

**OPTIMASI PRODUKSI ENZIM SELULASE EKSTRAK KASAR OLEH
KONSORSIUM BAKTERI SELULOLITIK R3-1, R4-3, DAN R7-3 DARI SALURAN
PENCERNAAN RAYAP *Cryptotermes* sp. MENGGUNAKAN MEDIA SERBUK
JERAMI PADI (*Oryza sativa* Linn)**

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Biologi



oleh
Anggi Istiqomah
NIM. 1507488

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
DEPARTEMEN PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2019**

**OPTIMASI PRODUKSI ENZIM SELULASE EKSTRAK KASAR OLEH
KONSORSIUM BAKTERI SELULOLITIK R3-1, R4-3, DAN R7-3 DARI
SALURAN PENCERNAAN RAYAP *Cryptotermes* sp. MENGGUNAKAN
MEDIA SERBUK JERAMI PADI (*Oryza sativa* Linn)**

Oleh
Anggi Istiqomah

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Anggi Istiqomah 2019
Universitas Pendidikan Indonesia
Agustus 2019

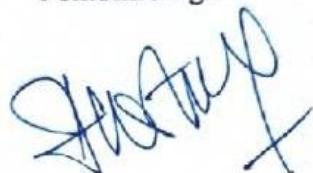
Hak Cipta dilindungi Undang-undang
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya ataupun sebagian,
dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis

ANGGI ISTIQOMAH

OPTIMASI PRODUKSI ENZIM SELULASE EKSTRAK KASAR OLEH
KONSORSIUM BAKTERI SELULOLITIK R3-1, R4-3, DAN R7-3 DARI
SALURAN PENCERNAAN RAYAP *Cryptotermes* sp. MENGGUNAKAN
MEDIA SERBUK JERAMI PADI (*Oryza sativa* Linn)

disetujui dan disahkan oleh:

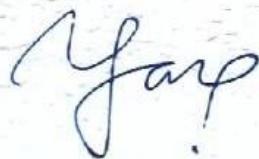
Pembimbing I



Dr. Hj. Peristiwati, M.Kes.

NIP. 196403201991032001

Pembimbing II

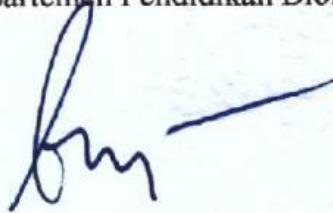


Dr. Yayan Sanjaya, M.Si.

NIP. 197112312001121001

Mengetahui,

Ketua Departemen Pendidikan Biologi



Dr. Bambang Supriatno, M.Si.

NIP. 19630521198831002

**Optimasi Produksi Enzim Selulase Ekstrak Kasar oleh Konsorsium Bakteri
Selulolitik R3-1, R4-3, dan R7-3 dari Saluran Pencernaan Rayap *Cryptotermes* sp.
Menggunakan Media Serbuk Jerami Padi (*Oryza Sativa* Linn)**

ABSTRAK

Enzim selulase merupakan enzim komersial dengan permintaan paling banyak ketiga di pasar dunia dengan tingkat penggunaan diprediksi mencapai 2300 juta USD pada akhir tahun 2025. Enzim selulase berperan penting sebagai biokatalis dalam berbagai proses industri, seperti industri tekstil, kertas, makanan, medis, detergen, dan lainnya. Produksi enzim selulase dapat dilakukan dengan pemanfaatan limbah selulosa, salah satunya jerami padi. Pemanfaatan limbah jerami padi belum banyak dilakukan, sehingga pembakaran jerami di lahan terbuka telah menjadi praktik umum yang dilakukan masyarakat dan mengarah pada polusi udara. Substrat selulosa dapat dihidrolisis oleh mikroorganisme selulolitik, salah satunya bakteri yang berasal dari pencernaan rayap. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pH dan suhu yang optimal untuk produksi selulase bakteri yang diisolasi dari saluran pencernaan rayap *Cryptotermes* sp. Seleksi bakteri selulolitik dilakukan pada media *Carboxymethylcellulose* (CMC) dengan indikator adanya zona bening yang dihasilkan di sekitar koloni bakteri selulolitik. *Pretreatment* secara mekanik dan kimiawi dilakukan terlebih dahulu pada substrat jerami padi. Media SmF digunakan sebagai media produksi enzim selulase. Penentuan suhu dan pH optimal yaitu dengan variasi suhu 36,5 dan 37,5°C, sedangkan variasi pH medium 7 dan 8. Aktivitas enzim selulase diukur dengan penghitungan gula pereduksi menggunakan reagen *dinitrosalicylic acid* (DNS). Dari hasil penelitian diketahui bahwa konsorsium bakteri selulolitik R3-1, R4-3, dan R7-3 berturut-turut merupakan bakteri *Achromobacter* sp., *Achromobacter xylooxidans*, dan *Pseudomonas stutzeri*. Konsorsium bakteri ini dapat menghasilkan enzim selulase tertinggi sebesar 8,93 u/mL pada waktu inkubasi 24 jam dengan pH medium 7 dan suhu inkubasi 36,5°C.

Kata Kunci: optimasi, enzim selulase, jerami padi, konsorsium bakteri selulolitik, media SmF, rayap *Cryptotermes* sp.

**Optimization of Crude Extract Cellulase Enzyme Production by Consortium
Bacteria R3-1, R4-3, and R7-3 From Termite Gastrointestinal (*Cryptotermes* sp.)
Using Rice Straw Substrate (*Oryza sativa*, Linn)**

ABSTRACT

Cellulase enzymes are commercial enzymes with the third most demand in the world market with usage levels predicted to reach 2300 million USD at the end of 2025. Cellulase enzymes play an important role as biocatalyst in various industrial processes, such as the textile, paper, food, medical, detergent, etc. Cellulase enzyme production can be done by utilizing cellulose waste, such as rice straw. Utilization of rice straw waste has not been done much, so straw burning in open land has become a common practice carried for the community and leads to air pollution. Cellulose substrate can be hydrolyzed by cellulolytic microorganisms, such as bacteria from termite digestion. This study aims to determine the optimal pH and temperature for the production of bacterial cellulases isolated from the digestive tract of *Cryptotermes* sp. Termites. Cellulolytic bacterial selection was performed on Carboxymethylcellulose (CMC) media with an indicator of the presence of clear zones generated around cellulolytic bacterial colonies. Pre-treatment was mechanically and chemically done first on the rice straw substrate. SmF media is used as a medium for the production of cellulase enzymes. Determination of optimal temperature and pH is with a temperature variation of 36.5 and 37.5°C, while the pH variations of medium 7 and 8. Cellulase enzyme activity is measured by the calculation of reducing sugars using dinitrosalicylic acid (DNS) reagents. From the research results it is known that the consortium of cellulolytic bacteria R3-1, R4-3, and R7-3 are *Achromobacter* sp., *Achromobacter xylooxidans*, and *Pseudomonas stutzeri*, respectively. This bacterial consortium can produce the highest cellulase enzyme of 8.93 U/mL at 24-hour incubation times with a pH of medium 7 and an incubation temperature of 36.5°C.

Keywords: optimization, cellulase enzyme, rice straw, cellulolytic bacterial consortium, SmF media, termites *Cryptotermes* sp.

DAFTAR ISI

UCAPAN TERIMA KASIH	i
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Pertanyaan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	6
1.7 Struktur Organisasi Skripsi	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	9
2.1 Enzim Selulase	9
2.1.1 Aktivitas Enzim Selulase	11
2.1.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Aktivits Enzim	12
2.2 Limbah Jerami Padi	13
2.3 Lignoselulosa	15
2.4 Selulosa	16
2.5 <i>Pre-treatment</i> Limbah Jerami Padi	18
2.6 Rayap <i>Cryptotermes sp.</i>	20
2.7 Bakteri Selulolitik	23
2.8 Media <i>Submerged Fermentation</i> (SmF)	24
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Jenis Penelitian	25
3.2 Desain Penelitian	25

3.3	Populasi dan Sampel	26
3.4	Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.5	Alat dan Bahan	26
3.6	Prosedur Penelitian	27
3.6.1	Tahap Persiapan	27
a.	Pembuatan Media	27
b.	Pengambilan Sampel	28
3.6.2	Tahap Studi Pendahuluan	29
a.	Isolasi Bakteri	29
b.	Pembangkitan Isolat Bakteri	29
c.	Seleksi Bakteri Selulolitik pada Media CMC	30
d.	Identifikasi Bakteri Selulolitik	31
1)	Pengamatan Morfologi Koloni	31
2)	Pewarnaan Bakteri	31
3)	Uji Biokimia	32
e.	Pembuatan Kurva Tumbuh Bakteri	33
3.6.3	Tahap Penelitian	33
a.	<i>Pre-treatment</i> Jerami Padi dan Delignifikasi	33
b.	Pembuatan Kurva Standar Glukosa	33
c.	Produksi Enzim Selulase dengan Media SmF	34
3.6.4	Tahap Pengukuran Parameter	35
a.	Pengukuran Biomassa Sel Bakteri	35
b.	Pengukuran Aktivitas Enzim	35
3.7	Analisis Data	37
3.8	Alur Penelitian	38
BAB IV	TEMUAN DAN PEMBAHASAN	39
4.1	Studi Pendahuluan	39
4.1.1	Isolat Bakteri dari Pencernaan Rayap <i>Cryptotermes</i> sp	39
4.1.2	Seleksi Bakteri Selulolitik pada Medium CMC	41
4.1.3	Identifikasi Bakteri Selulolitik	43
4.1.4	Kurva Pertumbuhan Bakteri Selulolitik	46
4.2	Produksi Enzim Selulase Menggunakan Media <i>Submerged</i>	

<i>Fermentation</i> (SmF)	50
4.2.1 Pertumbuhan Biomassa Sel Mikroba Fermenter	51
4.2.2 Kadar Gula Pereduksi dan Aktivitas Enzim Selulase dengan Metode DNS	53
4.3 Penentuan Suhu dan pH Optimum Produksi Enzim Selulase	55
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI	59
5.1 Simpulan	59
5.2 Implikasi	59
5.3 Rekomendasi	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	70
RIWAYAT HIDUP	118

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hasil Pengamatan Indeks Selulolitik Isolat Bakteri R3-1, R4-3, dan R7-3	31
Tabel 3.2 Hasil Pengamatan Morfologi Koloni Isolat Bakteri R3-1, R4-3, dan R7-3	31
Tabel 3.3 Hasil Pengamatan Pewarnaan Koloni Isolat Bakteri R3-1, R4-3, dan R7-3	31
Tabel 3.4 Hasil Pengamatan Uji Biokimia Koloni Isolat Bakteri R3-1, R4-3, dan R7-3	32
Tabel 3.5 Hasil Pengamatan Pengukuran Aktivitas Enzim Selulosa Berdasarkan Parameter pH dan Temperatur	36
Tabel 3.6 Hasil Pengamatan Pengukuran Konsentrasi Inokulum Bakteri Berdasarkan Parameter pH dan Temperatur	36
Tabel 3.7 Hasil Pengamatan Pengukuran Kadar Gula Pereduksi Berdasarkan Parameter pH dan Temperatur	37
Tabel 4.1 Karakteristik Koloni Bakteri yang Diisolasi dari Pencernaan Rayap	39
Tabel 4.2 Indeks Aktivitas Selulase (IAS) Isolat Bakteri Terpilih	42
Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Morfologi Isolat Bakteri Selulolitik dari Pencernaan Rayap <i>Cryptotermes</i> sp.	43
Tabel 4.4 Hasil Pewarnaan Isolat Bakteri Selulolitik dari Pencernaan Rayap <i>Cryptotermes</i> sp.	44
Tabel 4.5 Hasil Pengamatan Uji Biokimia Isolat Bakteri Selulolitik dari Pencernaan Rayap <i>Cryptotermes</i> sp.	45
Tabel 4.6 Kadar Gula Pereduksi dan Aktivitas Enzim yang Dihasilkan Konsorsium Bakteri Selulolitik	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Kerja Enzim Selulase	10
Gambar 2.2 Tanaman Padi (<i>Oryza sativa</i> Linn)	14
Gambar 2.3 Struktur Lignoselulosa pada Dinding Tanaman	16
Gambar 2.4 Struktur Kimia Selulosa	17
Gambar 2.5 Jerami Padi Sebelum Dilakukan <i>Treatment</i>	19
Gambar 2.6 Jerami Padi Setelah Dilakukan <i>Treatment</i>	19
Gambar 2.7 (A) Kasta pada Rayap, (B) Sayap pada Kasta Reproduktif (<i>alate</i>), (C) Kasta Reproduktif (<i>alate</i>), (D) Kasta Prajurit (<i>soldier</i>)	21
Gambar 2.8 Rayap <i>Cryptotermes</i> sp.	22
Gambar 3.1 Alur Penelitian	38
Gambar 4.1 Isolat Bakteri yang Diperoleh dari Suspensi Pencernaan Rayap <i>Cryptotermes</i> sp.. Ket: (R1) Isolat 1; (R2) Isolat 2; (R3) Isolat 3; (R4) Isolat 4; (R5) Isolat 5; (R6) Isolat 6; (R7) Isolat 7; (R8) Isolat 8	40
Gambar 4.2 Zona Bening yang Dibentuk oleh Aktivitas Selulolitik Tertinggi 3 Isolat Bakteri pada Media CMC; (a) Isolat R3-1; (b) Isolat R4- 3; (c) Isolat R7-3 Setelah Diberi Pewarna <i>Congo Red</i>	41
Gambar 4.3 Kenampakan Morfologi Masing-Masing Isolat Bakteri Selulolitik pada Mikroskop Stereo dengan Perbesaran 4x. Ket: (a) Isolat R3-1; (b) Isolat R4-3, (c) Isolat R7-3	44
Gambar 4.4 Kurva Tumbuh Isolat Bakteri R3-1 (<i>Achromobacter</i> sp.)	47
Gambar 4.5 Kurva Tumbuh Isolat Bakteri R4-3 (<i>Achromobacter xylooxidans</i>) .	48
Gambar 4.6 Kurva Tumbuh Isolat Bakteri R7-3 (<i>Pseudomonas Stutzeri</i>)	49
Gambar 4.7 Grafik Biomassa Sel Bakteri pada Media Produksi Enzim dalam Waktu Inkubasi dan Empat Variasi Faktor Suhu dan pH yang Diberikan	51
Gambar 4.8 Perubahan Warna pada Sampel Uji Aktivitas Enzim Selulase dengan Reagen DNS	54
Gambar 4.9 Grafik Aktivitas Enzim Selulase oleh Konsorsium Bakteri	

Selulolitik pada Substrat CMC 1%	56
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Penelitian	70
Lampiran 2 Pembuatan Reagen dan Media	73
Lampiran 3 Proses Ekstraksi, dan Pengenceran Cawan Tuang	79
Lampiran 4 Dokumentasi Uji Aktivitas Selulolitik pada Medium CMC Agar	81
Lampiran 5 Dokumentasi Kultur Murni dan Morfologi Bakteri Selulolitik	82
Lampiran 6 Pewarnaan Bakteri Selulolitik	83
Lampiran 7 Uji Biokimia	86
Lampiran 8 Pembuatan Kurva Pertumbuhan Bakteri	91
Lampiran 9 Pembuatan Kurva Standar Glukosa	94
Lampiran 10 Pengukuran Parameter, Kadar Gula Pereduksi, dan Aktivitas Enzim Selulase pada Media Serbuk Jerami Padi	97
Lampiran 11 Dokumentasi Uji Aktivitas Enzim Selulase Dengan Metode DNS	106
Lampiran 12 Hasil Analisis Statistika Perlakuan Suhu dan pH Terhadap Aktivitas Enzim Menggunakan SPSS <i>for Windows</i>	110

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah K. (2001). Biomass Energy Potentials and Utilization in Indonesia. *Indonesian Renewable Energy Society (IRES)*. (Online). Terdapat di: <http://www.repp.org/.../Fuels/mskB2D82.pdf>. Diakses pada tanggal 6 November 2018.
- Acharya, S. dan Chaudhary A. (2012). Optimization of Fermentation Conditions for Cellulases Production by *Bacillus licheniformis* MVS1 and *Bacillus* sp. MVS3 Isolated from Indian Hot Spring. *Braz Arch Biology Technology*. Vol. 55(4): 497-503.
- Akhdiya, A. (2003). Isolasi Bakteri Penghasil Enzim Protease Alkalin Termostabil. *Buletin Plasma Nutfah*. Vol. 9(2).
- Ambriyanto, K. S. (2010). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Aerob Pendegradasi Selulosa dari Serasah Daun Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum schaum*). Jurusan Biologi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Andhikawati, A. (2014). Penapisan dan Pemanfaatan Kapang Endofit dalam Pembuatan Bioetanol dari Limbah Pengolahan Agar-Agar. *Tesis*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Arikunto, S. (2006). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Ariyani, E., Kusumo, E., Supartono. (2013). Produksi Bioetanol dari Jerami Padi (*Oryza sativa L.*). *Indonesian Journal of Chemical Science*. 2(2): 167-172.
- Aryani, S.W. (2012). Isolasi dan Karakteristik Ekstrak Kasar Enzim Selulase dari Kapang Selulolitik *Mucor sp. B₂*. *Skripsi*. Universitas Airlangga Surabaya.
- Aryal, S. (2018). *Biochemical Test*. (Online) Terdapat di: <https://microbiologyinfo.com/category/biochemical-test/>
- Azizah, N. (2017). Pemurnian Enzim Selulase dari Isolat Khamir Jenis *Candida utilis* Menggunakan Fraksinasi Amonium Sulfat. *Skripsi*. Makassar: Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alaudin Makassar.
- Aziz, P. (2012). Enzim dan Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Reaksi Enzim. *Material for FIK Biochemical Experiment Class*.
- Badan Pusat Statistik. (2014). *Produksi Padi Tahun 2014*. (Online). Terdapat di <http://www.bps.go.id/brs/view/id/1122>. Diakses pada tanggal 6 November 2018.
- Baharuddin, M., Abdul R.P., Ahyar A., dan Nursiah L.N. (2014). Aktivitas Enzim Selulase Kasar dari Isolat Bakteri Larva *Cossus cossus* dalam Hidrolisis Jerami Padi. *Jurnal Kimia Valensi*. Vol.4(2): 128-133.

- Baharuddin, M., Al Maratun S., Santi. (2015). Produksi dan Uji Aktivitas Enzim Selulase dari Bakteri *Bacillus subtilis*. *Jurnal Al Kimia*. Hal. 78-90.
- Baharuddin, M., Sappewali, Karisma, dan Jeni F. (2016). Produksi Bioetanol dari Jerami Padi (*Oryza Sativa L.*) dan Kulit Pohon Dao (*Dracontamelon*) Melalui Proses Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak (SFS). *Jurnal Chimica et Natura Acta*. Vol. 4(1).
- Boer, F. (2009). *Biologi Rayap*. (Online). Terdapat di https://www.academia.edu/8874670/Biologi_Rayap. Diakses pada tanggal 16 November 2018.
- Brenner, D.J., Noel R.K., dan James T.S. (2005). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Second Edition*. Michigan State University.
- Cappuccino, J. and Sherman, N. (2005). *Microbiology A Laboratory Manual*. San Francisco Boston New York
- Capriyanti, Y. (2014). Optimasi Kondisi Produksi Enzim Amilase dari Bakteri Laut *Bacillus* sp. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Chen, H.J., Han J.C., Chahhao F., Wen-Hsin C., dan Meng S.L. (2011). Screening, Isolation, and Characterization of Cellulose Biotransformation Bacteria from Specific Soils. *International Conference on Environmental and Industrial Innovation*.
- Choi, Y.W., Hodgkiss I.J. dan Hyde K.D. (2005). Enzyme Production by Endophytes of *Brucea javanica*. *Journal Agric Tech*. Vol. 1: 55-66.
- Constantino, R. (2002). An Illustrated Key to Neotropical Termite Genera (Insecta: Isoptera) Baser Primarily on Soldiers. *Journal Zootaxa*. Vol. 67: 1-40
- Corredor, D. (2008). *Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulolic Biomass*. New York: ProQuest LLC.
- Crueger, W. dan A. Crueger. (1984). Biotechnology A text Book of Industrial Microbiology. *Science Tech*. Madison
- Dadheech, T., Shah R., Pandit R., Hinsu A., Chauhan P.S., dan Jakhesara S. (2018). Cloning, Molecular Modeling and Characterization of Acidic Cellulase from Buffalo Rumen and Its Applicability in Saccharification of Lignocellulosic Biomass. *Journal Biology Macromolecular*. Vol. 113: 73-81.
- Desi, A. (2012). Aktivitas Enzim Selulase Isolat SGS 2609 BBP4B-KP Menggunakan Substrat Limbah Pengolahan Rumput Laut yang Di-Pretreatment dengan Asam. *Skripsi*. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Dini, I.R. dan Ifah M. (2014). Produksi dan Karakterisasi Enzim Selulase Ekstrak Kasar dari Bakteri yang Diisolasi dari Limbah Rumput Laut. *J. Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*. Vol. 6(3): 70-74

- Djuardi, Anwika U.P. (2015). Optimasi Hidrolisis Jerami Padi untuk Produksi Bioetanol dengan Metode Simultaneous Saccharification and Fermentation. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Dwidjoseputro, S. (1994). *Sterilisasi*. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Enari, T.M. (1983). Microbial Cellulases. In: Fogarty, W.M. (ed). *Microbial Enzymes and Biotechnology*. New York: Appl. Sci. Publisher.
- Engel M.S., D.A. Grimaldi, dan K. Krishna. (2009). Termites (Isoptera): Their Phylogeny, Classification, and Rise to Ecological Dominance. *American Museum Novitates*. Vol. 3650:1–27.
- Fan *et al.* (1982). The Nature of Lignocellulosic and Their Pretreatment for Enzymatic Hydrolysis. *Adv. Bichem. Eng.* Vol. 23: 158-187.
- Fardiaz, S. (1992). *Biotransformatio Inorganik Reaction*. Jakarta: PT. Gramedia Pratama Utama.
- Fikrinda. (2000). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Penghasil Selulase Ekstermofilik dari Ekosistem Air Hitam. *Tesis*. Institut Pertanian Bogor.
- Fitriani, E. (2003). *Aktivitas Enzim Karboksimetil Selulase Bacillus pumilus Galur 55 pada Berbagai Suhu Inkubasi*. Bogor: Kimia FMIPA IPB.
- Gayang, F. (2013). Konversi Lignoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Gula Pereduksi Menggunakan Enzim Xilanase dan Selulase Komersial. *Skripsi*. Bogor: Departeman Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB.
- Ghosh, T.K. (1987). Measurements of Cellulase Activities. *Pure and applied Chemistry*. Vol. 59: 257-268
- Global Info Research. (2019). *Global Cellulase (CAS 9012-54-8) Market 2019 by Manufacturers, Regions, Type and Application, Forecast to 2024*. (Online). Tersedia di <http://www.rnrmarketresearch.com/global-cellulase-cas-9012-54-8-market-2019-by-manufacturers-regions-type-and-application-forecast-to-2024-market-report.html>. Diakses pada 29 Juli 2019.
- Goyal, A., Shuchi S., S.T.P. Bharadwaja., Pawan K.Y., Vijayanand S.M. (2014). Mechanic Investigation in Ultrasound-Assisted (Alkaline) Delignification of *Parthenium hysterophorus* Biomass. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry Research*. Vol 55: 14241-14252. American Chemical Industry.
- Gupta, P., Samant K., dan Sahu A. (2011). Isolation of Cellulose Degrading Bacteria and Determination of Their Cellulolytic Potential. *Jurnal International Microbiology*. Vol. 1: 1-5
- Hadioetomo, R.S. (1985). *Mikrobiologi Dasar dalam Praktek: Teknik dan Prosedur Dasar Laboratorium*. PT. Gramedia: Jakarta

- Hamdiyati, Y. dan Kusnadi. (2018). *Petunjuk Praktikum Mikrobiologi*. Depatemen Pendidikan Biologi Fakultas Pendidikan Matematika IPA. Univeristas Pendidikan Indonesia.
- Hames, D., Hooper, N. (2005). *Biochemistry*. Edisi Keempat. New York: Taylor and Francis Group.
- Han, L.K., Takaku T., Li J., Kimura Y., dan Okuda H. (1999). Anti-Obesity Action of Oolong Tea. *International Journal Obesity*. Vol. 23:98-105.
- Hankin, L. dan Anagnostakis, S.L. (1977). Solid Media Containing Carboxymethylcellulose to Detect Cx Cellulase Activity of Microorganisms. *Journal Microbiology*. Vol. 98(1): 109-115
- Hariri, A.M., F.X. Susilo, dan Hamim S. (2003). Populasi Rayap pada Pertanaman Lada di Way Kanan Lampung. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. Vol. 3(2): 29-35.
- Harun, R., Jason W.S.Y., Cherrington T., dan Danquah M.K. (2010). Microalga Biomass as A Cellulosic Fermentation Feedstock Rot Bioethanol Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Hasanah, I. (2007). *Bercocok Tanam Padi*. Jakarta: Azka Mulia Media.
- Hasanah, N. (2014). Seleksi dan Optimasi Pemurnian Enzim Selulase Mikroba dari Limbah Media Tanam Jamur Merang. *Skripsi*. Bogor: FPMIPA IPB.
- Hasanah, N. dan Iwan S. (2015). Aktivitas Selulase Isolat Jamur dari Limbah Media Tanam Jamur Merang. *Jurnal Prosedium Seminar Masyarakat Biodiv Indonesia*. Vol. 1(5): 1110-1115.
- Hasibuan, B.E. (2009). *Pupuk dan Pemupukan*. Medan: Universitas Sumatera Utara Press.
- Herlini, H. (2017). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Selulolitik dari Usus Rayap (*Cryptotermes sp.*) dalam Media Serbuk Jerami Padi (*Oryza sativa*). *Skripsi*. Bandung: Perpustakaan UPI Bandung.
- Hidayat, I. (2005). Pengaruh pH terhadap Aktivitas *Endo-1,4-β-Glucanase* *Bacillus* sp. AR 009. *Jurnal Biodiversitas*. Vol. 6(4): 242-244.
- Howard RL., Abotsi E., Jansen van Rensvryg EL., Howard S. (2003). Lignocellulose Biotechnology: Issues of Bioconversion and Enzyme Production. *Afr. J. Biotechnol.* Vol. 2: 602-619.
- Jayasekara, S. dan Renuka R. (2019). Microbial Cellulases: An Overview and Applications. (Online). *InTechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.84531. Tersedia di <https://www.intechopen.com/online-first/microbial-cellulases-an-overview-and-applications>. Diakses pada 29 Juli 2019.
- Jennifer, V. dan Thiruneelakandan G. (2015). Enzymatic Activity of Marine Lactobacillus Spesies from South East Coast of India. *IJISSET*. Vol. 2(1): 542-546

- Jeya, M., Nguyen N., Moon H., Kim S., dan Lee J. (2010). Conversion of Woody Biomass Into Fermentable Sugars By Cellulase from *Agaricus arvensis*. *Bioresource Technology*. Vol. 101: 8742-8749.
- Ji W, D. Ming., L. Yan-Hong., C.Qing-Xi., X.Gen-Jun & Z.Fu-Kun. (2003). Isolation Functional Endogenous Cellulase Gene from Mollusc, *Ampullaria crossean*. *Jurnal Acta Biochimica et Biophysica Sinica*. Vol. 35(10): 941-946
- Kodri., Agro B.D., Yulianingsih R. (2013). Pemanfaatan Enzim Selulase dari *Trichoderma reseei* dan *Aspergillus niger* sebagai Katalisator Hidrolisis Enzimatik Jerami Padi dengan Pretreatment Microwave. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*. Vol. 1(1): 36-43.
- Kim, S., dan Dale B.E. (2004). Global Potential Bioethanol Production from Wasted Crops and Crop Residues. *Biomass Bioenergy*. Vol. 26:361–375.
- Klein dan Hubert. (2018). *Ripe Rice Field (Oryza sativa) Bouches-du-Rhone, Camargue, France*. (Online). Terdapat di <https://www.naturepl.com/stock-photo-nature-image01605557.html>. Diakses tanggal 1 Agustus 2019.
- Komar, A. (1984). *Teknologi Pengolahan Jerami Padi sebagai Pakan Ternak*. Bandung: Dian Grahita.
- Kuhad, R.C., Gupta R., Singh A. (2011). Microbial Cellulases and Their Industrial Applications. *Enzyme Research*. 10 pages.
- Kumar, G.S., Chandra, M.S., Sumanth, M., Vishnupriya, A., Reddy, B.R., dan Choi, Y. (2009). Cellulolytic Enzymes Production from Submerged Fermentation of Different Substrates by Newly Isolated *Bacillus* spp. FME. *Journal of Korean Society of Applied Biological Chemistry*. Vol. 52: 17–21.
- Lakhundi, S.S., Ruqaiyyah S., dan Naveed A.K. (2015). Cellulose Degradation: A Therapeutic Strategy in The Improved Treatment of Acanthamoeba Infections. *Journal Parasites and Vectors* Vol. 8(23): 1-16
- Lee, H.V., Shareefah Bee A.H. (2014). Conversion of Lignocellulose Biomass to Nanocellulose: Structure and Chemical Process. *The Saintific World Journal*. Vol. 2014.
- Lee, Y. (2008). Purification and Characterization of Cellulase Produces by *Bacillus amyloliquefaciens* DL-3 Utilizing Rice Hull. *Bioresource Technology*. Vol. 99: 378-386.
- Lehninger, A.L., D.L. Nelson, and M.M Cox. (1993). *Principles of Biochemistry Second Edition*. New York.
- Lizayana, Mudatsir, dan Iswadi. (2016). Densitas Bakteri pada Limbah Cair Pasar Tradisional. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Biologi*. Vol. 1(1): 95-106

- Lugina, Y., Rajesh S., and Balwinder S.S. (2015). Optimization of Cellulase Production from Newly Isolated *Bacillus sp.* Y3. *J. Bioprocess Biotech.* Vol. 5(11).
- Lynd, L.R., Weimer, P.J., Zyl, W.H., Pretorius, I.H. (2002). Microbial Cellulose Utilization, Fundamental and Biotechnology. *Microbiol Molecul Bio Reviews.* Vol. 66: 506-577.
- Miller, G.L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry.* Vol. 31: 426-428.
- Muchtadi, T.R.. dan Sugiyono. (1992). *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan.* IPB. Bogor.
- Murashima, K., A. Kosugi and RH. Doy. (2002). Synergistic Effects on Crystalline Cellulose Degradation Between Cellulosomal Cellulases from *Clostridium cellulovorans*. *J. Bacteriol.* Vol. 184: 5088-5095.
- Murray, R.K., Granner, D.K., Mayes, P.A., dan Rodwell, V.W. (2003). *Harper's Illustrated Biochemistry.* Ed ke-26. San Fransisco: McGraw-Hill.
- Nandika D, Rismayadi Y, Diba F. (2003). *Rayap, Biologi dan Pengendaliannya.* Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Nandimath, A.P., Kiran R.K., Shanti G.G., dan Arun S.K. (2016). Optimization of Cellulase Production for *Bacillus sp.* and *Pseudomonas sp.* Soil Isolates. *Academic Journals.* Vol. 10(13): 410-419.
- Nelson, D.L. dan Cox, M.M. (2005). *Principles of Biochemistry.* Ed. ke-4. New York: Worth Publisher.
- Niswah, L. (2014). Uji Aktivitas Antibakteri dari Ekstrak Buah Parijoto (*Medinilla speciosa* Blume) Menggunakan Metode Difusi Cakram. *Skripsi.* Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah
- Nugroho, A. (2007). Dinamika Populasi Konsorsium Bakteri Hidrokarbonoklastik: Studi Kasus Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi Skala Laboratorium. *Jurnal Ilmu Dasar.* Vol. 8(1): 13-23.
- Pelczar, M.J. dan E.C.S. Chan. (2005). *Dasar-dasar Mikrobiologi 1.* Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Peristiwati, Natamihardja Y.S., dan Herlini H. (2018). Isolation and Identification of Cellulolytic Bacteria from Termites Gut (*Cryptotermes sp.*). *Journal of Physics.* Conf. Series 1013 (2018) 012173.
- Phong, huynh Xuan., Le Thi Lin., Nguyen Ngoc Thanh., Bui Hoang Dang Lang., Ngo Thi Phuong Dung. (2017). Investigating The Condition Nata-de-Coco Production by Newly Isolated Acetobacter sp. *Jurnal Food Science and Nutrition.* Vol. 4(1): 1-6
- Prihatiningrum, AE. (2002). *Pengaruh Pengaturan Suhu dan Macam Bakteri Terhadap Hidrolisis Limbah Padat Pabrik Gula.* Berkala Penelitian Hayati. Penerbit PBI. Jawa Timur.

- Poedjiaji, A. (2006). *Dasar-dasar Biokimia Edisi Revisi*. Jakarta: UI Press.
- Poedjiaji, A. dan Supriyanti, F.M. (2007). *Dasar-dasar Biokimia*. Jakarta: UI Press.
- Prestwich, G.D. (1984). Defense Mechanisms of Termites. *Annual Review of Entomology*. Vol. 29: 201-232.
- Putri, F.I.C.E. (2014). Optimasi Produksi Selulase dari Bakteri Laut *Bacillus cereus*. *Skripsi*. Bogor: FMIPA, IPB.
- Rangaswamy, B.E., Vanitha K.P., dan Basavaraj S.H. (2015). Microbial Cellulose Production from Bacteria Isolated from Rotten Fruit. *International Journal of Polymer Science*. Vol. 2015 8 pages.
- Ravichandran, S. dan Vimala R. (2012). Solid State and Submerged Fermentation for The Production of Bioactive Substances: A Comparative Study. *International Journal of Science and Nature*. Vol. 3(3): 480-486.
- Remli, N.A.M., Md Shah, U.K., Mohamad, R., dan Abd Aziz., S. (2014). Effect of Chemical and Thermal Pretreatments on The Enzymatic Saccharification of Rice Straw for Sugar Production. *BioResources*. Vol. 9(1): 510–522.
- Rosyada, N. (2015). Isolasi Bakteri Asam Laktat dengan Aktivitas Selulolitik pada Saluran Pencernaan Mentok (*Cairina moschata*). *Skripsi*. Surakarta: Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret.
- Sadhu S., dan Maiti T.K. (2013). Cellulase Production by Bacteria: A Review. *British Microbiol*. Vol. 3(3): 235-258.
- Salle, A.J. (1974). *Fundamnetal Principles of Bacteriology*. New Delhi: Tata Mc Grawa Hill.
- Santos, T.C., Gomes, D.P.P., Bonomo, R.C.F., Franco, M. (2012). Optimisation of Solid State Fermentation of Potato Peel for The Production of Cellulolytic Enzime. *Food Chemistry*. Vol. 133: 1299-1304.
- Saragih, B. (2001). Keynote Address Ministers of Agriculture Government of Indonesia. 2nd National Workshop on Strengthening The Development And Use of Hibrid Rice in Indonesia. *National Workshop*. Vol. 1:10.
- Saratale *et al.* (2012). *Microbial Degradation of Synthetic Dyes in Wastewaters*.
- Sari, R.F. (2010). Optimasi Aktivitas Selulase Ekstrakseluler dari Isolat Bakteri RF-10. *Skripsi*. Bogor: FMIPA IPB.
- Sastroamirdjojo, J. 2005. *Kimia, Organisk, Sterokimia, Lemak dan Protein*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Scheffrahn, R.H., P. Busey, J.K. Edwards, J. Krecek, B. Maharajh, dan N-Y. Su (2001). Chemical Prevention of Colony Foundation by *Cryptotermes*

- brevis* (Isoptera: Kalotermitidae) in Attic Modules. *Journal of Economic Entomology*. Vol. 94: 915-919.
- Shahid, Z.H., M. Irfan, M. Nadem, Quratulain S., dan Javed I.Q. (2016). Production, Purification, and Characterization of Carboxymethyl Cellulase from Novel Strain *Bacillus megaterium*. *Juournal of Environmental Progress and Sustainable Energy*. Vol. 00(00). American Institute of Chemical Engineers.
- Sholihati, A.M., Baharuddin, Maswati dan Santi, Santi. (2015). Produksi dan Uji Aktivitas Enzim Selulase dari Bakteri *Bacillus Subtilis*. *Jurnal Al Kimia*. Vol. 3(2): 78-90.
- Sinaga, R. E. (2013). *Karakterisasi Enzim Selulase dan Aplikasinya pada Substrat Limbah Pertanian*. Tesis. Program Studi Bioteknologi. Institut Pertanian Bogor
- Sinantari, H.M., Aminin A.L.N., Sarjono,P.R. (2013). Pemurnian Selulase dari Isolat KB Kompos Termofilik Desa Bayat Klaten Menggunakan Fraksinasi Amonium Sulfat. *J.Chem Info*.Vol. 1(1): 130-140
- Singh, R., Manoj K., Anshumali M., dan Praveen K.M. (2016). Microbial Cellulases in Industrial Applications. *Pasific Group of e-Journals (PaGe)*. Vol. 3(4): 24-29.
- Singh, R., Srivastava M., dan Shukla A. (2016). Environmental Sustainability of Bioethanol Production from Rice Straw in India: A Review. *Renew Sustain Energy Rev*. Vol. 54:202–21.
- Sobotnik, Jan and Cecilia D. (2017). *Cryptotermes sp.* (Online). Terdapat di: [https://www.researchgate.net/figure/Cryptotermes-sp-Kalotermitidae fig5 318023990](https://www.researchgate.net/figure/Cryptotermes-sp-Kalotermitidae-fig5_318023990). Diakses pada 6 November 2018.
- Soerawidjaja, H.T. (2009). *Bioetanol Generasi Kedua*. (Online). Terdapat di: <http://www.majarimagazine.com/2009/02/bioetanol-generasi-kedua/>. Diakses pada 6 November 2018.
- Sreedevi, S. Sreedharan S. dan Sailas B. (2013). Cellulase Producing Bacteria from The Wood-Yards on Kallai River Bank. *Advance in Microbiology*. Vol. 3: 326-332.
- Stanbury, P.F. dan A. Whitaker. (1984). *Principles of Fermentation Technology*. New York: Pergamon Press.
- Sukmadinata, N.S. (2008). *Metode Penelitian dan Pendidikan*. Bandung: PT. Remaja Rosda Karya.
- Sukumaran, R.K., Reeta R. S., and Ashok P. (2005). Microbial Cellulose – Production, Applications, and Challenges. *Journal of Scientific and Industrial Research*. Vol. 64: 832-844.
- Sun, Y., dan J. Cheng. (2002). Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: A Review. *Bioresources Technology*. Vol. 83: 1-11.

- Susanti, D.R. (2017). Isolasi dan Identifikasi Jamur Selulolitik dari Usus Rayap (*Cryptotermes* sp.) dalam Media Serbuk Jerami Padi (*Oryza sativa*, Linn). *Skripsi*. Bandung: FPMIPA UPI.
- Tarumingkeng, R.C. (2007). *Biologi dan Perilaku Rayap*.
- Teather, R., dan Wood PJ. (1982). Use of Congo Red Polysaccharide Interaction in Enumeration and Characterization of Cellulolytic Bacteria from The Bovin Rumen. *Appl. Env. Microbiol.* Vol. 43: 777-780.
- Thomsen, MH., Hauggaard N., Peterson A., Thomsen AB., dan Jensen ES. (2007). Sustainable Bioethanol Production Combining Biorefinery Principles and Intercropping Strategies. *Rispubl.* Vol. 94-105.
- Tjitosoepomo, G. (2002). *Taksonomi Tumbuhan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Upadhyaya, S.K., et.al,. (2012). Isolation and Characterization of Cellulolytic Bacteria from Gut of Termite. *Jurnal Rentech*. Vol. 1
- Wahyuningsih, N dan E. Zulaika. (2018) Perbandingan Pertumbuhan Bakteri Selulolitik Pada Media Nutrient Broth dan Carboxymethylcellulose. *Jurnal Sains dan Seni*. Vol. 7(2): 36-38
- Watanabe, K., Tabuchi M., Morinaga Y., dan Yoshinaga F. (1998). Structural Features and Properties of Bacterial Cellulose Produced in Agitated Culture. *Cellulose*. Vol. 5: 187-200.
- Wenzel, R.P., et al. (2002). In Vitro Susceptibilities of Gram-Negative Bacteria Isolated from Hospitalized Patients in Four European Countries, Canada, and The United States in 2000-2001 to Expanded-Spectrum Cephalosporins, and Comparator Antimicrobials: Implications for Therapy. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. Vol. 47(10):89-98.
- Wibowo, MS. (2012). *Pertumbuhan dan Kontrol Bakteri*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Wyman, C.E. (2002). *Potential Stnergies and Challenges in Refining Cellulosic Biomass to Fuels*. Biotechnol Progress.
- Zhang, Y.H.P., Himmel M.E., Mielenz J.R. (2006). Outlook for Cellulase Improvement: Screening and Selection Strategies. *Biotech Adv.* Vol. 24: 452-481.
- Zulyusri., Desyanti, dan U. Mardia. (2013). Keefektifan Daun Sangitan (*Sambucus javanica* Reinw) sebagai Insektisida Nabati dalam Pengendalian Rayap Tanah. *Prosiding Semirata FPMIPA Universitas Kampung*. Lampung: FMIPA Universitas Lampung.