

Uji Aktivitas Lakase dan Selulase pada Lignoselulosa Gambut dengan Berbagai Kadar Air

(Test of Lakase and Selulase Activities on Peat's Lignosellulose with Different Water Contents)

Ronny Mulyawan^{1*}, Lilik Tri Indriyati², Happy Widiastuti³, Supiandi Sabiham²

(Diterima Februari 2018/Disetujui Desember 2018)

ABSTRAK

Degradasi bahan lignoselulosa sebagai penyusun utama gambut terutama dikatalisis oleh enzim lakase dan selulase. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pola aktivitas lakase dan selulase di tanah gambut yang ditambahkan enzim lakase atau selulase pada kondisi non-steril dan steril pada kadar air 125–175, 225–275, dan 325–375%. Tanah gambut yang digunakan berasal dari rhizosfer kelapa sawit di Provinsi Riau. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan membandingkan nilai rata-rata antar perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas enzim pada gambut steril dan non-steril yang diberi enzim lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pemberian enzim baik lakase ataupun selulase pada semua kadar air yang diuji. Aktivitas lakase tertinggi pada waktu inkubasi hari pertama, sementara aktivitas selulase tertinggi pada waktu inkubasi 10 hari. Selisih penurunan kadar lignin dan selulosa pada kadar air 125–175% lebih tinggi dibandingkan dengan kadar air lainnya. Rata-rata nilai penurunan kadar lignin atau selulosa lebih tinggi pada pemberian enzim baik pada gambut steril maupun non-steril. Dapat disimpulkan bahwa dengan semakin tinggi kadar air maka aktivitas lakase dan selulase terhambat baik pada gambut steril maupun non-steril, khususnya pada pemberian enzim.

Kata kunci: degradasi, lignin, rhizosfer, selulosa

ABSTRACT

The degradation of lignocellulose as the main constituents of peat is catalyzed by enzymes such as laccase or cellulase. The purpose of this research was to study the pattern of laccase and cellulase activities on sterile and non-sterile peat materials at three different water contents (125–175, 225–275, and 325–375%). The peat soil used was collected from oil palm rhizosphere in Riau Province. This research used the descriptive method by comparing the mean values between treatments. The results showed that enzymes activities on sterile and non-sterile peat added with laccase or cellulase were higher compared to those without enzyme addition. The highest laccase activity was at the first day of incubation, while that for cellulase was at the 10th days of incubation. The activity of enzyme then decreased with the increase in the respected incubation time. The difference in decreasing of lignin and cellulose content at 125–175% water content was higher than at the other water contents. The decreases in lignin and cellulose contents were higher by addition of respected enzymes both in sterile and non-sterile peat. It could be concluded that at higher water content, laccase and cellulase activities were depressed both on sterile and non sterile peat, especially after the addition of enzyme.

Keywords: cellulose, degradation, lignin, rhizosphere

PENDAHULUAN

Rhizosfer di lahan gambut diartikan sebagai ekosistem mikro tempat interaksi antara akar tanaman, gambut, dan mikroba. Lingkungan rhizosfer menarik untuk diteliti karena mengandung banyak enzim yang berperan dalam siklus hara dan degradasi bahan

gambut, terutama lignoselulosa (lignin, selulosa, dan hemiselulosa) (Roni 2015). Bahan lignoselulosa didegradasi menjadi senyawa sederhana oleh enzim di antaranya lakase dan selulase. Lakase dan selulase merupakan enzim ekstraseluler (enzim yang dihasilkan oleh bakteri, fungi atau jamur, dan tumbuhan dan dilepaskan ke dalam sistem tanah) yang penting peranannya dalam mineralisasi hara dan dekomposisi bahan organik (Dong *et al.* 2015). Enzim merupakan biokatalisator yang tidak ikut bereaksi tetapi dapat menghasilkan mineral atau hara yang dibutuhkan oleh organisme (Lyla & Ajmal 2006). Kemampuan suatu enzim dalam mendegradasi suatu bahan bergantung pada komponen yang ada sebagai substratnya.

Lakase merupakan enzim ekstraseluler yang paling umum sebagai pendegradasi lignin. Lakase mampu mengoksidasi senyawa aromatik dan non-aromatik

¹ Sekolah Pascasarjana, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

² Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

³ Staf Peneliti di Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia, Jl. Taman Kencana No.1, Bogor 16151

* Penulis Korespondensi:
Email: mulyawanronny@gmail.com

(Kunamneni *et al.* 2007; Stoilova *et al.* 2010). Proses degradasi lignin dengan bantuan lakase secara umum dapat menghasilkan senyawa-senyawa sederhana yang mengandung unsur karbon yang mudah larut dalam air, seperti *veratril alcohol* dan dapat digunakan oleh mikroba sebagai sumber energi atau juga berupa radikal bebas atau kuinon (Dashtban *et al.* 2009). Enzim lakase banyak dihasilkan oleh jamur.

Selulase merupakan enzim ekstraseluler yang memotong secara bertahap rantai selulosa menjadi glukosa. Selulase merupakan enzim yang mampu menghidrolisis molekul yang tidak larut air seperti selulosa. Enzim ini terdiri atas tiga tipe enzim utama, yaitu *ekso-β-glukanase (selobiohidrolase)*, *endo-β-glukanase*, dan *β-glukosidase* yang secara sinergis bekerja dalam hidrolisis selulosa (Malherbe & Cloete 2002). Ketiga enzim ini bekerja secara sinergis mendegradasi selulosa dan melepas gula tereduksi (selobiosa dan glukosa) sebagai produk akhirnya (Chasanah *et al.* 2013). Selain mampu mendegradasi selulosa, selulase juga dapat mendegradasi sedikit hemiselulosa. Selulase di dalam tanah dihasilkan oleh jamur dan bakteri.

Beberapa penelitian pada lahan gambut, terutama di rhizosfer seperti Harianti (2017), Wiedermann *et al.* (2017), dan Blonka (2010) telah menunjukkan adanya aktivitas enzim ekstraseluler. Akan tetapi, belum ada di antara penelitian tersebut yang menggambarkan bagaimana pola aktivitas enzim, terutama enzim pendegradasi lignoselulosa di gambut dengan persentase kadar air yang berbeda. Kadar air merupakan salah satu faktor lingkungan yang penting pada lahan gambut. Menurut Putri *et al.* (2016) kadar air gambut di rhizosfer, adalah ± 281%, sedangkan di gambut non-rhizosfer ± 257% dan dapat lebih tinggi bergantung pada tingkat kematangan gambutnya. Air merupakan komponen utama yang penting pada beberapa proses katalitik, terutama yang berkaitan dengan reaksi hidrolitik seperti sintesis, produksi, dan aktivitas enzim ekstra dan intraseluler (Gianfreda & Bollag 1996). Oleh karena itu, perlu adanya penelitian tentang pola aktivitas enzim ekstraseluler pada bahan gambut yang berasal dari rhizosfer pada beberapa kadar air yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur pengaruh aktivitas lakase dan selulase dengan kadar air yang berbeda pada kadar lignoselulosa gambut yang berasal dari rhizosfer.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah, Divisi Kimia dan Kesuburan Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Institut Pertanian Bogor dan Laboratorium Mikrobiologi dan Bioproses, Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bio-industri Indonesia, Bogor. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari–November 2017.

Percobaan pada penelitian ini menggunakan tiga faktor, yaitu a) Jenis enzim, yaitu lakase dan selulase, b) Bahan gambut saprik steril dan non-steril, dan c)

Kadar air gambut dibuat dalam tiga taraf, yaitu 125–175, 225–275, dan 325–375% yang mewakili gambut agak basah, basah, dan agak tergenang. Penentuan taraf kadar air dilakukan berdasarkan pengukuran bobot kering bahan gambut saprik, yaitu ± 150%. Setiap kombinasi perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga diperoleh 36 satuan percobaan.

Pelaksanaan Penelitian

Bahan gambut diambil dari Provinsi Riau pada Januari 2015 dari rhizosfer tanaman kelapa sawit pada kedalaman 0–75 cm. Sterilisasi bahan gambut dilakukan dengan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 60 menit. Proses sterilisasi bahan gambut bertujuan untuk melihat pengaruh enzim tanpa ada pengaruh mikroba tanah asal (*indigenous*). Bahan gambut saprik steril dan non-steril masing-masing sebanyak 300 g gambut yang sudah dikeringkan sampai kadar air ±150%, dimasukkan ke dalam pot plastik dengan diameter 20 cm dan tinggi 15 cm. Dosis lakase dan selulase yang diberikan berdasarkan hasil analisis awal kadar lignoselulosa gambut (lignin 28,3% dan selulase 49%) yang merupakan substrat enzim pendegradasi lignoselulosa. Selanjutnya dosis lakase sebanyak 30 mg atau selulase sebanyak 60 mg masing-masing dicampurkan ke dalam pot steril atau non-steril. Kadar air dalam pot gambut steril atau non-steril disesuaikan dengan perlakuan selama waktu inkubasi kadar air dan dipertahankan selama inkubasi. Pot-pot percobaan tersebut diinkubasi selama 25 hari. Pengukuran aktivitas lakase dan selulase adalah pada inkubasi 0, 1, 5, 10, 15, 20, dan 25 hari. Pada saat yang sama juga dilakukan analisis kadar lignin, selulosa, C organik total, dan pH.

Analisis Aktivitas Lakase

Aktivitas lakase ditetapkan dengan metode spektrofotometer (Eichlerova *et al.* 2012). Sebanyak 5 g contoh gambut, ditambah 20 mL buffer fosfat 0,2 M pH 4–5, kemudian disentrifus dengan kecepatan 5.000 rpm pada suhu 40°C selama 10 menit. Apabila filtrat masih keruh dilakukan sentrifus kembali sampai benar-benar jernih. Sebanyak 0,3 mL buffer asetat 1,5 M dengan pH 5 dicampurkan dengan 1 mL ABTS (2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid). Sebanyak 1,2 mL filtrat enzim ditambahkan pada saat akan diukur, dengan spektrofotometer UV-VIS 1280 Shimadzu pada panjang gelombang 420 nm. Aktivitas lakase dihitung dengan:

$$\text{Aktivitas lakase (U/mL)} = \frac{(A_i - A_0) \times V_{\text{total}} \times 10^6}{\epsilon \times \text{maks}}$$

Keterangan:

A_i : Absorbansi pada waktu hari ke- i (pengamatan)

A_0 : Absorbansi pada waktu hari ke-0

V_{total} : Volume total seluruh filtrat

$\epsilon \text{ maks}$: Absorptivitas molar ABTS ($36.000 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

Satu unit aktivitas lakase (U/mL) didefinisikan sebagai jumlah lakase yang dioksidasi oleh 1 μmol

senyawa ABTS (2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) per menit.

Analisis Aktivitas Selulase

Aktivitas selulase ditetapkan dengan metode CMC (*Carbon methyl cellulose*) (Ghose 1987). Pengukuran aktivitas selulase menggunakan matriks yang sama dalam pengukuran baik pada sampel, blanko, dan standar. Aktivitas selulase ditentukan dengan mengukur kadar glukosa yang dihasilkan pada setiap waktu. Kadar glukosa diukur dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis 1280 Shimadzu pada panjang gelombang 540 nm. Blanko terdiri atas 5 g gambut, 12,5 mL buffer sitrat pH 3,0–7,0 (d disesuaikan dengan kondisi pH tanah), dan 12,5 mL H₂O steril. Pengukuran standar menggunakan 5 g gambut, 12,5 mL buffer sitrat, dan 12,5 mL glukosa. Pada blanko dan standar gambut pengekstrak dicampur merata dengan vortex, selanjutnya diinkubasi selama 30 menit pada suhu 30°C. Pengukuran sampel diambil 5 g gambut, 12,5 mL CMC 1,4% (b/v) dalam buffer sitrat, dan 12,5 mL glukosa standar, selanjutnya dicampur merata dengan vorteks dan dilakukan inkubasi yang sama seperti pada blanko dan standar. Kemudian semua tabung blanko, standar glukosa, dan gambut ditambah 5 mL DNS, lalu dipanaskan selama 10 menit pada suhu 100°C dan selanjutnya didinginkan. Pengenceran dilakukan dengan pemberian 7,5 mL aquades dan disentrifugasi pada 2.500 rpm selama 15 menit. Kemudian supernatan yang berwarna kuning kecokelatan diukur absorbansinya pada λ 540 nm dengan spektrofotometer UV-VIS 1280 Shimadzu. Pengukuran aktivitas enzim dalam satuan unit per mililiter (U/mL) dilakukan berdasarkan tiga kali ulangan dari setiap perlakuan untuk masing-masing waktu inkubasi. Satu unit enzim didefinisikan sebagai banyaknya enzim yang dibutuhkan untuk melepaskan satu μ mol glukosa tiap menit. Aktivitas selulase dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Aktivitas selulosa (U/mL)} = \text{Konsentrasi contoh tanah} \times \frac{1.000}{W3V \times t \times BM}$$

$$\text{Konsentrasi glukosa contoh tanah} = ((A_s - A_b) - (A_k - A_b))$$

Keterangan:

- A_s : Absorbansi contoh gambut
- A_b : Absorbansi blanko gambut
- A_k : Absorbansi kontrol gambut
- V : Volume enzim
- t : Waktu inkubasi
- BM : Bobot molekul glukosa (180)

Aktivitas selulase dalam memecah selulosa menjadi glukosa dapat ditentukan melalui persamaan yang diperoleh dari kurva standar glukosa yang dihubungkan dengan absorbansi. Kurva standar glukosa dibuat dengan membuat larutan glukosa dengan berbagai konsentrasi (0–0,4 mg/mL). Larutan glukosa dengan variasi konsentrasi yang berbeda dilarutkan dalam buffer sitrat fosfat pH 5, masing-masing 1 mL dalam tabung reaksi lalu ditambahkan 1

mL reagen DNS. Setiap larutan kemudian dipanaskan dalam *waterbath* pada suhu 100°C selama 15 menit.

Analisis Kadar Lignoselulosa

Penetapan kadar selulosa dan lignin dilakukan dengan metode Ayeni *et al.* (2015) yang dimodifikasi. Satu gram contoh tanah kering (W1) ditambahkan 150 mL NaOH 0,5 mol/L, dan dipanaskan pada *hotplate* selama dua jam. Kemudian ditambahkan 20 mL air steril. Hasilnya disaring dengan menggunakan *Whatman* dan residu dibilas dengan air steril sehingga filtrat memiliki pH 7. Residu kemudian dikeringkan dengan oven 105°C sampai bobot konstan, kemudian ditimbang (W2). Residu ditimbang tepat sekitar 0,3 g (W3), kemudian ditambahkan 3 mL H₂SO₄ 72% dan didiamkan selama dua jam pada suhu kamar. Air steril sebanyak 84 mL ditambahkan dan selanjutnya dipanaskan di autoklaf pada suhu 121°C selama satu jam. Hasilnya disaring dan dibilas kembali. Residu selanjutnya diabukan pada suhu 550°C dan ditimbang (W4). Adapun perhitungan kadar hemiselulosa, selulosa, dan lignin yaitu:

$$\text{Kadar hemiselulosa} = \frac{W2}{W1} \times 100\%$$

$$\text{Kadar lignin} = \frac{W4}{W3} \times 100\%$$

$$\text{Kadar selulosa} = 100 - \text{hemiselulosa} - \text{lignin}$$

Keterangan:

- W1 : Contoh gambut (g)
- W2 : Residu setelah dioven 105°C (g)
- W3 : Contoh tanah gambut dari residu hemiselulosa (g)
- W4 : Residu setelah diabukan 550°C (g)

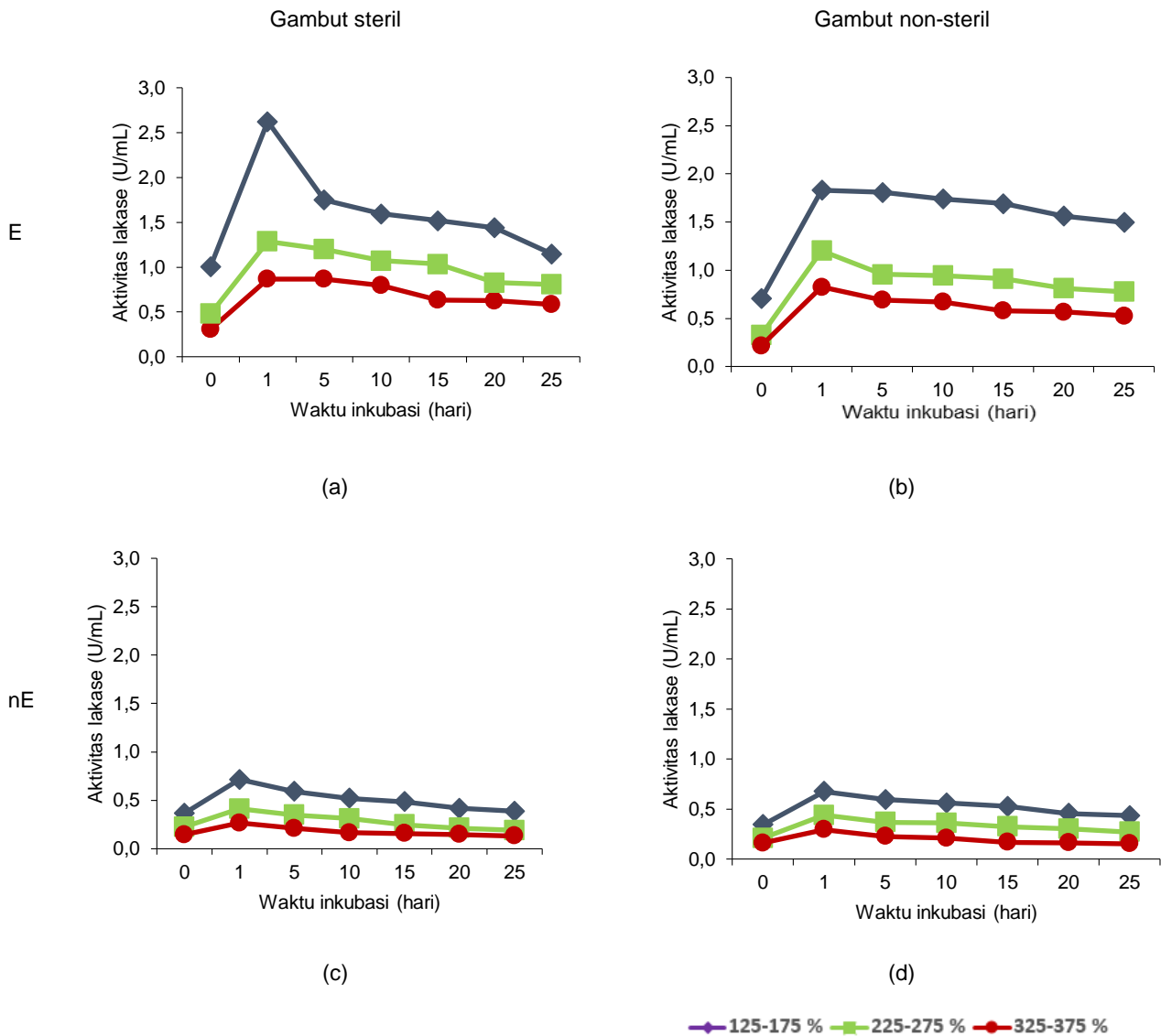
Analisis Data

Data yang diperoleh ditabulasi dan diolah dengan *Microsoft Excel* 2013, serta diuraikan dan dibahas secara deskriptif dengan membandingkan nilai pada setiap perlakuan karena data memiliki nilai keragaman yang tinggi. Pola aktivitas enzim disajikan dalam bentuk grafik, sedangkan Δ (delta) penurunan lignoselulosa yang merupakan nilai pengurangan hasil perwaktu pengukuran menggunakan tabel pada tiga persentase kadar air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Kadar Air pada Aktivitas Lakase

Lakase merupakan enzim yang berperan dalam degradasi bahan yang mengandung lignin. Aktivitas lakase pada semua perlakuan selama waktu inkubasi 25 hari (Gambar 1) secara umum tertinggi pada waktu inkubasi hari pertama (satu hari). Setelah itu aktivitas lakase menurun dengan bertambahnya waktu inkubasi. Aktivitas lakase lebih rendah dengan semakin meningkatnya kadar air. Tingginya aktivitas lakase pada awal waktu inkubasi diduga karena lakase



Keterangan: E = Pemberian enzim dan nE = Tanpa pemberian enzim.

Gambar 1 Aktivitas lakase pada tiga kadar air dalam a) Gambut steril dengan pemberian lakase, b) Gambut non-steril dengan pemberian lakase, c) Gambut steril tanpa pemberian lakase, dan d) Gambut non steril tanpa pemberian lakase.

langsung aktif terhadap substrat yang ada pada bahan gambut. Lakase merupakan enzim yang dapat mengoksidasi banyak gugus fenolik (Yuan *et al.* 2015) yang banyak terdapat pada gambut.

Aktivitas lakase pada bahan gambut yang diberi enzim lakase lebih tinggi dibandingkan pada bahan gambut yang tidak diberi enzim lakase baik pada gambut steril maupun non-steril. Hal ini diduga pada perlakuan tanah non-steril yang diberikan lakase, terdapat sebagian enzim sebagai sumber energi bagi mikroba yang memang sudah ada pada bahan gambut. Mikroba lebih memilih sumber-sumber energi yang mudah untuk dirubah salah satunya dalam bentuk protein. Enzim terbentuk dari protein yang lebih mudah untuk dimanfaatkan atau digunakan kembali oleh mikroba dalam proses metabolismenya, lebih memilih sumber karbon sederhana sebagai sumber energi (Saropah *et al.* 2012). Selain itu, diduga terdapat kompetisi antara enzim yang dihasilkan oleh mikroba

dengan enzim yang ditambahkan sehingga nilai aktivitas lakase pada kadar air yang lebih tinggi menunjukkan lebih rendah dibandingkan dengan bahan gambut steril yang diberi lakase.

Aktivitas lakase pada gambut steril yang diberi lakase pada kadar air 125–175% menunjukkan nilai aktivitas yang lebih tinggi, yaitu sebesar 2,63 U/mL pada hari ke satu dibandingkan dengan gambut pada kadar air 225–275% (1,29 U/mL) dan kadar air 325–375% (0,89 U/mL). Semakin tinggi kadar air, aktivitas lakase cenderung menurun, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar air jumlah oksigen yang menjadi salah satu faktor penting dalam aktivitas lakase berkurang. Menurut Hofrichter (2002) lakase akan mereduksi O₂ menjadi H₂O dalam substrat fenolik melalui reaksi satu elektron.

Peningkatan kadar air menyebabkan reaksi enzim lakase menjadi lebih lambat sehingga menurunkan

aktivitasnya. Persentase kadar air yang semakin tinggi pada suatu substrat atau bahan yang didegradasi oleh enzim menjadi salah satu faktor yang dapat memengaruhi kinerja enzim secara tidak langsung. Kadar air pada substrat merupakan faktor penting sebagai sumber hidrogen, oksigen, juga berperan dalam translokasi hara (Moore & Ladecker 1996). Brzezina *et al.* (1998); German *et al.* (2011) menemukan rendahnya jumlah oksigen dalam tanah memengaruhi aktivitas mikroorganisme dan reaksi-reaksi biokimia salah satunya reaksi enzimatis.

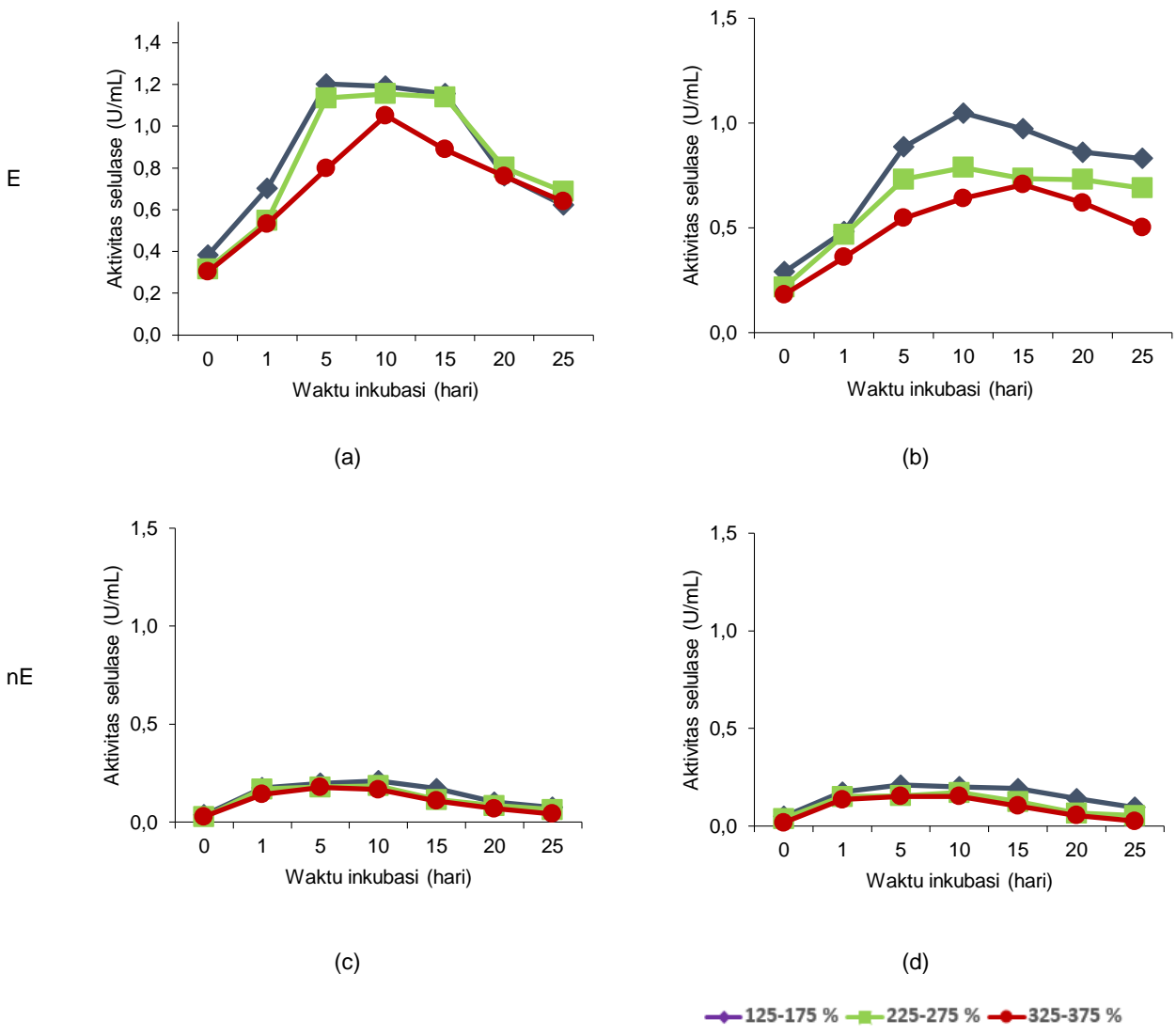
Pengaruh Kadar Air pada Aktivitas Selulase

Selulase merupakan enzim ekstraseluler yang berperan dalam memecah senyawa selulosa. Berdasarkan pengukuran aktivitas selulase pada tiga kondisi kadar air berbeda selama waktu inkubasi 25 hari didapatkan hasil seperti disajikan pada Gambar 2. Aktivitas selulase menunjukkan kecenderungan yang sama dengan aktivitas lakase, yaitu aktivitas tertinggi

selulase ditemukan pada waktu pengukuran hari ke-10. Akan tetapi, peningkatan kadar air dan waktu inkubasi menyebabkan terjadinya penurunan aktivitas.

Aktivitas selulase pada pemberian selulase lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pemberian enzim. Tingginya aktivitas selulase menandakan bekerjanya enzim yang ditambahkan pada substrat yang ada. Aktivitas enzim yang tinggi bergantung pada kesesuaian substratnya. Enzim akan bekerja maksimum jika digunakan sesuai karakteristiknya. Hal ini karena enzim dan substrat memiliki spesifitas yang tinggi. Substrat enzim yang sesuai akan menghasilkan aktivitas enzim yang maksimum bahkan optimal.

Aktivitas selulase menurun dengan meningkatnya kadar air. Hal ini diduga karena difusi oksigen dari atmosfer ke dalam bahan gambut terhambat sehingga reaksi oksidasi senyawa organik melambat, salah satunya adalah proses degradasi selulosa. Aktivitas selulase tertinggi terjadi pada gambut steril yang diberi selulase pada kadar air 125–175% dengan aktivitas



Keterangan: E = Pemberian enzim dan nE = Tanpa pemberian enzim.
 Gambar 2 Aktivitas Selulase pada tiga kadar air dalam a) Gambut steril dengan pemberian selulase, b) Gambut non-steril dengan pemberian selulase, c) Gambut steril tanpa pemberian selulase, dan d) Gambut non-steril tanpa pemberian selulase.

sebesar 1,19 U/mL pada hari ke-10 dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Pada semua perlakuan aktivitas selulase setelah hari ke-10 mengalami penurunan. Penurunan aktivitas enzim dapat disebabkan oleh kejenuhan bahan organik oleh air dan rusaknya atau terhambatnya beberapa enzim selulase untuk aktif. Menurut Yulipriyanto (2010) ada beberapa hal yang memengaruhi aktivitas enzim di dalam tanah. Pertama, sebagian enzim mungkin tidak aktif atau mengalami denaturasi karena adanya peningkatan konsentrasi garam yang menjadi penghambat atau perubahan kondisi lingkungan, seperti temperatur dan kadar air yang menjadi lebih tinggi. Kedua, adanya beberapa reaksi yang menghalangi aktivitas enzim terhadap substrat seperti adsorpsi enzim pada humus, adanya ikatan antar enzim, dan reaksi lainnya.

Aktivitas selulase berdasarkan waktu inkubasi pada tanah steril dan non-steril menunjukkan pola yang sama pada setiap perlakuan, dan terlihat bahwa aktivitas selulase tertinggi terjadi pada waktu inkubasi hari ke-10. Aktivitas selulase tertinggi yang terlihat pada inkubasi hari ke-10 diduga karena, di dalam sistem, selulase memerlukan hidrogen yang bertambah seiring dengan bertambahnya waktu inkubasi. Waktu inkubasi yang terlalu lama juga dapat menurunkan aktivitas selulase, yang diduga disebabkan oleh adanya penyerapan glukosa ke dalam bagian tanah dan selanjutnya digunakan oleh mikroba tanah yang sedang tumbuh sebagai sumber energi ketika inkubasi (Wahyuni *et al.* 2014).

Penurunan Kadar Lignoselulosa

Bahan gambut kaya akan komponen bahan organik yang terdiri atas lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Komponen-komponen tersebut dapat digunakan oleh mikroba dengan mengubahnya menjadi sumber nutrisi melalui proses enzimatik. Berdasarkan Tabel 1 dan 2 terlihat bahwa semakin tinggi persentase kadar air maka degradasi lignin dan selulosa akan menurun. Nilai penurunan degradasi lignoselulosa lebih besar pada perlakuan pemberian enzim, dibandingkan dengan tanpa pemberian enzim baik pada gambut

steril maupun non-steril. Hal ini menandakan bahwa enzim yang ditambahkan bekerja aktif pada substrat yang ada di bahan gambut.

Penurunan kadar lignin dan selulosa pada inkubasi dengan kadar air 125–175 % lebih besar dibandingkan dengan kadar air yang lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan aktivitas lakase dan selulase yang menggunakan lignin dan selulosa sebagai substratnya. Degradasi lignin secara enzimatik pada gambut steril dan non-steril yang diberi lakase cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pemberian lakase (Tabel 1). Hal ini sesuai dengan aktivitas lakase yang lebih tinggi pada gambut steril yang diberikan lakase dibandingkan dengan gambut non-steril.

Penurunan kadar selulosa (Tabel 2) sama seperti penurunan kadar lignin, yaitu semakin tinggi kadar air degradasi selulosa semakin menurun dan cenderung lebih tinggi pada perlakuan pemberian selulase. Hal ini diduga karena perlakuan awal berupa sterilisasi dengan uap panas dapat memisahkan bagian bahan, seperti selulosa dari ikatan lignin dan hemiselulosa sehingga membuat selulosa lebih mudah didegradasi oleh selulase (Balan *et al.* 2009; Hendriks & Zeeman 2009). Menurut Winarsih (2013) proses perusakan struktur pada ikatan ligniselulosa mampu mengakibatkan peningkatan kadar selulosa bebas yang ada pada suatu biomassa. Perlambatan laju dekomposisi atau degradasi suatu bahan sangat ditentukan oleh keadaan fisik yang terlalu keras, struktur rapat atau panjang, dan keadaan kering atau basah yang sangat memengaruhi proses degradasi secara enzimatik.

Berdasarkan aktivitas enzim dan penurunan kadar lignoselulosa pada penelitian ini dapat mendukung pemanfaatan gambut dengan harapan emisi karbon menjadi lebih rendah dan stabilitas bahan gambut yang lebih tinggi. Pemanfaatan gambut, terutama untuk sektor pertanian, diharapkan pada pengelolaan air yang tepat. Pada penelitian ini aktivitas enzim dapat dihambat pada kada air yang lebih tinggi, yaitu 225–275 dan 335–375%, begitu juga dengan penurunan kadar lignoselulosa.

Tabel 1 Rata-rata persentase penurunan kadar lignin pada tiga kadar air yang berbeda

Kadar air	Persen penurunan lignin			
	Steril		Non-steril	
	Dengan lakase	Tanpa lakase	Dengan lakase	Tanpa lakase
125–175%	2,99	2,49	2,82	2,35
225–275%	2,63	2,02	1,84	2,44
325–375%	1,72	2,22	1,54	1,63

Tabel 2 Rata-rata persentase penurunan kadar selulosa pada tiga kadar air yang berbeda

Kadar air	Persen penurunan selulosa			
	Steril		Non-steril	
	Dengan selulase	Tanpa selulase	Dengan selulase	Tanpa selulase
125–175%	7,12	7,38	6,15	2,91
225–275%	4,88	3,04	4,26	2,61
125–175%	4,17	2,30	2,52	1,66

KESIMPULAN

Pola aktivitas lakase dan selulase dipengaruhi oleh kadar air gambut. Aktivitas lakase dan selulase dapat dihambat pada kadar air gambut 225–275 dan 325–375%. Pemberian enzim dapat meningkatkan aktivitas lakase dan selulase. Penurunan kadar lingo-selulosa (lignin dan selulase) semakin kecil dengan semakin tinggi kadar air. Adanya informasi persentase kadar air pada gambut yang memengaruhi aktivitas enzim dalam proses degradasi dapat mendukung pengelolaan stabilitas gambut yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayeni AO, Adeeyo OA, Oresgun OM, Oladimeji TE. 2015. Compositional analysis of lignocellulosic materials: Evaluation of an economically viable method suitable for woody and non-woody biomass. *American Journal of Engineering Research*. 4(4): 14–19.
- Balan V, Bals B, Chundawat SPS, Marshall D, Dale BE. 2009. Lignocellulose biomass treatment using AFEX. *Method in Molecular Biology*. 581: 61–77. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-214-8_5
- Blonka E. 2010. Enzyme activity in forest peat soil. *Folia Forestali Poloniza*. 52(1): 20–25.
- Brzezińska M, Stepniewska Z, Stepniewski M. 1998. Soil oxygen status and dehydrogenase activity. *Soil Biology Biochemistry*. 30(13): 1783–1790. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00043-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00043-1)
- Chasanah E, Dini IR, Mubarik NR. 2013. Karakterisasi enzim selulase Pmp 0126y dari limbah pengolahan agar. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Perikanan*. 8(2): 103–114. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v8i2.41>
- Dong WY, Zhang XY, Liu XY, Fu XL, Chen FS, Wang HM, Sun XM, Wen XF. 2015. Responses of soil microbial communities and enzyme activities to nitrogen and phosphorus additions in Chinese fir plantations of subtropical China. *Biogeosciences*. 12: 5537–5546. <https://doi.org/10.5194/bg-12-5537-2015>
- Eichlerova IJ, Snajdr P, Baldrian. 2012. Laccase activity in soils. Considerations for the measurement of enzyme activity. *Elsivier Ltd. Chemosphere*. 88(10): 1154–1160. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.03.019>
- German DP, Weintraub MN, Grandy AS, Lauber CL, Rinkes ZL, Allison SD. 2011. Optimization of hydrolytic and oxidative enzyme methods for ecosystem studies. *Soil Biology Biochemistry*. 43: 1387–1397. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.03.017>
- Ghose TK. 1987. Measurement of cellulase activities. *Pure and Applied Chemistry*. 59: 257–268. <https://doi.org/10.1351/pac198759020257>
- Gianfreda L, Bollag JM. 1996. Influence of natural and anthropogenic factor on enzyme activity in soil. In G. Stotzky and J. M. Bollag (eds). *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker. 9: 123–176.
- Harianti M. 2017. Karakter enzim di rhizosfer kelapa sawit pada lahan gambut. [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Hendriks ATWM, Zeeman G. 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulose biomass. *Bioresource Technology*. 100: 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.027>
- Hofrichter M. 2002. Lignin Conversion by Manganese Peroxidase (MnP). *Enzyme Microbiology and Technology*. 30: 454–466. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(01\)00528-2](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(01)00528-2)
- Kunamneni A, Ballesteros A, Plou FJ, Alcalde M. 2007. Fungal laccase: a versatile enzyme for biotechnological applications. Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology. A. Méndez-Vilas (Ed.) *Formatex*. 233–245.
- Lyla PS, Ajmal KS. 2006. Marine microbial diversity and ecology: importance and future perspectives. *Current Science*. 90: 1325–1335.
- Malherbe S, Cloete TE. 2002. Lignocellulose biodegradation: fundamentals and applications. *Reviews Environmental Sciences Biotechnology*. 1: 105–114. <https://doi.org/10.1023/A:1020858910646>
- Moore E, Landecker. 1996. *Fundamentals of the fungi*. New Jersey (US): Prenite Hall Inc.
- Putri TTA, Lailan S, Anshari GZ. 2016. Emisi karbon dioksida (CO₂) rhizosfer dan non rhizosfer dari perkebunan kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) pada lahan gambut dangkal. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 40(1): 43–50.
- Roni KM. 2015. Pembuatan bioetanol dari tanah gambut dengan proses hidrolisis asam kuat. *Jurnal Berkala Teknik*. 5(1): 801–813.
- Saropah DA, Jannah A, Maunatin A. 2012. Kinetika reaksi enzimatik ekstrak kasar enzim selulase bakteri selulolitik hasil isolasi dari bekatul. *Alchemy*. 2(1): 34–35.
- Stoilova I, Krastanov A, Stanchev V. 2010. Properties of crude laccase from *Trametes versicolor* produced by solid-substrate fermentation. *Advances in*

- Biosciences and Biotechnology*. 1: 208–215. <https://doi.org/10.4236/abb.2010.13029>
- Wahyuni NKL, Wirajana IN, Suyasa IWB. 2014. Pengaruh toluena dan waktu inkubasi terhadap aktivitas selulase dari tanah hutan mangrove. *Cakra kimia: Indonesia E-Journal of Applied Chemistry*. 2(2): 14–19.
- Wiedermann MM, Kane ES, Potvin LR, Lilleskov EA. 2017. Interactive plant functional group and water table effects on decomposition and extracellular enzyme activity in *Sphagnum* peatlands. *Soil Biology & Biochemistry*. 108: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.01.008>
- Winarsih S. 2013. Pemanfaatan Jerami Padi untuk Produksi Bioetanol dengan Pretreatment Microwave Alkali dan Hidrolisis Menggunakan Enzim Kasar dari *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger*. Malang (ID): Universitas Brawijaya.
- Yuan X, Tian G, Zhao Y, Zhao L, Wang H, Ng TB. 2015. Biochemical characteristics of three laccase isoforms from the Basidiomycete *Pleurotus nebrodensis*. *Journal Molecules*. 21: 2–15.
- Yulipriyanto H. 2010. *Biologi Tanah dan Strategi Pengelolanya*. Yogyakarta (ID). Graha Ilmu.