

REVIEW : MIKROBA PENDEGRADASI LIGNOSELULOSA DARI TANAH GAMBUT

REVIEW: LIGNOCELLULOSE DEGRADATION MICROBES FROM PEAT SOIL

Arni Supriyanti¹, Sumardi²

¹Pasca Sarjana Biologi, Prodi Magister Biologi, Univ.Lampung/ Badan Riset Inovasi Nasional

² Pasca Sarjana Biologi, Universitas Lampung

ABSTRACT

Peatlands in Indonesia reach 22.5 million hectares, making Indonesia one of the five countries with the largest peatlands in the world. North Sumatra is one of 10 provinces with around 600,000 hectares of peat land. Despite having great peatland potential, this area is still considered of low value due to its unique geological and environmental specifications. Peat soils tend to be brittle and unequal, with a relatively high moisture content and little vegetation. Most of the peat soil contains 95% organic fraction and only 5% inorganic fraction. The organic fraction consists of 10-20% organic compounds, such as humic acid, himatemalonate, and humin. Meanwhile, most of the organic compounds consist of lignin, cellulose, hemicellulose, protein, suberin, waxes, tannins, resins, and others. The content of peat in Sumatra and Kalimantan is mostly wood, while the organic matter component is mostly composed of lignin which accounts for more than 60% dry matter. The content of other ingredients such as cellulose, hemicellulose, and protein generally does not exceed 11%. Lignocellulosic materials can be broken down into simple compounds by enzymes such as laccase and cellulase. These enzymes are extracellular enzymes produced by bacteria, fungi or molds, and plants, which are released into the soil system. An important role of this enzyme is the mineralization of nutrients and the decomposition of organic matter.

Keywords : Peat Soil, Lignocellulose, Fungi, bacteria

INTISARI

Lahan gambut di Indonesia mencapai 22.5 juta hektar. sehingga Indonesia termasuk salah satu dari lima negara dengan lahan gambut terluas di dunia. Sumatera Utara merupakan salah satu dari 10 provinsi dengan sekitar 600.000 hektar lahan gambut. Meskipun memiliki potensi lahan gambut yang besar. kawasan ini masih dianggap bernilai rendah karena spesifikasi geologis dan lingkungannya yang unik. Tanah gambut cenderung ranuh dan tidak ekuivalen. dengan kadar air yang relatif tinggi dan vegetasi sedikit. Kandungan tanah gambut Sebagian besar mengandung fraksi organik 95% dan hanya 5% fraksi anorganik. Fraksi organik terdiri dari senyawa organic sebesar 10-20%. seperti asam humat, himatemalonat, dan humin. Sementara itu, sebagian besar senyawa organic terdiri dari lignin, selulosa, hemiselulosa, protein, suberin, lilin, tanin, resin, dan lainnya. Kandungan bahan gambut di Sumatera dan Kalimantan sebagian besar berupa bahan kavu. sedangkan komponen bahan organiknya sebagian besar tersusun atas lignin yang jumlahnya lebih dari 60% bahan kering. Kandungan bahan lain seperti selulosa, hemiselulosa, dan protein umumnya tidak melebihi 11%. Bahan lignoselulosa dapat dipecah menjadi senyawa sederhana oleh enzim seperti lakase dan selulase. Enzim-enzim tersebut merupakan enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh bakteri. cendawan atau cendawan. dan tumbuhan. yang dilepaskan ke dalam sistem tanah. Peran penting enzim ini adalah mineralisasi nutrisi dan dekomposisi bahan organik.

Kata kunci : Tanah Gambut, Lignoselulosa, Fungi, bakteri

¹ Alamat penulis untuk korespondensi: A.Supriyanti. E-mail: arnialif0620@gmail.com/arni001@brin.go.id

PENDAHULUAN

Terdapat sekitar 22.5 juta hektar lahan gambut di Indonesia, menjadikannya salah satu dari 5 negara teratas dengan lahan gambut di dunia. Propinsi Sumatera Utara termasuk dalam 10 propinsi di Indonesia yang memiliki lahan gambut seluas sekitar 0.6 juta hektar (CIFOR 2019). Karakteristik geologi dan lingkungan di lahan gambut menyebabkan tempat ini belum optimal, seperti dasar tanah yang lemah dan tidak stabil, kadar air yang relatif tinggi, vegetasi yang jarang, dan kondisi lingkungan yang relatif asam dengan pH sekitar 3.40 - 4.04 (faperta UNTAN, 2020). Kondisi asam ini menghambat pertumbuhan tanaman dan unsur hara yang dibutuhkan. Meskipun demikian, jumlah lahan gambut yang tinggi mempunyai potensi untuk dikembangkan dalam bidang pertanian (Siregar, dkk. 2021).

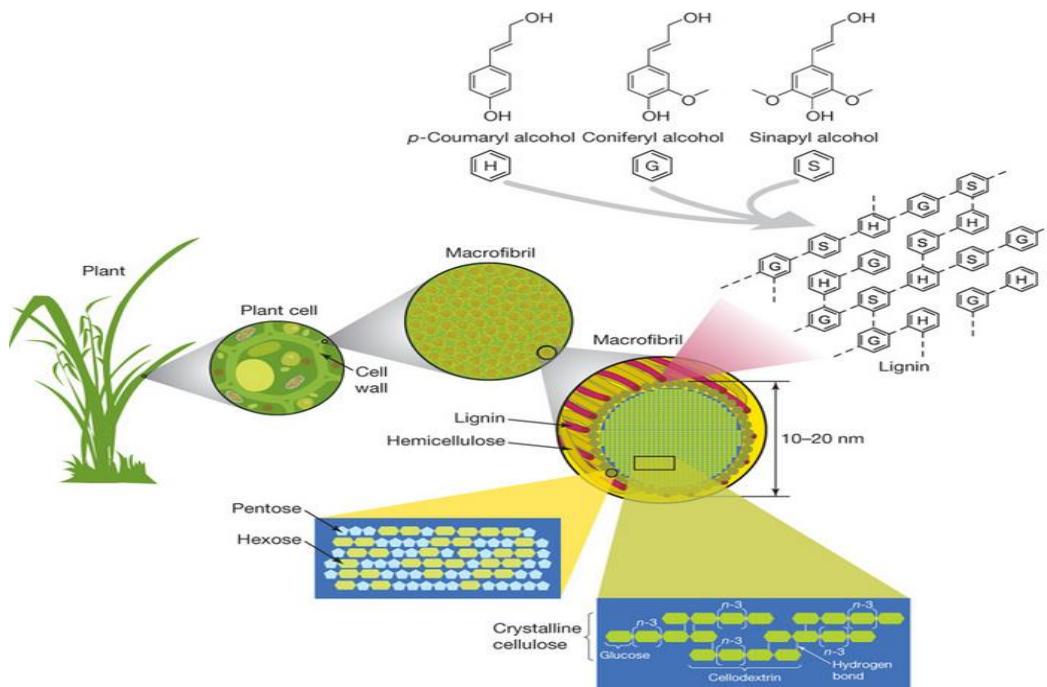
Ciri-ciri tanah gambut meliputi tingkat keasaman yang relatif tinggi dengan pH antara 3 hingga 5. Kapasitas tukar kationnya tinggi, kejemuhan basa rendah, dan kandungan unsur hara seperti N, P, K, Ca, dan Mg rendah. Selain itu, terdapat unsur mikro seperti Cu, Zn, dan Mn dalam jumlah kecil. Tanah gambut memiliki kurang dari 5% fraksi anorganik dan lebih dari 90% fraksi organik. Namun, bahan organik ini

sulit dimanfaatkan karena kompleks. Senyawa organiknya terdiri dari lignin, selulosa, hemiselulosa, lilin, tannin, resin, suberin, sebagian kecil protein, dan lain-lain. Karena karakteristiknya ini, tanah gambut belum optimal untuk pertanian atau budidaya dan memerlukan perhatian khusus dalam pengolahannya. Di Sumatera dan Kalimantan, tanah gambut didominasi oleh bahan berkayu, sehingga bahan organik utamanya adalah lignin sekitar 60% dari bahan kering, sedangkan sekitar 11% terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan protein. (Sumber: Roni, dkk. 2017; Alam, dkk. 2020; Siregar, dkk. 2021; Zhang et al, 2021; Permatasari, dkk. 2021).

Tujuan dalam penulisan ini adalah untuk memberikan informasi tentang mikroba pendegradasi tanah gambut, sehingga tanah gambut dengan berbagai karakteristik dapat dimanfaatkan secara optimal. Serta memberikan informasi tentang ekstraksi lignoselulosa oleh mikroorganisme.

PEMBAHASAN

Lignoselulosa terdiri dari tiga macam polimer polisakarida, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin.



Sumber : www.nature.com
Gambar 1. Struktur Lignoselulosa

Struktur lignoselulosa terdiri dari tiga komponen utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa merupakan rantai molekul glukosa yang terhubung oleh ikatan $\beta(1-4)$. Interaksi antara lapisan polisakarida yang berbeda melalui

ikatan hidrogen memegang peranan penting dalam menjaga kekuatan kayu selulosa mikrokristalin. Ketiga struktur mikrofibril ini bergabung untuk menjamin kestabilan struktur dinding sel tumbuhan.

Tabel 1. Persentase dari komponen berbeda Lignoselulosa

	Lignin (%)	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)
Hardwoods	18 – 25	45 -55	24 – 40
Softwoods	25 – 35	45 – 50	25 – 35
Grasses	10-30	25 - 40	25 -50

Source: Dart,R.K, et al. 2016

Susunan dinding sel, dinding sel primer memiliki ketebalan yang berbeda-beda (0.1-10.0 μm) dan terdiri dari polisakarida, sejumlah

glikoprotein serta bahan-bahan fenolik tertentu (seperti lignin). Tabel 2. menunjukkan elemen polimer utama dinding sel tumbuhan.

Tabel 2. Komposisi polimer dari Dinding sel primer tumbuhan tingkat tinggi

Polymer		
	% dry weight (approx) of unlignified primary cell wall	
	<i>Grasses</i>	<i>Others</i>
Cellulose	30	30
Pectin	5	35
Hemicellulose	64	30
Arabinoxylan	30	5
β -Glucan	30	0
Xyloglucan	4	25
Glycoprotein	< 1	5

Source: Dart R.K., et al. 2016

Ekstraksi Lignoselulosa

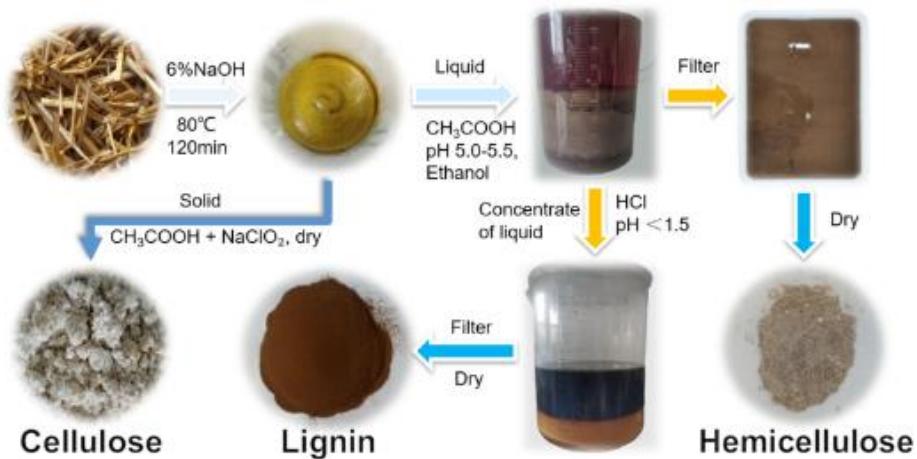
Prinsip utama ekstraksi lignoselulosa adalah bahwa hemiselulosa dan sebagian lignin dapat arut dalam larutan basa, sedangkan hemiselulosa dapat dipisahkan dengan menambahkan etanol ke dalam larutan. Lignin dapat dipisahkan dari larutan ini dalam kondisi asam kuat (Xu., et al 2021),.

Langkah-langkah ekstraksi Lignoselulosa :

1. Sampel ditempatkan dalam larutan Natrium Hidroksida 6% dengan perbandingan 1: 15 (b/v), dalam beaker glass dan dipanaskan pada penanangas air suhu 80°C selama 2 jam
2. Campuran tersebut disaring dengan menggunakan kertas saring loog ganda (diameter 12.5 cm, ukuran pori-pori 30-50 μm) dibawah kondisi vakum.
3. Padatan dicuci berulang kali dengan air suling sampai mencapai pH netral.
4. Padatan dicampur dengan asam asetat (31 mL/L) dan larutan NaClO₂ (9.5 g/L) dengan perbandingan 1 : 15 pada suhu 75°C untuk menghilangkan sisa lignin sampai padatan menjadi putih
5. Padatan yang tersisa setelah penyaringan adalah selulosa
6. Asam asetat ditambahkan pada filtrat langkah kedua sampai pH mencapai 5.00 – 5.50
7. Ditambahkan etanol absolute ke dalam larutan dengan perbandingan 2 : 1
8. Beaker glass ditutup dengan bungkus plastic selama 4 jam dan hemiselulosa diperoleh dengan vakum/ filtrasi hisap
9. Ekstrak hemiselulosa di uapkan dengan *rotary evaporator* (IKA RV10 basic, Shanghai Renhe Scientific Instrument Co., Ltd., China)
10. Kemudian ditambahkan asam klorida (6 mol/L) ke dalam larutan pekat sampai pH mencapai 1.5
11. Lignin diperoleh dengan metode pemisahan sentrifugal dan filtrasi
12. Komposisi bahan baku sampel dikeringkan dengan oven suhu 105°C selama 8 jam
13. Sebanyak 0.5 gram contoh diukur kemudian disaring dengan saringan selulosa F57
14. Penetapan serat dengan netral (NDF, termasuk selulosa, hemiselulosa,lignin dan abu) dan serat dengan asam (ADF, termasuk selulosa, lignin dan abu) dari contoh ditetapkan dengan menggunakan Analisa selulosa otomatis (ANKOM A2000i, ANKOM Technology, USA) (Van Soest et.,al 1991)
15. Kelebihan detergent neutral dan detergent acid digunakan untuk mencuci contoh pada suhu 100 \pm 0.5 °C dan tekanan 10-25 psi
16. Contoh kemudian dimasukkan ke dalam asam sulfat 72% selama 3 jam untuk

- kadar Lignin detergent asam (ADL, termasuk lignin dan abu)
17. Sampel dimasukkan ke dalam furnace suhu 600 ± 15 °C selama 2 jam untuk menentukan kadar abu nya
 18. Perhitungan Lignoselulosa

$$\begin{aligned}\text{Hemiselulosa (\%)} &= \text{NDF(\%)} - \text{ADF(\%)} \\ \text{Cellulose (\%)} &= \text{ADFF(\%)} - \text{ADL(\%)} \\ \text{Lignin (\%)} &= \text{ADL(\%)} - \text{kadar Abu (\%)}\end{aligned}$$

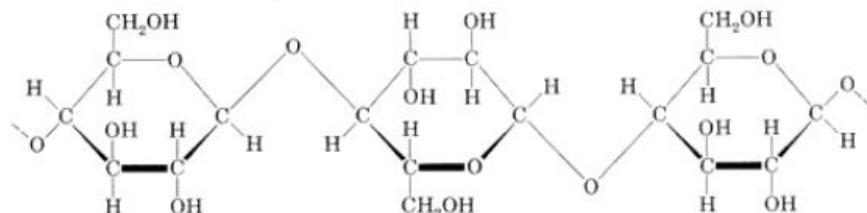


Gambar 2. Diagram alir yang menunjukkan ekstraksi lignoselulosa dari residu berbasis lignoselulosa

A. Selulosa,

Selulosa ialah salah satu polimer yang masih memiliki manfaat yang terbatas. Selulosa jarang ditemukan secara murni di alam karena selau

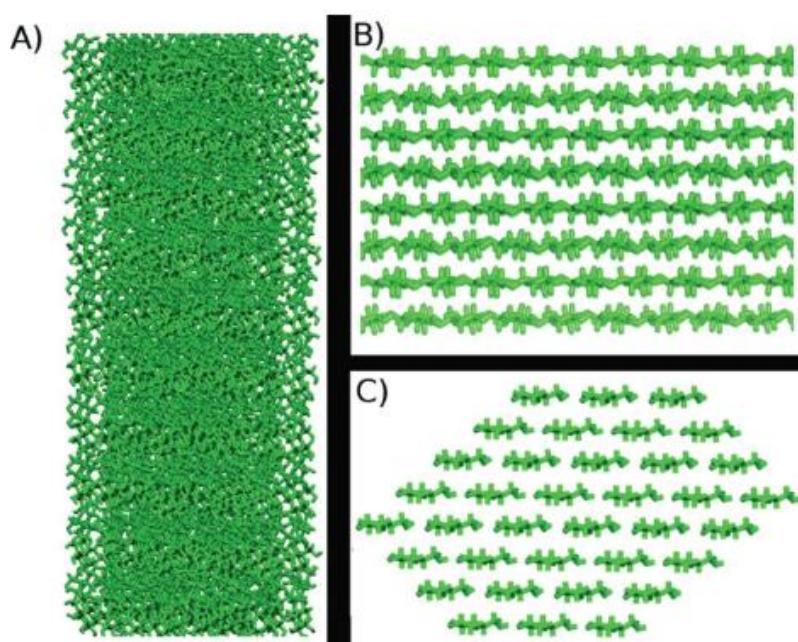
terikat dengan bahan lain seperti lignin dan hemiselulosa. Keberadaan lignin dan hemiselulosa mengelilingi selulosa menjadi penghambat dalam proses hidrolisis selulosa.



Gambar 3. Struktur Kimia Selulosa

Selulosa merupakan polimer glukosa yang terdiri dari ikatan β -1.4 glukosidik linier. Struktur dasar selulosa adalah selobiosa, yang merupakan dimer dari glukosa. Rantai panjang selulosa disatukan oleh ikatan hidrogen dan gaya van der Waals. Hidrolisis sempurna selulosa menghasilkan monomer selulosa yaitu glukosa yang dapat difermentasi, sedangkan hidrolisis tidak sempurna menghasilkan disakarida dari selulosa yaitu selobiosa (Sutini, dkk 2019). Menurut Smith (2019), selulosa merupakan salah satu komponen penyusun dinding sel

tumbuhan sekunder paling umum sekitar, sekitar 40% dari matriks lignoselulosa, sedangkan fraksi hemiselulosa merupakan komponen ketiga dari sel, sekitar 20 – 30%. Selulosa terdiri homopolymer panjang terdiri dari 7000 dan 15.000 unit monomer D-glukopiranosa (D-Glukosa) yang dihubungkan oleh ikatan β -1.4 glukosida. Selulosa memiliki dua bentuk kristalin, I β dan I α (Gambar 4), dengan I β umumnya ditemukan pada tanaman dan memiliki dua rantai triclinic unit-cell, sedangkan I α memiliki satu rantai tunggal dan umumnya dimiliki oleh bakteri.



Gambar 4. Proyeksi I β struktur Selulosa: (A) dari atas permukaan; (B) sepanjang sisi serat; (C) sepanjang sumbu fibril. Gambar diambil berdasarkan Visual Molecular Dynamic (VMD) dan koordinat diperoleh menggunakan Cellulose-Builder.

Menurut hasil penelitian Mulyadi (2019), selulosa dapat dipisahkan dengan beberapa metode, seperti:

1. Hidrolisis Alkali

Proses hidrolisis dengan alkali merupakan Teknik yang banyak diterapkan guna menghilangkan lignin dari bahan lignoselulosa. Tujuannya untuk mengganggu struktur lignin

dan memisahkan ikatan antara lignin dan selulosa. Proses ini dapat menyebabkan putusnya ikatan pada rantai selulosa. Perlakuan alkali seringkali dilakukan secara simultan dengan perlakuan asam. Metode ini relatif efektif, efisien, dan ramah lingkungan. Namun, kelemahan metode ini adalah jika tidak dilakukan pengontrolan dengan hati-hati, dapat menyebabkan terjadinya degradasi selulosa.

2. Hidrolisis Asam

Metode lain yang marak digunakan untuk perlakuan hidrolisis adalah dengan menggunakan asam. Hal ini dikarenakan waktu reaksi yang lebih singkat dibandingkan metode lainnya. Asam peroksida banyak dimanfaatkan pada metode ini, karena mampu berperan ganda yaitu sebagai pemutih dan pendegradasi lignin. Selain asam peroksida, asam sulfat juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan perlakuan hidrolisis asam.

3. Ledakan Uap

Proses ledakan uap dipilih karena mempunyai modal investasi yang rendah, dampak lingkungan lebih kecil, menggunakan bahan kimia berbahaya yang lebih sedikit, dan memiliki potensi energi efisien.

4. Ekstruksi

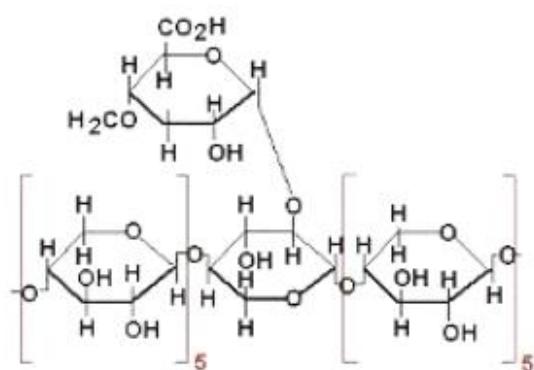
Teknik ini memanfaatkan suhu yang tinggi dengan waktu yang singkat. Keuntungan metode ini memiliki fleksibilitas tinggi, proses yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan limbah.

5. Enzimatik

Teknologi enzimatik adalah teknik terkini yang diterapkan dalam pemisahan selulosa. Oleh karena itu, masih sedikit riset yang memaparkan tentang proses pemisahan selulosa tersebut. Teknik ini menghasilkan selulosa dengan kristalinitas lebih rendah, namun dengan biaya produksi yang lebih mahal. Teknik ini merupakan hasil penggabungan antara perlakuan alkali dan hidrolisis enzim yang menggunakan enzim xylanase (Amrillah, dkk 2022)

B. Hemiselulosa

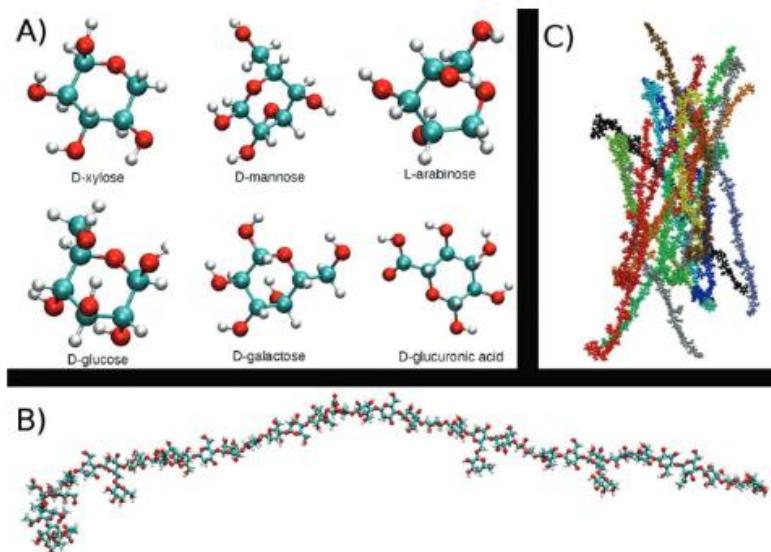
Hemiselulosa, unsur lignoselulosa kedua yang paling sering dijumpai, terdiri dari beragam gula berkarbon 5 dan 6 seperti arabinosa, galaktosa, glukosa, manosa, serta xilosa. Lignin terdiri dari tiga unsur fenolik utama: p-coumaryl alcohol (H), coniferyl alcohol (G), dan sinapyl alcohol (S).



Gambar 5. Struktur kimia Hemiselulosa

Hemiselulosa,, yang merupakan unsur terkecil dari lignoselulosa, adalah polimer heterogen bercabang yang terdiri dari berbagai jenis gula dan asam uronat yang berbeda (Gambar 6). Hemiselulosa terdiri dari empat komponen utama, yaitu xylan, mannan, β -glucans, dan xyloglucan. Dari keempat komponen diatas, xylan dan mannan lebih banyak digunakan untuk menghasilkan bioproduk dari tanaman lignoselulosa. Xylan ditemukan pada tumbuhan kayu keras dan herba, terdiri dari β -1.4 D-xylopyranosa (D-xylosa) dengan cabang pendek

yang mengandung asam D-glukuronat, L-arabinosa, D atau L galaktosa, atau D-glukosa bersama dengan asam glukoronat termodifikasi 4-O-methylether. Mannan, yang berbeda dengan xylan, ditemukan pada tumbuhan kayu lunak. Galactomannan yang terdiri dari D-mannopyranose yang dihubungkan melalui ikatan β -1.4 dan bercabang, dengan galaktosa sebagai komponen percabangan utama. Struktur jaringan ini terdiri dari polimer hemiselulosa besar antara 70 – 200 monomer, tergantung dari spesies tanaman (Smith, 2019).



Gambar 6. Hemicellulose: (A) Type monomer hemiselulosa; (B) rendering tiga dimensi dari rantai hemiselulosa galaktoglukomanan; dan (C) model struktur jaringan hemiselulosa dengan 15 rantai berbeda. Semua struktur dihasilkan menggunakan Avogadro dan mengalami minimalisasi energi dengan medan gaya universal sebelum dirender dalam VMD

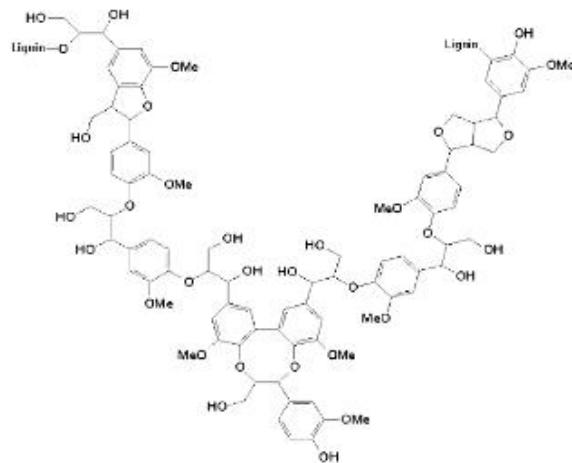
C. Lignin

Lignin terbentuk melalui proses polimerisasi dari komponen-komponen tertentu dengan proporsinya yang berbeda-beda pada setiap jenis tanaman, jaringan kayu, dan lapisan dinding sel. Berdasarkan Smith (2019), fraksi lignin pada lignoselulosa merupakan fraksi polimer kedua

yang paling melimpah. Lignin sendiri merupakan heteropolymer yang terdiri dari spesies monomer p-coumaryl, coniferyl dan sinapyl yang berasal dari hidroksinamil alkohol. Pada polimer lignin, monomer – monomer tersebut dimodifikasi menjadi H-lignin, G-lignin dan S – lignin dengan jenis monomer yang berbeda-beda pada setiap spesies tanaman. Pada

soft-wood G-lignin menjadi monomer paling dominan dengan beberapa unit H, sementara *hard-wood* dan rumput, terdapat ketiga jenis komponen tersebut walaupun H lebih umum pada rumput daripada kayu keras. Polimer lignin memiliki ikatan antar unit yang beragam,

termasuk β -O-4, 4-O-5, 5-5, β - β , β -5 dan α -O-4. Setelah mengalami polimerisasi, lignin akan membentuk struktur globular dan bergabung dengan polimer lignin lainnya. Kemudian, oligomer lignin ini akan terakumulasi menjadi jaringan hemiselulosa.



Gambar 7. Struktur Kimia Lignin

Mikroba Pendegradasi Lignoselulosa

Limbah pertanian, perkebunan dan pengolahan bahan pangan memiliki potensi yang sangat besar dalam memanfaatkan lignoselulosa sebagai sumber daya ekonomi yang lebih tinggi. Beberapa jenis bakteri dan fungi dapat mendegradasi lignoselulosa menjadi produk yang lebih sederhana (Yulinas, dkk 2019). Lakase dan selulase merupakan enzim yang terlibat dalam degradasi lignoselulosa menjadi senyawa sederhana. Enzim ini diklasifikasikan sebagai enzim ekstraseluler yang diproduksi oleh bakteri, jamur, dan tanaman, dilepaskan ke dalam tanah. Enzim ini memainkan peran penting dalam mineralisasi nutrisi dan pemecahan bahan organik. (Dong *et al.* 2015). Lakase berperan dalam degradasi bahan yang mengandung lignin, dan aktivitasnya lebih

rendah dengan semakin meningkatnya kadar air (Mulyawan, 2019).

Fungi

Fungi merupakan mikroorganisme yang memainkan peran penting dalam proses degradasi selulosa. Jamur pelapuk putih (*White Rot Fungi*) dapat memecah lignin, sedangkan kelompok ascomycetes dan basidiomycetes menggunakan hemiselulose dan lignin secara bersamaan (Irawan, 2021). Beberapa jamur yang memecah lignin dan selulosa menghasilkan enzim oksidatif dan hidrolitik ekstraseluler yang sangat penting. Disisi lain, jamur pelapuk coklat (*Brown Rot Fungi*) membantu dalam hidrolisis polisakarida kayu, dan sebagian juga dapat memodifikasi lignin. Hasil dari jenis pembusukan ini adalah kayu yang menyusut dan

mengalami perubahan warna menjadi coklat akibat lignin yang teroksidasi (Chandra, dkk 2019).

Menurut Chandra, dkk (2019), jamur yang menghasilkan enzim lignoselulolitik tersebar luas, termasuk spesies dari Ascomycetes seperti *Trichoderma reesei*, Basidiomycetes seperti jamur pelapuk putih (*Phanerochaete chrysosporium*), dan jamur pelapuk coklat (*Fomitopsis palustris*).

Enzim lakase merupakan salah satu enzim yang dihasilkan oleh fungi saat endegradasi selulosa. Enzim ini diklasifikasikan sebagai oksidase multitembaga dan dihasilkan oleh fungi pelapuk putih yang dianggap sebagai enzim ligninolitik karena sumber lignin adalah sumber terbaik untuk pertumbuhan fungi tersebut Chandra, dkk (2019).

Tabel 3. Produksi Lakase oleh Fungi pada Berbagai Substrat Lignoselulosa Menggunakan Fermentasi Padat

Fungi	Substrate	Laccase Activity (U/mL)	References
<i>Trameles pubescens</i> MB89	Wheat bran flakes	2.14	Osma et al. (2011)
<i>Pleurotus ostreatus</i> DSM 11191	Wheat bran flakes	2.78	Osma et al. (2011)
<i>Pleurotus flabellatus</i>	Coffee pulp	4.08	Parant and Eyini (2012)
<i>Ganoderma lucidum</i>	Pineapple leaf	317.8	Hariharan and Nambisan (2012)
<i>Irpea lacteus</i> F17	Sawdust, rice straw, and soybean powder	0.017	Zhao et al. (2015)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Potato	6.71	Ergun and Urek (2017)
<i>Coriolus versicolor</i>	Rice bran	0.98	Nasreen et al (2015)
<i>Coriolus versicolor</i>	Peanut shell	0.79	Nasreen et al (2015)
<i>Trametes versicolor</i> and <i>Funalia trogii</i>	Wheat bran	4.97 and 4.10	Boran and Yesilada (2011)
<i>Marasmius</i> sp.	Rice straw	1.12	Hendro et al. (2012)
<i>Trametes hirsula</i>	Wheat bran	9.3	Bakkiyaraj et al. (2013)
<i>Oudemansiella radicata</i>	Rice bran	1.48	Balaraju et al. (2010)
<i>Trametes versicolor</i>	Corncob	0.39	Emre and Ozfer (2013)
<i>Trichoderma harzianum</i>	Wheat straw powder	5.24	Huiju et al. (2013)
<i>Trichoderma muroiana</i>	Rubber wood dust	5.8	Jaber et al. (2017)

Jamur menurut Yunilas, dkk (2019), jamur *Trichoderma* sp. menghasilkan enzim hidrolitik seperti selulase, pectinase, dan xylanase. fungsi ini mampu menguraikan polisakarida kompleks seperti selulosa, pektin, hemiselulosa dan xilan. jamur dari genus *Trichoderma* terkenal dapat

memecah polisakarida (selulosa, hemiselulosa) sebagai sumber karbon, seperti D-glukosa, D-galaktosa, D-fruktosa, D-mannosa, selobiosa, trihalosa, D-xilosa, L-arabinosa, D-manitol, D-arabitol, gliserol, salisin esculin,

arbutin, gliserol-1-manoasetat, B-metil-D-glukosida dan N-asetil-B-D-glukosamin.

Di lingkungan gambut yang memiliki pH mendekati netral sekitar 6,5, beberapa isolate adalah anggota dari Ascomycetes. Selain itu, *Aspergillus niger*, fungi yang melaporkan menghasilkan enzim selulase dengan tingkat yang cukup tinggi, sering digunakan untuk sebagai penghasil enzim selulase yang dibutuhkan oleh industri. Dalam bidang pertanian organik, *Aspergillus niger* digunakan sebagai pupuk hayati atau pupuk mikroba (Subowo, 2012). Hidayat, dkk (2021), melaporkan bahwa pada pakan yang difermentasi, ditemukan isolasi jamur selulolitik yang mampu mendegradasi selulosa. Selulosa diuraikan menjadi glukosa melalui mekanisme kerja enzimatik oleh kompleks selulase yang terdiri dari eksogenase, endoglukonase, dan β -glukosidase. *Aspergillus*, genus fungi selulolitik, adalah jenis fungi yang paling banyak ditemukan dalam fermentasi *solid state fermentation* (SSF) pakan fermentasi dari campuran eceng gondok, bekicot padi dan tongkol jagung.

Bakteri

Selain jamur, mikroorganisme yang berperan dalam mengurai selulosa adalah bakteri selulolitik indigenus, yang menghasilkan enzim untuk menguraikan selulosa sehingga serat gambut dapat terurai lebih cepat. Menurut penelitian Zulaikha, et al. (2022), *Pseudomonas taiwanensis* adalah bakteri yang paling efektif dalam menguraikan serat gambut dengan tingkat keberhasilan sekitar 60% berdasarkan hasil skrining aktivitas selulase.

Serat selulosa juga banyak terdapat pada sisa kayu sebagaimana yang dilaporkan oleh Fahruddin (2020) tentang industry mebel di Makasar yang menghasilkan banyak sisa kayu yang mengandung kandungan selulosa yang tinggi. Kayu sendiri mempunyai kandungan selulosa sekitar 40 – 50%. Kurniawan, dkk (2018), melaporkan bahwa bakteri pengurai selulosa tumbuhan dapat dimanfaatkan sebagai

sumber energi yang dapat meningkatkan kandungan nutrisi pakan ikan. Bakteri ini dijumpai pada tanah pertanian, hutan mangrove di Bangka Belitung yang memiliki sisa daun mangrove yang dapat diurai oleh bakteri. Ditemukannya bakteri pengurai selulosa alami ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk mengurai selulosa baik untuk keperluan industri maupun konservasi lingkungan.

Rupaedah, dkk (2019), menyatakan bahwa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) memiliki potensi sebagai pupuk organik atau pakan ternak melalui pengomposan. Bakteri dari genus *Bacillus* berperan dalam mendegradasi lignin. Senyawa lignin sulit terdegradasi secara alami, sehingga memerlukan waktu yang lama untuk diuraikan. Enzim ekstraseluler LiP (*Lignin Peroxidase*) dan MnP (*Manganese peroxidase*) berperan dalam proses biodelignifikasi. Enzim LiP dapat mengatalisis beberapa reaksi oksidasi.

Proses dekomposisi gambut dilakukan oleh bakteri menurut Solikhah, et al.(2018), bakteri lignoselulolitik endogen dari tanah gambut Palangkaraya, Kalimantan menunjukkan bahwa semua isolate bakteri yang ditemukan mampu membusukkan tanah gambut sekitar 86%. Bakteri-bakteri tersebut teridentifikasi dari genus *Cellumomonas*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium* dan *Fibrobacter*.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa, mikroba pendegradasi tanah gambut terdiri atas fungi, bakteri yang memiliki enzim-enzim yang mampu memecah komponen lignoselulosa seperti lignin, hemiselulosa dan selulosa. Serta teknik ekstraksi yang digunakan untuk mendapatkan lignoselulosa.

DAFTAR PUSTAKA

Amrillah, N.A. Z., F. F. Hanum., A. Rahayu. 2022. Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari Agricultural Waste. Seminar

- Nasional Penelitian LPPM UMJ. E-ISSN:2745-6080.
<http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- Alam, H. El. Y. dan E. Zulaika. 2020. Studi Literatur Potensi Bakteri Endogenik Lahan Gambut Sebagai *Biofertilizer* untuk Memperbaiki Nutrisi Lahan. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. Vol.9, No 2, 2337-3520(2301-928X Print). Departemen Biologi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Chandra, M. R. G. S, dan M. Madakka.2019. Comparative Biochemistry and Kinetics of Microbial Lignocellulolytic Enzymes. Chapter 11. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-816328-3.00011-8>
- Dart R.K., W.B Betts., A.S. Ball and S. L. Pedlar. 2016. Biosynthesis and Structure of Lignocellulose. Chapter 7. <https://www.researchgate.net/publication/284865002>. <https://doi.org/10.1002/smll.202106342>.
- Dong W.Y., Zhang, X.Y, Liu. X.Y, FU. X.L, Chen. F.S, Wang. H.M, Sun. X.M, dan Wen. X.F. 2015. Responses of soil microbial communities and enzyme activities to nitrogen and phosphorus additions in Chinese firplantations of subtropical China. *Biogeosciences*.12: 5537-5546.<https://doi.org/10.5194/bg-12-5537-2015>
- Fahrudin, F. 2020. Isolasi dan Karakteristik Bakteri Pendegradasi Selulosa dari Limbah Pusat Industri Mebel Antang Makasar. *Jurnal Serambi Engineering*, volume V, No.2 hal 951-956.p-ISSN: 2528-3561. E-ISSN: 2541-1934
- Hidayat, R. A., dan Isnawati. 2021. Isolasi dan Fermetodege : Pakan Fermentasi Berbahan Campuran Eceng Gondok, Bekatul, Padi, dan Tongkol Jagung. *Jurnal LenteraBio*, Vol 10 Nomor 2: 176-187. p-ISSN: 2252-3979 e-ISSN:2685-7871.
<https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index>
- Irawan, B. 2021. Pengantar Mikologi. Plantaxia Yogyakarta. ISBN:978-602-5876-89-9
- Khairiah, E. 2013. Karakterisasi dan Kepadatan Bakteri Pendegradasi Selulosa pada Tanah Gambut di Desa parit Banjar kabupaten Pontianak. *Jurnal Protobiont*.Vol.2 (2): 87 – 92.
- Kurniawan, A., D. Febrianti., S. P. Sari., A. A. Prihanto., E. Asriani., A. Kurniawan., dan A. B. Sambah. Isolasi dna Identifikasi Bakteri Pendegradasi Selulosa Asal Ekosistem mangrove Tukak Sadai, Bangka Selatan. *Jurnal Perikanan Pantura* Volume 1 Nomor 2. ISSN: 2615-1537. E-ISSN: 2615-237. DOI: 10.30587/jpp.v1i2.461
- [CIFOR] Center for International Forestry Research. 2019. CIFOR Annual report 2019; Forest in a time crisis. Bogor. (ID): Center for International Forestry Research.
- Mulyadi, I. 2019. Isolasi dan Karakterisasi Selulosa : Review. *Jurnal Saintika UNPAM*. Vol 1 No.2 Januari 2019(177-182). p-ISSN 2621-7856. e-ISSN 2655-7312
- Mulyawan, R., L. T. Indiyati., H. Widiastuti., dan S. Sabiham. 2019. Uji Aktivitas Lakase dan Selulase pada Lignoselulosa Gambut dengan Berbagai Kadar Air. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIP)*.Vol.24(1):20-27. p-ISSN 0853-4217. e-ISSN 2443-3462.<http://journal.ipb.ac.id/index.php/JIPDOI> :10.18343/jipi.24.1.20
- Permatasari, N., A, D. Suswati, F. B. Arief, A. Aspan, dan A. Akhmad. 2021. *Jurnal Agritech* Vol.XXIII. pISSN: 1411-1063. eISSN:2580-5002.

- Rupaedah, B., D. Purwoko., A. Saffarida., T. Tajuddin., A. Wahid., M. Sugianto., I. Suja'i., dan A. Suyono. 2019. Skrining dan Identifikasi Mikroba Lignolitik pada Pegomposan Alami tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia* Vol. 6, Nomor 1.ISSN 2548-611X. <http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JBBI>
- Roni, K. A., M. Hastarina., dan R. Masriatini. 2017. Laporan Akhir Penelitian Produk Terapan. Pembuatan Etanol dari Tanah Gambut dengan Hidrolisis Asam Kuat. Universitas Muhammadiyah Palembang.
- Siregar, A, H. Walida, K. D. Sitanggang, F. S. Harahap, dan Yudi Triyanto. 2021. Karakteristik Sifat Kimia Tanah Lahan Gambut di Perkebunan Kencur Desa Sei Baru Kecamatan Panai Hilir Kabupaten Labuhanbatu. *Agrotechnology Research Journal*. Volume 5, no.1 pp 56 -62. ISSN 2655-7924. <http://jurnal.uns.ac.id/arj> Doi:10.20961/agrotechresj.v5i1.48434
- Smith, M. D. 2019. An Abbreviated Historical and Structural Introduction to Lignocellulose. Chapter 1. American Chemichal Society.
- Solikhah, F., W. Assavalapsakul and E. Zulaika. 2018. Peat Endogenous Lignocellulolytic Bacteria for Humic Waste Decomposition. IOP Conf.Series: *Journal of Physics*:Conf.Series 1108(2018)012023. Doi:10.1088/1742-6596/1108/1/012023
- Subowo, dan Y. Bernard. 2012. Seleksi Jamur Tanah Pendegradasi Selulosa dan Pestsida Deltamethrin dari Beberapa Lingkungan Di Kalimantan Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan* Vol.3 No.2 Hal 221-230. ISSN 1441-318X
- Sutini., Y. R. Widihastuty., dan A. N. Ramadhani. 2019. Review: Hidrolisis Lignoselulosa dari *Agricultural Waste* Sebagai Optimasi Produksi *Fermentable Sugar*. Naskah Equilibrium. Volume 3 No.2.<http://equilibrium.ft.uns.ac.id>
- Vincevia-gaile Z, Teppand T, Kriipsalu M, Krievans M, Jani Y, Klavins M, Setyobudi RH, Grinfelde I, Rudovica V, Tamm T, et al. 2021. Towards suistanable soil stabilization in peatlands:secondary raw materials as an alternative. *Sustainability*. 13(12):6726. <https://doi.org/10.3390/su13126726>
- <https://www.nature.com/scitable/content/structure-of-lignocellulose-14464273/>
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J.Dairy Sci.* 74(10), 3583-3597
- Xu, C., X. Zhang., Z. Hussein., P. Wang., R. Chen., Q. Yuan., Y. Gao., Na. Song., dan S. G.Gouda. 2021. Influence of the Structure and Properties of Lignocellulose on the Physicochemical Characteristics of Lignocelluloce-based Residu Used as an Environmentally Friendly Substrate. *Journal Science of the Total Environment* 790 (2021) 148089. www. elsevier. com/ locate/ scitotenv. <http:// doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148089>
- Yunilas, Y., L. Warly., Y. Marlinda., dan I. Ryanto. 2019. ISolasi dan Karakteristik Fungi Lignoselulolitik dari Limbah Sawit Sebagai Agen Pendegradasi pakan Berserat. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*. ISSN: 2085-2614. E-ISSN: 2528-2654. <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/RTP>
- Zulaika, E., F. Solikhah., M. A. P. Utomo., N. Endah., dan W. Assavalapsakul. 2022. Cellulose degrading bacteria isolated from Palangkaraya, Central Kalimantan, Indonesia as peat fiber decomposer to accelerate peat soil compression.

Journal Biodiversitas Volume 23, Number 3
pages: 1648-1654. ISSN: 1412-033X. E-ISSN:
2085-4722. DOI:10.13057/biodiv/d230356