

Optimasi produksi enzim selulase dari jamur *Penicillium* sp. SLL06 yang diisolasi dari serasah daun salak (*Salacca edulis*)

Optimization of cellulase enzyme production from fungi *Penicillium* sp. SLL06 isolated from salak leaf litter (*Salacca edulis*)

ANGGRAINI PUTRI UTAMI*, RATNA SETYANINGSIH, ARTINI PANGASTUTI, SITI LUSI ARUM SARI

Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret.

Jl. Ir Sutami 36A Surakarta 57 126, Jawa Tengah, Indonesia. Tel/Fax : +62-812-5103-3121, *email: anggrainiputriutami@gmail.com

Manuskrip diterima: 15 Oktober 2018. Revisi disetujui: 19 November 2018.

Abstrak. Utami AP, Setyaningsih R, Pangastuti A, Sari SLA. 2019. Optimasi produksi enzim selulase dari jamur *Penicillium* sp. SLL06 yang diisolasi dari serasah daun salak (*Salacca edulis*). *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 5: 145-149*. Selulase merupakan salah satu enzim yang penting dalam industri dan bioteknologi. Kebutuhan enzim selulase di bidang industri meningkat, sehingga peningkatan produksi diharapkan dapat memenuhi kebutuhan enzim selulase, dengan menentukan kondisi optimum produksi enzim selulase. Jamur selulolitik *Penicillium* sp. SLL06 adalah jamur yang diisolasi dari serasah daun salak (*Salacca edulis*) merupakan jamur berfilamen yang dapat menghasilkan enzim selulase. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu inkubasi, suhu dan pH yang optimum untuk produksi selulase dan mengetahui aktivitas spesifik enzim yang dihasilkan jamur selulolitik *Penicillium* sp. SLL06 pada kondisi yang optimum. Inokulum jamur *Penicillium* sp. SLL06 yang mengandung 1×10^6 spora/mL diinokulasikan ke media pertumbuhan. Waktu pertumbuhan optimum didapatkan dari kurva pertumbuhan dengan mengukur berat kering sel. Biakan jamur dari media pertumbuhan diinokulasikan ke media produksi dengan variasi suhu dan pH. Ekstrak kasar enzim diukur produksi enzimnya untuk mengetahui kondisi optimum. Aktivitas spesifik enzim diukur setelah didapatkan kondisi optimum produksi enzim selulase. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Penicillium* sp. SLL 06 memproduksi enzim selulase secara optimum pada waktu inkubasi 3 hari, suhu 30°C dan pH 5,5 dengan nilai produksi enzim 0,4406 U/mL dan biomassa sel kering 0,0369 gram. Nilai aktivitas spesifik enzim selulase 0,9995 U/mg.

Kata kunci: Jamur selulolitik, Optimasi produksi, *Penicillium* sp. SLL06

Abstract. Utami AP, Setyaningsih R, Pangastuti A, Sari SLA. 2019. Optimization of cellulase enzyme production from fungi *Penicillium* sp. SLL06 isolated from salak leaf litter (*Salacca edulis*). *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 5: 145-149*. Cellulose is one of the important enzymes in industry and biotechnology. The need for enzymes is increasing, so that increase in production is needed. To fulfill the need for enzyme needs to increase enzymes production. One of the effort to increase production is to optimize production conditions. Cellulolytic fungi *Penicillium* sp. SLL06 has been isolated from salak leaf litter (*Salacca edulis*). This study aims to determine the optimum of incubation time, temperature, and pH for cellulase production and find out the specific conditions of cellulase enzyme by fungi *Penicillium* sp. SLL06 at optimum conditions. Inoculum of *Penicillium* sp. SLL06 contained 1×10^6 spores/mL was inoculated into growth media. The optimum growth time is obtained from the growth curve by measuring the dry weight of the cell. Fungal culture from growth media was inoculated into production media with variations in temperature and pH. The crude extract was measured for enzyme production to determine the optimum conditions. The enzyme specific activity was measured after the optimum conditions of cellulase enzyme production were obtained. The results of this study indicated that *Penicillium* sp. SLL 06 produced cellulase enzymes optimally at 3 days incubation time, 30°C temperature and pH 5.5 with 0,4406 U/mL enzyme production value and 0.0369 gram dry cell biomass. The value of cellulase enzyme specific activity is 0.9995 U/mg.

Keywords: Cellulolytic fungi, production optimization, *Penicillium* sp. SLL 06

PENDAHULUAN

Industri enzim telah berkembang pesat dan menempati posisi penting di dalam bidang industri. Kesadaran masyarakat terhadap permasalahan lingkungan yang semakin tinggi, serta adanya tekanan dari para ahli dan pecinta lingkungan menjadikan teknologi enzim sebagai salah satu alternatif untuk menggantikan berbagai proses

kimiawi dalam bidang industri (Akhdia 2003; Falch 1991).

Selulase merupakan kompleks enzim yang berperan dalam proses hidrolisis selulosa terdiri dari :endoglukanase, ekso-glukanase, dan selobiase (Roza et al. 2013). Selulase merupakan salah satu enzim hidrolitik yang penting bagi industri dan sangat penting dalam perkembangan bioteknologi (Gilna and Khaleel 2011). Selulase banyak digunakan dalam bidang industri antara lain, dalam

deterjen yang bermanfaat sebagai pemutih, dan sebagai bahan anti-redeposisi pada kain katun. Selulase digunakan pada pembuatan denim, pelembutan kain katun, serta industri pulp dan kertas. Selulase bermanfaat untuk penghilangan tinta, pemutihan pulp, dan meningkatkan proses drainase (pengurasan) pada kertas (Krik et al. 2002).

Penggunaan enzim selulase ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan selulase sekitar 7 persen setiap tahunnya, seiring dengan kemajuan industri yang pesat. Menurut Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, industri di Indonesia masih sebagaimana telah diketahui bergantung pada enzim yang diproduksi dan diimpor 99 persen dari luar negeri. Untuk memenuhi kebutuhan enzim selulase, diperlukan produksi selulase dari mikroorganisme yang mempunyai aktivitas selulolitik tinggi. Produksi enzim selulase diharapkan dapat memenuhi kebutuhan enzim di dalam industri.

Hidrolisis selulosa oleh selulase terjadi secara sinergis, melibatkan kerja ketiga jenis enzim. Endo- β -1,4-glukanase mempengaruhi secara serentak ikatan β -1,4 di dalam makromolekul menghasilkan potongan-potongan besar berbentuk rantai dengan ujung bebas. Ekso- β -1,4-glukanase memotong mulai dari ujung-ujung rantai menjadi disakarida selobiosa. Glukosidase memotong molekul selobiosa menjadi dua molekul glukosa (Surmalin 2013).

Selulase dapat dihasilkan oleh tumbuhan, khamir, bakteri dan jamur selulolitik (Gupta et al. 2012). Jamur mempunyai kemampuan menguraikan selulosa yang terdapat dalam jaringan tumbuhan yang telah mati, menjadi senyawa yang lebih sederhana dikarenakan kemampuannya menghasilkan enzim lignoselulolitik (Kadarmoidheen et al. 2012). Pada penelitian ini digunakan jamur selulolitik *Penicillium sp. SLL 06*, jamur ini merupakan jamur selulolitik yang diisolasi dari serasah daun salak (*Salacca edulis*). Jamur selulolitik *Penicillium sp.* merupakan jamur berfilamen yang menghasilkan enzim selulase.

Produksi selulase oleh jamur selulolitik dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan. Waktu inkubasi, suhu, dan pH merupakan faktor lingkungan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap produksi enzim selulase. Faktor lingkungan tersebut harus diperhatikan agar pertumbuhan jamur selulolitik mendapatkan hasil yang optimum.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan suhu, pH, dan waktu inkubasi yang optimum untuk produksi selulase dari jamur selulolitik *Penicillium sp. SLL06* diisolasi dari serasah daun salak dan Mengetahui aktivitas spesifik selulase yang dihasilkan dari jamur selulolitik *Penicillium sp. SLL06* hasil isolasi dari serasah daun salak pada kondisi yang optimum.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Stok isolat jamur *Penicillium sp. SLL06*, Media *Mandels mineral solution urea* (0,3 g/L; (NH₄)₂SO₄ 1,4 g/L; KH₂PO₄ 2 g/L; CaCl₂.2H₂O 0,4 g/L; MgSO₄.7H₂O 0,3 g/L; pepton 0,75 g/L; FeSO₄.7H₂O 5 mg/L;

MnSO₄.7H₂O 1,6 g/L; dan CMC (Carboxymethyl cellulose) 20 g/L) (Chand et al. 2005), akuades, media PDA (*Potato dextrose agar*), reagen DNS (asam dinitro salisilat), glukosa, reagen Bradford, BSA (*bovine serum albumin*), dan kertas saring Whatmann.

Metode

Pemeliharaan jamur dan pembuatan inokulum jamur

Stok murni isolat jamur *Penicillium sp. SLL06* didapatkan dari Laboraturium Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret. Pembuatan inokulum dibuat dengan menambahkan 5 mL aquades steril ke dalam media agar miring yang berisi spora jamur yang telah di inkubasi selama 4 hari. Jumlah spora dihitung dengan *haemocytometer* untuk mendapatkan suspensi spora 1 x 10⁶ spora/mL (Yusriah dan Kuswytasari 2013).

Pengamatan pertumbuhan jamur dan waktu inkubasi optimum

Kurva pertumbuhandiamati berdasarkanbiomassa sel kering dan produksi enzim yang dihasilkan. Penghitungan biomassa sel kering dan aktivitas enzim selulase dilakukan dengan menginokulasikan 1 mL inokulum spora ke dalam 50 mL media produksi dan diinkubasi menggunakan *incubator shaker* dengan agitasi 120 rpm pada suhu 30°C. Pengambilan sampel dilakukan setiap 24 jam sekali selama 168 jam (7 hari). Biomassa dan supernatan dipisahkan dengan menggunakan kertasWhatmann. Berat kering ditimbang dan supernatan diukur aktivitas enzimnya.

Penentuan suhu dan pH optimum produksi enzim

Media produksi (*Mandels mineral solution*) sebanyak 50 mL ditambahdengan 1 mL inokulum jamur dan dinkubasi di dalam inkubator *shaker* dengan variasi suhu 25°C, 30 °C, 35°C, 40 °C dan 45°C dan untuk variasi pH 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; dan 7,0 dengan agitasi 120 rpm.

Pengukuran aktivitas enzim

Pengukuran pelepasan gula pereduksi dilakukan dengan campuran sampel yang mengandung 0,5 mL ekstrak kasar enzim dan 1 mL larutan CMC (sigma) 2% (b/v) pada buffer natrium sitrat 50 pH 4,8 dan ditambahkan reagen DNS. Inkubasi dilakukan pada suhu 100 °C selama 10 menit. Sampel diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada $\lambda = 540$ nm. Berikut ini perhitungan untuk aktivitas enzim selulase (Hasanah dan Iwan 2015) :

$$E = \frac{C}{BM \text{ glukosa} \times t} \times \frac{H}{E}$$

Keterangan:

AE : Aktivitas enzim (Unit/mL)

C : Konsentrasi glukosa

t : Waktu inkubasi

BM : Berat molekul glukosa (180g/mol)

H : Volume total enzim substrat (mL)

E : Volume enzim (mL)

Pembuatan kurva standar glukosa (modifikasi Hasanah dan Iwan 2015)

Konsentrasi gula dalam kurva standar diukur dengan metode DNS. Sebanyak 1 mL larutan standar glukosa dimasukkan ke 7 tabung reaksi (20, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 dan 225 ppm) dan dibuat 1 tabung reaksi dengan 1 mL aquadest sebagai kontrol. Selanjutnya sebanyak 1 mL reagen DNS ditambahkan pada larutan standar glukosa tersebut. Larutan standar dipanaskan di waterbath selama 5 menit. Absorbansi tiap larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada $\lambda = 540$ nm. Kurva standar dibuat untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi larutan dengan nilai absorbansi.

Penentuan kadar protein (modifikasi Hasanah dan Iwan 2015)

Kadar protein pada enzim selulase ditentukan berdasarkan metode Bradford (1976). Larutan standar protein dibuat dengan menimbang 0,01 g BSA (bovine serum albumin) yang kemudian dilarutkan dengan H₂O steril untuk mendapatkan 10 mL larutan stok BSA dengan konsentrasi 1000 ppm. Larutan stok dengan konsentrasi 1000 ppm diencerkan dengan melarutkan 0,5 mL larutan stok ditambahkan 4,5 mL H₂O steril sehingga diperoleh larutan stok BSA 100 ppm. Dari larutan stok tersebut dilakukan pengukuran terhadap standar protein terlarut dengan konsentrasi 0,2; 0,4, 0,6, 0,8 dan 1 (mg/mL). Pengukuran terhadap standar protein dengan menambahkan 0,1 mL seri larutan standar dengan 5 mL reagen Bradford. Larutan divortex dan diinkubasi pada suhu ruang selama 10-60 menit. Absorbansinya diukur pada panjang gelombang, $\lambda = 595$ nm

Pengukuran protein terlarut dilakukan dengan cara menambahkan 5 mL pereaksi Bradford dengan 0,2 mL filtrat enzim dan divortex. Absorbansinya diukur pada panjang gelombang, $\lambda = 595$ nm. Kadar protein ditentukan dari kurva standar larutan bovine serum albumin (BSA) (Purwadaria et al. 2003).

Pengukuran aktivitas spesifik enzim

Setelah mengetahui kadar protein terlarut maka dapat diketahui aktivitas enzim spesifiknya. Aktivitas spesifik enzim ditentukan berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

Aktivitas spesifik enzim $\left(\frac{U}{mg}\right) = \text{aktivitas enzim/kadar protein terlarut}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan jamur dan waktu inkubasi optimum produksi enzim

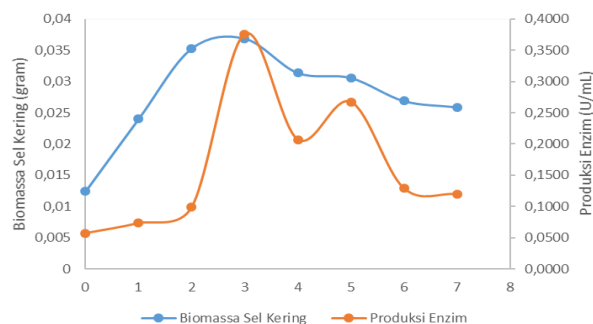
Pertumbuhan jamur dan waktu inkubasi optimum bagi jamur *Penicillium* sp. SLL 06 adalah selama 3 hari, dengan biomassa sel kering sebesar 0,0369 gram dan nilai produksi enzim sebesar 0,3763 U/mL. Kurva pertumbuhan pada penelitian ini dibuat untuk mengetahui fase enzim selulase dapat dipanen dari jamur *Penicillium* sp. SLL 06.

Pada hari ke-0 sampai ke-2 jamur *Penicillium* sp. SLL 06 berada pada fase eksponensial. Biomassa sel kering

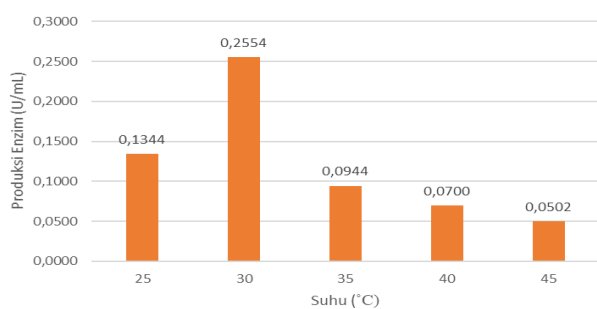
jamur *Penicillium* sp. SLL 06 pada hari ke-0 hingga ke-2 meningkat, fase ini merupakan fase pada saat sel bertambah dengan sangat banyak, aktivitas sel sangat meningkat, merupakan fase yang penting dalam kehidupan jamur. Fase berikutnya adalah fase stationer, merupakan fase jumlah sel yang tumbuh seimbang dengan jumlah sel yang mati dikarenakan nutrisi pada media sudah berkurang. Kurva pada fase ini merupakan garis lurus yang horizontal. Pada fase ini banyak senyawa metabolit sekunder yang dapat dipanen. Pada *Penicillium* sp. SLL 06 fase stationer terlihat pada hari ke-2 sampai hari ke-3. Fase terakhir yaitu fase kematian. Pada fase ini jumlah sel yang mati lebih banyak dibandingkan dengan jumlah sel yang hidup. Dapat dilihat pada Gambar 3 fase kematian terjadi mulai hari ke-4 ditunjukkan dengan menurunnya plot pada kurva antara biomassa sel kering jamur dan produksi enzim pada jamur. Gambar 1 menunjukkan produksi maksimum enzim selulase oleh jamur *Penicillium* sp. SLL 06 ada pada saat fase stationer. Pada penelitian ini laju produksi enzim oleh *Penicillium* sp. SLL 06 sejalan dengan laju pertumbuhan sel jamur. Berdasarkan kurva pertumbuhan, jamur *Penicillium* sp. SLL 06 mempunyai waktu inkubasi yang optimum pada hari ke-3, di fase akhir dari stationer, dimana pada fase ini biomassa sel kering dan produksi enzim yang dihasilkan mencapai jumlah yang maksimum. Hasil penelitian ini sesuai dengan Reddy et al. (2014) yaitu waktu inkubasi optimum enzim selulase dari jamur tanah adalah 72 jam atau 3 hari. Adanya pertumbuhan dilihat dari kekeruhan pada media. CMC merupakan substrat terbaik untuk memproduksi selulase. CMC pada media produksi berfungsi sebagai satu-satunya sumber karbon untuk menghasilkan enzim selulase (Apriani., et al 2014).

Suhu optimum produksi enzim

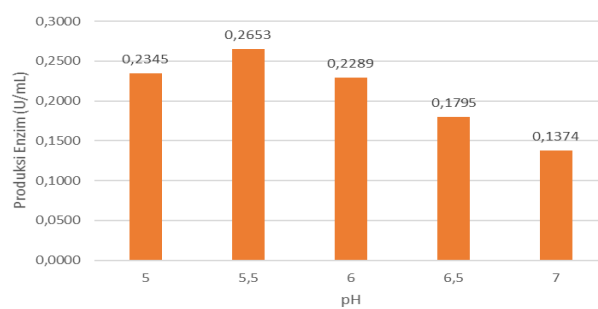
Pada penelitian ini biakan diinkubasi pada suhu yang berbeda, yaitu 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C selama 3 hari. Pada perlakuan suhu 30°C, produksi enzim selulase mencapai nilai tertinggi yaitu sebesar 0,2554 U/mL sedangkan pada perlakuan suhu 35°C, 40°C dan 45°C nilai produksi enzim selulase lebih rendah dari suhu 30°C sehingga pada suhu 35°C, 40°C dan 45°C tidak optimum untuk produksi enzim. Berdasarkan nilai produksi enzim selulase yang ada, suhu optimum untuk memproduksi enzim selulase adalah 30°C. Pada suhu ini produksi enzim selulase oleh jamur *Penicillium* sp. SLL 06 mencapai nilai paling tinggi atau maksimum.



Gambar 1. Pertumbuhan dan produksi enzim selulase oleh jamur *Penicillium* sp. SLL 06 selama 7 hari



Gambar 2. Pengaruh suhu terhadap produksi enzim jamur *Penicillium sp. SLL06*



Gambar 3. Pengaruh pH terhadap produk enzim selulase jamur *Penicillium sp. SLL 06*

Suhu optimum merupakan suhu yang paling tepat untuk reaksi yang menggunakan enzim (Poedjiadi dan Supriyanti 1992; Putri 2016). Jika nilai optimum telah dilewati maka laju pertumbuhan akan turun secara drastis (Hoog 2005; Paska 2012). Berdasarkan Gambar 2, pada suhu 35°C nilai produksi enzim selulase mengalami penurunan. Hasil ini sesuai dengan penelitian Ramanjaneyulu et al. (2016) yaitu dari tiga perlakuan variasi suhu 25°C, 30°C dan 37°C suhu yang optimum untuk memproduksi enzim selulase oleh jamur *Penicillium sp.* ada pada suhu 30°C. Pada penelitian Ire et al. (2018) yaitu produksi dan optimasi selulase dari *Penicillium sp.* menggunakan jagung dan pawpaw sebagai substrat, dari perlakuan suhu 25°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, dan 80°C bahwa suhu optimum untuk memproduksi selulase dari jamur *Penicillium sp.* ada pada suhu 30°C.

Suhu mempunyai pengaruh terhadap reaksi enzimatik. Perubahan suhu yang umum akan meningkatkan produksi enzim tetapi kenaikan suhu yang tinggi menyebabkan pengurangan produksi enzim (Sethi dan Gupta 2014) dikarenakan terjadinya denaturasi enzim yaitu berubahnya struktur protein enzim dan mengakibatkan penurunan kecepatan reaksi yang dikatalis oleh enzim tersebut (Saropah et al. 2012).

pH optimum produksi enzim

Penentuan pH optimum pada penelitian ini dilakukan dengan variasi pH 5, 5,5, 6, 6,5 dan 7. Pada variasi pH dapat dilihat bahwa pada pH 5,5 nilai produksi enzim selulase aktivitas enzimnya maksimum yaitu sebesar 0,2653 U/mL, pH 5,5 merupakan pH yang optimum untuk memproduksi enzim selulase pada jamur *Penicillium sp. SLL 06*. Pada variasi pH lainnya nilai produksi enzim selulase rendah sehingga tidak memproduksi enzim secara maksimum.

Hasil ini sesuai dengan penelitian Ramanjaneyulu et al. (2016) yaitu kisaran pH optimum untuk memproduksi enzim selulase dari *Penicillium sp.* ada pada pH 5-6 yang merupakan cenderung pH asam. Menurut Harshvardhan et al. (2013), produksi enzim selulase aktif pada kisaran pH 3-9. Menurut Rastogi et al. (2010) enzim yang mampu

bertahan pada kondisi asam digolongkan ke dalam enzim asidofil.

Setiap mikroorganisme mempunyai pH optimum yang berbeda-beda (Ramanjaneyulu et al. 2016). Sedikit perubahan pH dapat menyebabkan denaturasi penyusun enzim itu sendiri (Murray et al. 2003; Putri 2016). Pengaturan pH sangat penting agar mikroorganisme yang ditumbuhkan dapat menghasilkan produk yang optimal (Gandjar 2006; Idiawati et al. 2014).

Aktivitas spesifik enzim

Setelah mengetahui kondisi optimum produksi enzim selulase dari jamur *Penicillium sp. SLL 06*, dilakukan penentuan kadar protein menggunakan kurva standar protein. Kadar protein terlarut pada enzim selulase dari jamur *Penicillium sp. SLL 06* adalah sebesar 0,4408 mg/mL. Setelah mengetahui kadar protein terlarut, maka dapat dihitung nilai aktivitas spesifik enzim. Nilai aktivitas spesifik enzim didapatkan dengan cara perhitungan yaitu membagi aktivitas enzim selulase dengan kadar protein terlarut. Aktivitas enzim selulase pada penelitian ini adalah 0,4006 U/mL maka aktivitas spesifik enzim selulase pada penelitian ini adalah 0,9995 U/mg.

Nilai aktivitas spesifik enzim pada penelitian ini mendekati pada penelitian sebelumnya yaitu, Hasanah dan Iwan (2015) melakukan pengujian aktivitas selulase isolat jamur dari limbah media tanam jamur merang. Pada tiga isolat jamur, nilai aktivitas spesifik enzim sebesar 1,4462 U/mg, 1,8352 U/mg dan 2,7812 U/mg.

Aktivitas spesifik enzim merupakan besarnya aktivitas enzim per jumlah protein yang terkandung dalam campuran enzim yang diuji. aktivitas spesifik enzim yang diukur pada penelitian ini merupakan jumlah produksi enzim selulase yang ada pada jamur *Penicillium sp. SLL 06* dibandingkan dengan jumlah kadar protein, semakin tinggi nilai produksi enzimnya maka aktivitas spesifik semakin tinggi. Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa enzim selulase yang diproduksi oleh jamur *Penicillium sp. SLL 06* dapat bekerja pada pH asam. Enzim selulase asam dari jamur *Penicillium sp. SLL 06* pada penelitian ini dapat diaplikasikan dalam skala besar seperti pada bidang industri tekstil, industri kertas, perawatan kapas, industri

minuman keras dan campuran untuk kain agar permukaannya halus (Chander et al. 2011). Sebelum diaplikasikan enzim selulase pada penelitian ini membutuhkan banyak tahap agar dapat dikembangkan ke dalam skala industri, salah satunya yaitu pemurnian.

Produksi enzim selulase jamur *Penicillium* sp. SLL 06 optimum pada waktu inkubasi 3 hari, pH 5,5 dan suhu 30°C dengan nilai aktivitas enzim sebesar 0,4006 U/mL dan nilai aktivitas spesifik enzim selulase yang dihasilkan oleh jamur *Penicillium* sp. SLL 06 sebesar 0,9995 U/mg.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Program Biologi FMIPA UNS Surakarta yang telah mendanai keberlangsungan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhdiya A. 2003. Isolasi bakteri penghasil enzim protease alkalin termotabil. Buletin Plasma Nutrafah 9 (2): 38-44.
- Apriani KY, Haryani, Kartika G. 2014. Produksi dan uji aktivitas selulase dari isolat bakteri selulolitik sungai Indragari. JOM FMIPA 1 (2): 261-267
- Chander R, Gupta KR, Singh A. 2011. Microbial cellulase and their industrial application. Review article. Enzyme Res 1-11.
- Gandjar IR, Sjamsuridzal W, Oetari A. 2006. Mikologi Dasar dan Terapan. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- Gilna VV, Khaleel KM. 2011. Cellulase enzyme activity of *Aspergillus fumigatus* from mangrove soil on lignocellulosic substrates. Recent Res Sci Technol 3 (1): 132-134
- Gupta P, Samant K, Sahu A. 2012. Isolation of cellulose degrading bacteria and determination of their cellulolytic potential. Intl J Microbiol 578925.
- Harshvardhan K, Mishra A, Jha B. 2013. Purification and characterization of cellulase from a marine *Bacillus* sp. H1666: A potential agent for single step saccharification of seaweed biomass. J Mol Catal B Enzym 93:51-56.
- Hasanah N, Iwan S. 2015. Aktivitas selulase isolat jamur dari limbah media tanam jamur merang. Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 1 (5): 1110-1115.
- Hogg S. 2005. Essensial Microbiology. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK
- Idiawati N, Harfinda EM, Arianie L. 2014. Produksi enzim selulase oleh *Aspergillus niger* pada ampas sagu. Jurnal Natur Indonesia 16 (1): 1-9.
- Ire FS, Agustine OO, Victor E. 2018. Production and optimization of cellulase from *Penicillium* sp. using corn-cab and pawpaw fibre substrates. JAM 8 (2) : 1-10.
- Krik O, Borchert TV, Fuglsang CC. 2002. Industrial enzyme applications. Protein Technol Commerc Enzymes 13: 345-351.
- Kadarmoidheen M, Saranraj P, Stella D. 2012. Effect of cellulolytic fungi on the degradation of cellulosic agricultural wastes. Intl J Appl Microbiol Sci 1 (2):13-23.
- Murray RK, Granner DK, Mayes PA, Rodwell VW. 2003. Harper's Illustrated Biochemistry. Ed ke-26. McGraw-Hill, San Fransisco.
- Poedjiadi A, Supriyanti FM. 1992. Dasar-Dasar Biokimia. UI Press, Jakarta.
- Purwadaria T, Marbun PA, Sinurat AP, Ketaren PP. 2003. Perbandingan aktivitas enzim selulase dari bakteri dan kapang hasil isolasi dari rayap. JITV 8 (4).
- Putri S. 2016. Karakterisasi enzim selulase yang dihasilkan oleh *Lactobacillus plantarum* pada variasi suhu, pH dan konsentrasi substrat. [Skripsi]. Universitas Negeri Malana Malik Ibrahim, Malang.
- Rastogi G, Aditya B, Adhikari A, Kenneth MB, Stephen RH, Lew PC, Rajesh KS. 2010. Characterization of thermostable cellulases produced by *Bacillus* and *Geobacillus* strains. Bioresour Technol 101 : 8798-8806.
- Ramanjaneyulu G, Prasanna HN, Reddy BR. 2016. Optimization of cellulose by *Penicillium* sp. 3 Biotech 6: 162.
- Reddy PLN, Babu BB, Radhaiah A, Sreeramulu A. 2014. Screening, identification and isolation of cellulolytic fungi from soils of Chittoor District, India. Intl J Curr Microbiol Appl Sci 3 (7): 761-771.
- Roza RM, Martina A, Fibriati BL, Zul D, Ramadhan N. 2013. Isolasi dan Seleksi Jamur Selulolitik dari Tanah Gambut di Perkebunan Karet Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar Riau. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung 263-266.
- Saropah AA, Jannah, Maunatin A. 2012. Kinetika reaksi enzimatik ekstrak kasar enzim bakteri selulolitik hasil isolasi dari bekatul. Alchemy 2 (1): 34-45.
- Sethi S, Gupta S. 2014. Optimization cultural parameters for cellulase enzyme production from fungi. J Biol Life Sci 2 (3): 989-996.
- Sumarlin, LO, Mulyadi D, Suryatna, Asmara Y. 2013. Identifikasi potensi enzim lipase dan selulase pada sampah kulit buah hasil fermentasi. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia 18 (3): 1159-1166.
- Yusriah, Kuswytasari ND. 2013. Pengaruh pH dan suhu terhadap aktivitas protease *Penicillium* sp. Jurnal Sains dan Seni Pomits 2 (1): 2337-3520.