitas biosorpsi per bobot molekul (mg/gr)

C_o = Konsentrasi awal larutan (mg/l)

C_e = Konsentrasi akhir larutan (mg/l)

V = Volume larutan (ml)

m = Massa biosorben yang digunakan (gr)

$\%E$ = Efisiensi biosorpsi

2.5 Karakterisasi Biosorben

Biosorben berbahan *spent mushroom substrate* dikarakterisasi dengan analisis uji *Scanning Electron Microscope (SEM)* untuk dapat mengetahui perubahan struktur bentuk dan morfologi permukaan permukaan biosorben serta komposisi penyusun dari biosorben tersebut. Biosorben berbahan *spent mushroom substrate* dikarakterisasi dengan analisis uji *Brunauer-Emmet-Teller (BET)* untuk dapat mengetahui ukuran luas permukaan adsorben dan pori-porinya. Biosorben berbahan *spent mushroom substrate* dikarakterisasi dengan analisis uji *X-Ray Diffraction (X-RD)* untuk identifikasi fase bahan kristal dan dapat memberikan informasi tentang dimensi unit sel. Biosorben berbahan *spent mushroom substrate* dikarakterisasi dengan analisis uji *Fourier Transform Infrared (FTIR)* untuk analisa gugus fungsional dari bahan padat ataupun cairan dengan menggunakan metode *ATR (Attenuated Total Reflectance)* dengan hasil yang diperoleh berupa grafik *adsorbance*. Biosorben juga dikarakterisasi dengan Analisa uji lignoselulosa untuk melihat kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tabel

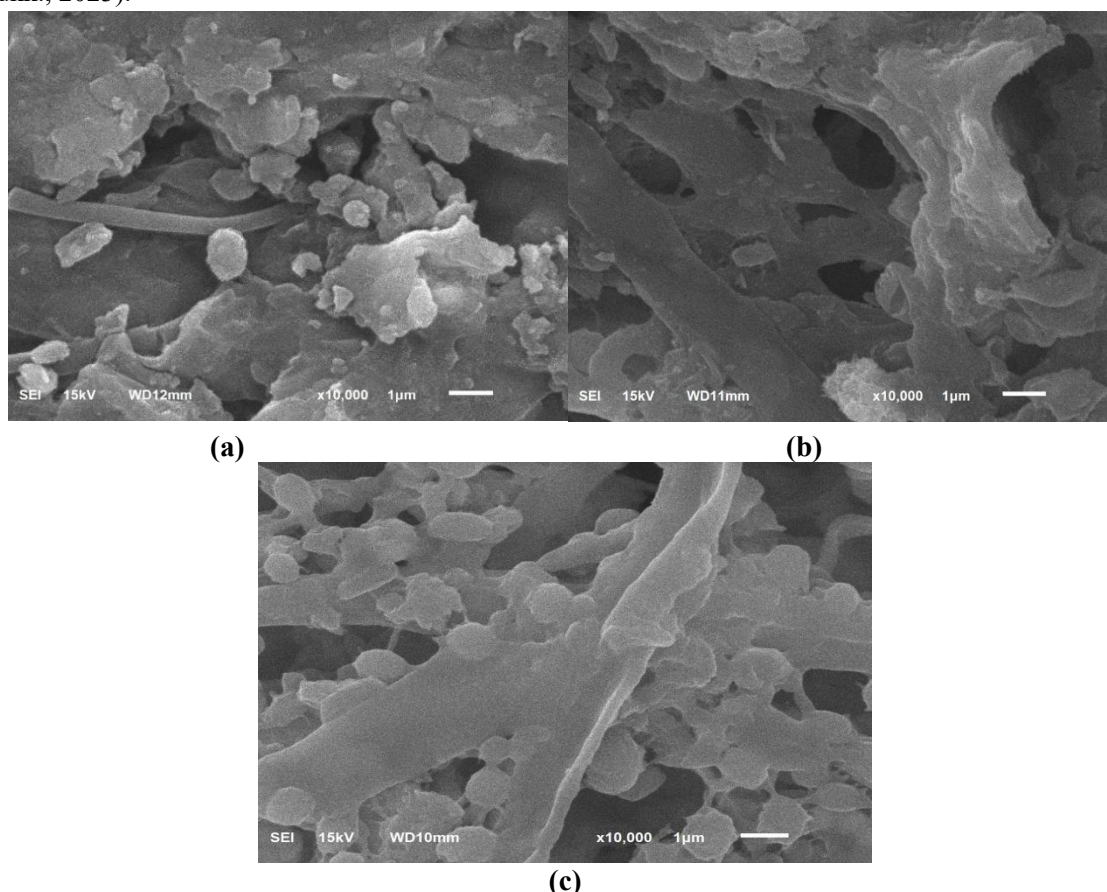
Pada logam Pb dan Cu kapasitas biosorpsi tertinggi dicapai pada massa biosorben 0,5 gr yaitu masing masing 1160 mg/gr dan 1025 mg/gr sedangkan efisiensi tertinggi dicapai pada massa biosorben 0,5 gr dengan persentase 65% pada logam Pb dan 57% pada logam Cu. Kapasitas biosorpsi mengalami penurunan yang dikarenakan oleh kurangnya interaksi antara biosorben SMS dengan limbah Pb dan Cu (Widwastuti dkk., 2019).

Tabel 1 Hasil Biosorpsi Logam Pb dan Cu

Massa Biosorben (gr)	Waktu kontak (menit)	Konsentrasi Logam Pb dan Cu (mg/l)	Kapabilitas Penyisihan (mg/gr)		Efisiensi Penyisihan (%)	
			Pb	Cu	Pb	Cu
0,5	30	8,895	1160,00	1025,00	65,21	57,62
1			556,50	482,50	62,56	54,24
1,5			354,33	302,67	59,75	51,04

Hal ini kemungkinan terjadi karena logam Pb memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap gugus fungsional dibandingkan Cu. Penurunan kapasitas biosorpsi juga disebabkan oleh konsentrasi limbah Pb dan Cu yang terserap pada permukaan biosorben SMS lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi limbah Pb dan Cu yang tersisa pada larutan limbah (Irawan dkk., 2015). Terjadinya penurunan kapasitas penyerapan pada massa biosorben 1 dan 1,5 gram karena ion logam Pb dan Cu telah terserap oleh SMS yang menyebabkan terjadinya kejenuhan sehingga biosorben tidak dapat menerima molekul-molekul lainnya (Herlina dkk., 2023). Hal ini sejalan dengan persamaan (1) yang menyatakan bahwa bertambahnya massa akan mempengaruhi kapasitas biosorpsi.

Pengujian menggunakan SEM dilakukan untuk mendapatkan citra morfologi ukuran dan tekstur permukaan partikel. Morfologi yang diamati dengan SEM berupa bentuk, ukuran dan susunan partikel (Septiano dkk., 2021; Yenier dkk., 2023).



Gambar 1 Hasil Karakterisasi SEM SMS *Coprinus comatus* (a) sebelum biosorpsi (b) setelah biosorpsi logam Pb (c) setelah biosorpsi logam Cu

Berdasarkan Gambar 1 (a) dapat dilihat bahwa SMS memiliki permukaan yang *rough*, retak, keropos dan terfragmentasi, yang dimana menunjukkan adanya degradasi yang terjadi pada TKS, seperti pada penelitian Shi dkk., (2020). Pada penelitian Gong dkk., (2019); He dkk., (2017); Shi dkk., (2020) dinyatakan bahwa adanya pengurangan pada struktur fiber pada TKS terjadi karena adanya degradasi oleh jamur *Coprinus comatus*, semakin banyak fragmen yang terlihat pada SMS menunjukkan besar jumlah degradasi yang terjadi pada TKS. Berdasarkan Gambar 1 (b) dan 1 (c) dapat dilihat perubahan yang terjadi pada biosorben SMS yang telah melewati proses biosorpsi logam berat Pb, pada permukaan biosorben dapat dilihat munculnya ion-ion logam

yang menutup beberapa pori-pori pada SMS dengan beberapa pori yang belum tertutup. Pada Gambar 1 (a) dapat dilihat bahwa permukaan SMS kurang teratur dan kasar setelah melewati proses biosorpsi logam berat Pb dan Cu permukaan SMS berubah menjadi lebih menonjol, beberapa pori membesar, menunjukkan kinerja biosorben yang baik (Qu dkk., 2015c)

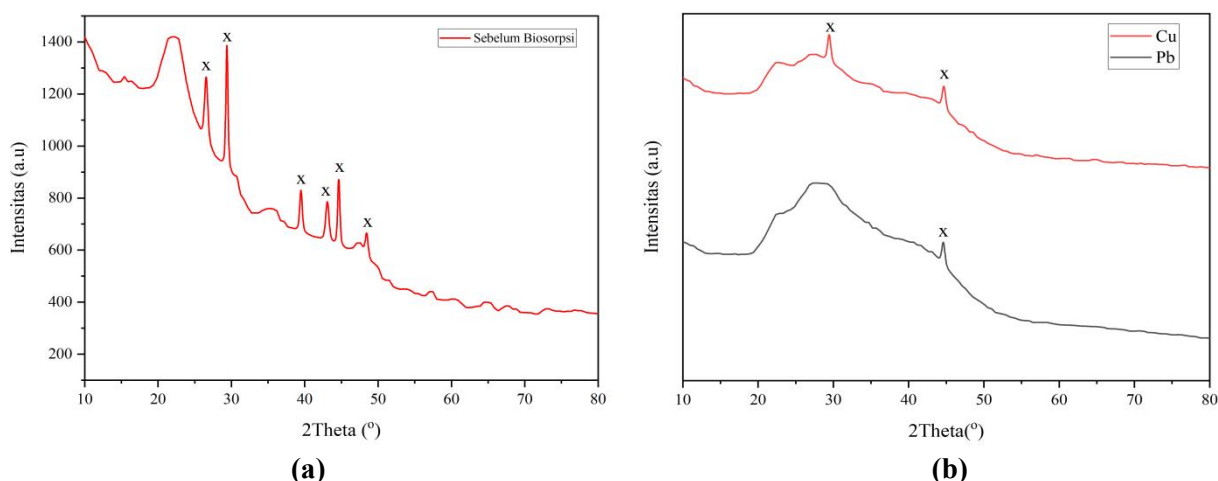
Untuk mengetahui luas permukaan spesifik sampel maka dilakukan uji menggunakan SAA dengan metode BET (Nurhidayah dkk., 2022). Pada penelitian ini analisis menggunakan BET digunakan untuk mengetahui luas permukaan, volume pori, dan ukuran pori pada biosorben SMS *Coprinus comatus*. Hasil karakterisasi BET SMS *Coprinus comatus* dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Hasil Karakterisasi Analisis BET SMS *Coprinus Comatus* Sebelum Biosorpsi

Parameter	Luas Permukaan (m ² /g)	Volume Pori (cc/g)	Ukuran Pori (Å)
SMS <i>Coprinus Comatus</i>	1,4666	0,0032	43,1569

Berdasarkan klasifikasi diameter pori oleh IUPAC biosorben SMS *Coprinus comatus* termasuk pada jenis mesopori dengan ukuran pori 43,1569 Å. *Range* mesopori yaitu lebih besar dari 2 nm dan lebih kecil dari 50 nm. Grozdov & Zinicovscaia, (2023) menyatakan bahwa material mesopori memiliki pori yang besar, distribusi pori yang homogen, ukuran pori yang dapat disesuaikan menjadikannya biosorben yang baik. Semakin besar diameter pori, maka kemampuan biosorben untuk menyerap juga semakin besar sehingga kapasitas biosorpsi juga akan meningkat (Thahir & Laurenz, 2018).

Pengujian XRD digunakan untuk karakterisasi mineral yang memiliki aplikasi yang luas seperti struktur dan ukuran kristal, identifikasi fasa, orientasi kristalografi (Ali dkk., 2022). Hasil karakterisasi biosorben SMS dapat dilihat pada Gambar 2

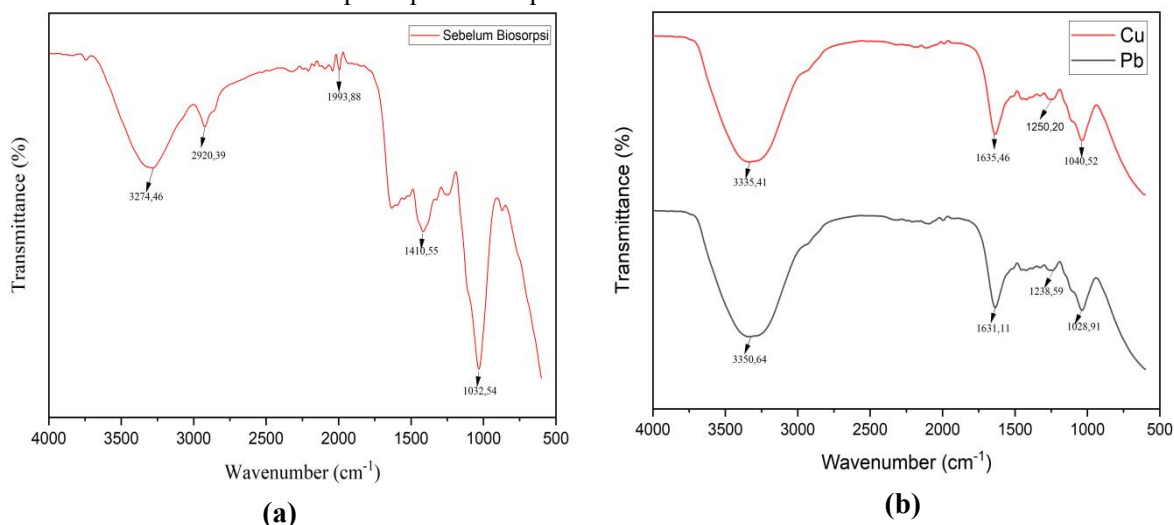


Gambar 2 Hasil Karakterisasi XRD Biosorben SMS *Coprinus comatus* (a) sebelum biosorpsi (b) setelah biosorpsi

Derajat kristalinitas ini memberikan gambaran tentang keteraturan struktur kristal yang terbentuk pada suatu bahan, semakin besar persentase derajat kristalinitasnya, maka struktur kristal dari biosorben akan semakin tinggi dan jauh dari struktur amorf (Kartika dkk., 2016). Adanya puncak yang terjadi pada $2\theta: 20^\circ$ sampai 30° menunjukkan spektrum difraksi selulosa yang khas, yang lebih kecil menunjukkan adanya struktur polisakarida pada derajat kristal rendah dan yang lebih besar mewakili struktur selulosa pada tingkat kristal tinggi (Song dkk., 2017). Pada setiap titik puncak hasil karakterisasi XRD biosorben SMS didapatkan nilai derajat kristalinitas, yaitu 5,30%. Derajat kristalinitas adalah perbandingan antara fasa kristal dengan fasa amorf yang terbentuk pada suatu bahan (Kartika dkk., 2016).

Berdasarkan hasil karakterisasi pada Gambar 2 (b) dapat diketahui titik puncak pada biosorben SMS *Coprinus comatus* yang terjadi pada $2\theta = 29,44^\circ$; $44,68^\circ$ pada biosorben logam Cu dan pada biosorben logam Pb puncak terjadi pada $2\theta = 44,58^\circ$, dengan nilai derajat kristalinitas pada biosorben SMS setelah biosorpsi adalah 1,89% pada logam Pb dan 4,65% pada logam Cu. Pengujian karakterisasi XRD menunjukkan adanya perubahan titik puncak pada biosorben yang menunjukkan adanya formasi yang mengandung struktur kristalin yang mengandung logam berat (Song dkk., 2017).

Pengujian FTIR pada biosorben SMS sebelum biosorpsi dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terkandung pada biosorben dengan menggunakan radiasi inframerah dengan hasil berupa spektrum yang ditunjukkan dengan % *transmittance* versus *wavenumber* (cm^{-1}) (Khan dkk., 2018). Hasil karakterisasi FTIR biosorben SMS sebelum biosorpsi dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3 Hasil Karakterisasi FTIR Biosorben SMS *Coprinus comatus* (a) sebelum biosorpsi (b) setelah biosorpsi

Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR dapat dilihat pada pita 3274,46 cm^{-1} membuktikan adanya OH dan N-H pada grup hidroksil, pada 1993,88 cm^{-1} terdapat grup C-O yang menunjukkan adanya kelompok keton, amida, ester, karboksil dan senyawa aromatik (Yenie dkk., 2023) pada 1410,55 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan lignin dengan gugus aromatik C=C yang mengindikasikan bahwa adanya kandungan lignin pada SMS (Khan dkk., 2018). Qu dkk., (2015) dan Boddu dkk., (2008) menyatakan bahwa material biosorben SMS *Flammulina velutipes* memiliki pita absorpsi yang kuat sekitar range 3500 sampai 3200 cm^{-1} , yang menunjukkan adanya grup amino (-NH) dan grup hidroksil (-OH).

Pada Gambar 3 (a) dapat dilihat adanya *peak* pada 2920,39 cm^{-1} yang menunjukkan puncak penyerapan yang berupa *stretching vibrations* dari $-\text{CH}_2$, adanya ikatan P-OH pada 1032,54 cm^{-1} (Qu dkk., 2015). Setelah dilakukannya biosorpsi logam berat Cu dan Pb oleh biosorben SMS tidak ditemukan perubahan pada gugus fungsi yang terkandung pada SMS namun terdapat pergeseran *peak*, Perubahan yang terjadi dari 3274,46 cm^{-1} menjadi 3350,64 cm^{-1} karena adanya gugus -OH dari glukosa sampai perengangan getaran -NH dari protein (Eliescu dkk., 2020). Adanya *absorption bands* yang kuat pada 1635,45 dan 1631,11 cm^{-1} menunjukkan keberadaan ikatan C=O dan adanya ikatan -NH (Khan dkk., 2018; Qu dkk., 2015; Song dkk., 2017). Berdasarkan Gambar 3 gugus fungsi yang terkandung pada SMS *Coprinus comatus* adalah grup hidroksil, alkana, keton, amida, ester, karboksil serta senyawa aromatik. Gugus fungsi ini ditemukan pada dinding sel SMS *Coprinus comatus* yang dapat berperan dalam pengikatan ion logam (Yenie dkk., 2023).

Pada penelitian ini dilakukannya pengujian lignoselulosa untuk melihat kandungan lignin, hemiselulosa, dan selulosa dari SMS *Coprinus comatus*. Adapun hasil persentase kadar lignoselulosa yang terkandung pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 Hasil Persentase Kadar Pengujian Lignoselulosa

Parameter	Hasil Analisa (%)		
	Lignin	Hemiselulosa	Selulosa
Setelah aktivasi Fisika	10,74	11,77	16,34
Setelah aktivasi Biologi	13,93	9,25	16,15

Berdasarkan Tabel 3 hasil persentase kadar lignoselulosa pada SMS *Coprinus comatus*, dapat dilihat memiliki kadar hemiselulosa dan selulosa yang lebih rendah dari TKS dengan aktivasi secara fisika. Penelitian Wei dkk., (2023) menyatakan bahwa *Coprinus comatus* menghasilkan enzim ligninolitik yang dapat delignifikasi dan memecahkan komponen sukar terpisah yang terdapat pada dinding sel tanaman, pada penelitian ini juga dinyatakan bahwa *Coprinus comatus* dapat memecah lignin lebih baik daripada jamur lain seperti *Trichoderma reesei* yang juga merupakan jamur pelapuk putih. Jamur pelapuk putih memiliki 3 enzim yang berkerja dalam

pemecahan lignin, yaitu lignoselulosa peroksidase (LiP), mangan peroksidase (MnP) dan lakase (Lac) (M & A, 2017).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian Potensi *Spent Mushroom Substrate* (SMS) dari Limbah Tandan Kosong Sawit (TKS) sebagai *Green Biosorben*, maka didapatkan kesimpulan berupa variasi massa biosorben SMS *Coprinus comatus* terbaik didapatkan pada massa biosorben 0,5 gram untuk biosorpsi logam berat Pb dan Cu mencapai kapasitas biosorpsi sebesar 1160 dan 1025 mg/g dan efisiensi biosorpsi 65% dan 57%. Biosorben SMS *Coprinus comatus* memiliki kadar lignin 13,93%, kadar selulosa 16,15%, dan kadar hemiselulosa sebesar 9,25% dengan permukaan yang kasar dan tidak teratur serta terjadinya perubahan pada biosorben setelah proses biosorpsi dengan permukaan yang lebih tertutup dan ion logam berat Pb dan Cu dapat dilihat pada permukaan biosorben SMS *Coprinus comatus*. Karakterisasi BET menyatakan luas permukaan biosorben sebesar 1,4666 m²/g dengan ukuran pori 43,1569 Å. Pada biosorben ditemukan grup gugus C=C, -OH, -NH dan terdapat pergeseran puncak setelah proses biosorpsi serta hasil karakterisasi XRD menunjukkan nilai derajat kristalinitas biosorben SMS *Coprinus comatus* 5,30% yang kemudian mengalami penurunan setelah proses biosorpsi menjadi 1,89 pada Pb dan 4,65% pada Cu.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Riau, yang telah mendukung serta mendanai penelitian ini dengan nomor kontrak 14822/UN19.5.1.3/AL.04/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/min12020205>
- Boddu, V. M., Abburi, K., Talbott, J. L., Smith, E. D., & Haasch, R. (2008). Removal of arsenic (III) and arsenic (V) from aqueous medium using chitosan-coated biosorbent. *Water Research*, 42(3). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.08.014>
- Dewanti, D. (2018). Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 81–88.
- Dias, A. A., Freitas, G. S., Marques, G. S. M., Sampaio, A., Fraga, I. S., Rodrigues, M. A. M., Evtuguin, D. V., & Bezerra, R. M. F. (2010). Enzymatic saccharification of biologically pre-treated wheat straw with white-rot fungi. *Bioresource Technology*, 101(15). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.110>
- Dimawarnita, F., Perwitasari, U., Marsudi, S., Faramitha, Y., & Suharyanto. (2022). The Utilization of Oil Palm Empty Fruit Bunches for Growth of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) and Biodelignification Process During Planting Cycle. *Agrivita*, 44(1). <https://doi.org/10.17503/agrivita.v44i1.2311>
- El-Gendy, M. M. A. A., Hassanein, N. M., Ibrahim, H. A. E. H., & Abd El-Baky, D. H. (2017). Heavy metals biosorption from aqueous solution by endophytic *Drechslera hawaiiensis* of *Morus alba* L. derived from heavy metals habitats. *Mycobiology*, 45(2). <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.2.73>
- Eliescu, A., Georgescu, A. A., Nicolescu, C. M., Bumbac, M., Cioateră, N., Mureșeanu, M., & Buruleanu, L. C. (2020). Biosorption of Pb(II) from Aqueous Solution Using Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) Biomass and Spent Mushroom Substrate. *Analytical Letters*, 53(14), 2292–2319. <https://doi.org/10.1080/00032719.2020.1740722>
- Fomina, M., & Gadd, G. M. (2014). Biosorption: Current perspectives on concept, definition and application. *Bioresource Technology*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102>
- Gaind, S., & Nain, L. (2007). Chemical and biological properties of wheat soil in response to paddy straw incorporation and its biodegradation by fungal inoculants. *Biodegradation*, 18(4). <https://doi.org/10.1007/s10532-006-9082-6>

- Gong, X., Li, S., Carson, M. A., Chang, S. X., Wu, Q., Wang, L., An, Z., & Sun, X. (2019). Spent mushroom substrate and cattle manure amendments enhance the transformation of garden waste into vermicomposts using the earthworm *Eisenia fetida*. *Journal of Environmental Management*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109263>
- Goyal, S., Dhull, S. K., & Kapoor, K. K. (2005). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*, 96(14). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.12.012>
- Groz dov, D., & Zinicovscaia, I. (2023). Mesoporous Materials for Metal-Laden Wastewater Treatment. Dalam *Materials* (Vol. 16, Nomor 17). <https://doi.org/10.3390/ma16175864>
- Halim, S. F., Yong, S. K., & Tay, C. C. (2017). Ammonia nitrogen adsorption using spent mushroom substrate biochar (Smsb). *Pertanika Journal of Science and Technology*, 25(S7).
- Hasibuan, I. R., Antara, N. S., & Wijaya, I. M. M. (2021). Isolasi dan Karakterisasi Jamur Pelapuk Putih Pendegradasi Lignin dari Limbah Cair Pulp dan Kayu Lapuk Eukaliptus (*Eucalyptus* sp.). *JURNAL REKAYASA DAN MANAJEMEN AGROINDUSTRI*, 9(1). <https://doi.org/10.24843/jrma.2021.v09.i01.p12>
- He, X., Zhang, Y., Shen, M., Tian, Y., Zheng, K., & Zeng, G. (2017). Vermicompost as a natural adsorbent: evaluation of simultaneous metals (Pb, Cd) and tetracycline adsorption by sewage sludge-derived vermicompost. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(9). <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8529-0>
- Herlina, R., Nasra, E., Zainul, R., & Sari, T. K. (2023). Pengaruh Massa Adsorben Pada Biosorpsi Ion Logam Cr(VI) Menggunakan Biosorben Selulosa Dari Kulit Durian (*Durio zibethinus* L.). *Periodic*, 12(2). <https://doi.org/10.24036/periodic.v12i2.118351>
- Irawan, C., Dahlan, B., & Retno, N. (2015). Pengaruh Massa Adsorben, Lama Kontak Dan Aktivasi Adsorben Menggunakan HCl Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat (Fe) Dengan Menggunakan Abu Layang Sebagai Adsorben. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 3(2). <https://doi.org/10.32487/jtt.v3i2.89>
- Isroi, Millati, R., Syamsiah, S., Niklasson, C., Cahyanto, M. N., Lundquist, K., & Taherzadeh, M. J. (2011). Biological pretreatment of lignocelluloses with white-rot fungi and its applications: A review. Dalam *BioResources* (Vol. 6, Nomor 4). <https://doi.org/10.15376/biores.6.4.isroi>
- Kamarudzaman, A. N., Chia Chay, T., Ab Jalil, M. F., & Abdul Talib, S. (2013). Biosorption of iron (III) from aqueous solution using *pleurotus ostreatus* spent mushroom compost as biosorbent. *Advanced Materials Research*, 781–784. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.781-784.636>
- Kartika, V., Ratnawulan, & Gusnedi. (2016). Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi Terhadap Mikrostruktur Dan Derajat Kristalinitas Karbon Aktif Kulit Singkong Sebagai Bahan Dasar Gdl (Gas Diffusion Layer). *Pillar Of Physics*, 7(April).
- Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L. U., Farooq, A., Akhtar, K., & Asiri, A. M. (2018). Fourier transform infrared spectroscopy: Fundamentals and application in functional groups and nanomaterials characterization. *Handbook of Materials Characterization*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_9
- Leonowicz, A., Cho, N.-S., Wasillewska, M. W., Rogalski, J., & Luterek, J. (1997). Enzymes of White-rot Fungi Cooperate in Biodeterioration of Lignin Barrier Enzymatic cathodes View project Basic Approaches for artificial cultivation of Ectomycorrhizal fungi View project. *Korean Wood Science and Technology*, 25(2), 1–20. <https://www.researchgate.net/publication/264102168>
- Loh, S. K., James, S., Ngatiman, M., Cheong, K. Y., Choo, Y. M., & Lim, W. S. (2013). Enhancement of palm oil refinery waste - Spent bleaching earth (SBE) into bio organic fertilizer and their effects on crop biomass growth. *Industrial Crops and Products*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.016>
- M, M., & A, A. (2017). Lignin Degradation by Fungal Pretreatment: A Review. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 08(02). <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000398>

- Mäkelä, M. R., Hildén, K. S., & Kuuskeri, J. (2021). Fungal lignin-modifying peroxidases and H₂O₂-Producing enzymes. Dalam *Encyclopedia of Mycology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.21127-8>
- Mohammad, N., Alam, M. Z., Kabbashi, N. A., & Ahsan, A. (2012). Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi: A review. Dalam *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 58, hlm. 69–78). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.10.009>
- Nurhidayah, V., Manurung, P., & Ginting, E. (2022). Pengaruh Laju Penambahan Doping Fosfor terhadap Struktur Kristal dan Luas Permukaan Spesifik Nanotitania dengan Metode Sol Gel. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 2(2). <https://doi.org/10.23960/jemit.v2i2.135>
- Qu, J., Zang, T., Gu, H., Li, K., Hu, Y., Ren, G., Xu, X., & Jin, Y. (2015a). Biosorption of copper ions from aqueous solution by *Flammulina velutipes* spent substrate. *BioResources*, 10(4). <https://doi.org/10.15376/biores.10.4.8058-8075>
- Septiano, A. F., Susilo, & Setyaningsih, N. E. (2021). Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44(2), 81–85. <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM>
- Shi, Y., Wang, Z., & Wang, Y. (2020). Optimizing the amount of pig manure in the vermicomposting of spent mushroom (*Lentinula*) substrate. *PeerJ*, 8. <https://doi.org/10.7717/peerj.10584>
- Siddiquee, S., Shafawati, S. N., & Naher, L. (2017). Effective composting of empty fruit bunches using potential *Trichoderma* strains. *Biotechnology Reports*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2016.11.001>
- Song, T., Yu, S., Wang, X., Teng, C., Bai, X., Liang, J., Dong, L., Ouyang, F., Qu, J., & Jin, Y. (2017). Biosorption of Lead(II) from Aqueous Solution by Sodium Hydroxide Modified *Auricularia auricular* Spent Substrate: Isotherms, Kinetics, and Mechanisms. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3419-0>
- Tan, L., Yu, Y., Li, X., Zhao, J., Qu, Y., Choo, Y. M., & Loh, S. K. (2013). Pretreatment of empty fruit bunch from oil palm for fuel ethanol production and proposed biorefinery process. *Bioresource Technology*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.134>
- Thahir, R., & Laurenz, S. (2018). PREPARASI DAN KARAKTERISASI TITANIUM DIOKSIDA (TiO₂) MESOPORI SEBAGAI ADSORBEN LOGAM Cu(II) DAN METHYLENE BLUE. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian*, 53–57.
- Wei, T., Chen, H., Wu, D., Gao, D., Cai, Y., Cao, X., Xu, H., Yang, J., & Guo, P. (2023). Response surface methodology for the mixed fungal fermentation of *Codonopsis pilosula* straw using *Trichoderma reesei* and *Coprinus comatus*. *PeerJ*, 11. <https://doi.org/10.7717/peerj.15757>
- Wei, V. S. J., Bing, C. H., Saptoroand, A., & Nandong, J. (2016). Effects of Temperature, Aeration Rate and Reaction Time on Composting of Empty Fruit Bunches of Oil-Palm. *Iranica journal of energy and environment*. <https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2016.07.02.11>
- Widwastuti, H., Bisri, C., & Rumhayati, B. (2019). Pengaruh Massa Adsorben dan Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Fosfat menggunakan Kitin Hasil Isolasi dari Cangkang Udang. *Jurnal SENIATI*.
- Wu, Q., Xian, Y., He, Z., Zhang, Q., Wu, J., Yang, G., Zhang, X., Qi, H., Ma, J., Xiao, Y., & Long, L. (2019). Adsorption characteristics of Pb(II) using biochar derived from spent mushroom substrate. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52554-2>
- Yenie, E., Bahri, S., Hapsoh, & Saputra, E. (2023). Synthesis of composite adsorbent based on Spent Mushroom Substrate (SMS) and Spent Bleaching Earth (SBE). *Materials Today: Proceedings*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.378>