

**OPTIMALISASI AKTIVITAS ENZIM SELULASE ISOLAT BAKTERI R7-
3 SALURAN PENCERNAAN RAYAP DALAM MEDIUM SERBUK
JERAMI PADI
SKRIPSI**

Disusun untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Biologi Departemen Pendidikan Biologi



Oleh:

Eldi Muhamad Sunartadirja

1505649

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
DEPARTEMEN PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKAN DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2020**

Eldi Muhamad Sunartadirja, 2020

OPTIMALISASI AKTIVITAS ENZIM SELULASE ISOLAT BAKTERI R7-3 SALURAN PENCERNAAN RAYAP DALAM MEDIUM SERBUK JERAMI PADI

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

**OPTIMALISASI AKTIVITAS ENZIM SELULASE ISOLAT BAKTERI R7-
3 SALURAN PENCERNAAN RAYAP DALAM MEDIUM SERBUK
JERAMI PADI**

Oleh

Eldi Muhamad Sunartadirja

1505649

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

©Eldi Muhamad Sunartadirja

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2020

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya, atau sebagian dengan dicetak ulang, difotocopy atau cara lainnya tanpa izin dari penulis

Eldi Muhamad Sunartadirja, 2020

OPTIMALISASI AKTIVITAS ENZIM SELULASE ISOLAT BAKTERI R7-3 SALURAN PENCERNAAN RAYAP DALAM MEDIUM SERBUK JERAMI PADI

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

ELDI MUHAMAD SUNARTADIRJA

**OPTIMALISASI AKTIVITAS ENZIM SELULASE ISOLAT BAKTERI R7-
3 SALURAN PENCERNAAN RAYAP DALAM MEDIUM SERBUK
JERAMI PADI**

disetujui dan disahkan oleh

Pembimbing I



Dr. Wahyu Surakusumah, S.Si, M.T

NIP. 1972123011999031001

Pembimbing II

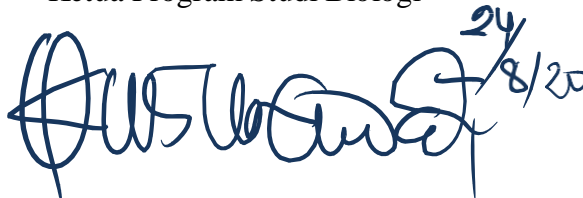


Dr. Hj. Peristiwa, M.Kes

NIP. 196403201991032001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi



Dr. Diah Kusumawaty, M.Si.

NIP. 197008112001122001

PERNYATAAN

*Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**Optimalisasi Aktivitas Enzim Selulase Isolat Bakteri R7-3 Saluran Pencernaan Rayap Dalam Medium Serbuk Jerami Padi**” beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya ini, atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.*

Cimahi, Agustus 2020

Yang membuat pernyataan

Eldi Muhamad Sunartadirja

NIM. 1505649

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Optimalisasi Aktivitas Enzim Selulase Isolat Bakteri R7-3 Saluran Pencernaan Rayap Dalam Medium Serbuk Jerami Padi**”. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Biologi Strata Satu (S1), Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan pengarahan, bantuan dan semangat kepada penulis. Penulis ucapkan terima kasih dengan segala kerendahan hati kepada :

1. Bapak Dr. Wahyu Surakusumah, S.Si, M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, masukan, saran, dan motivasi selama kegiatan penelitian hingga penyusunan skripsi dilakukan.
2. Ibu Dr. Hj. Peristiwa, M.Kes. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, masukan, saran, dan motivasi selama kegiatan penelitian hingga penyusunan skripsi dilakukan.
3. Bapak Dr. Bambang Supriatno, M.Si. selaku Ketua Departemen Pendidikan Biologi FPMIPA UPI.
4. Ibu Dr. Hj. Diah Kusumawaty, M.Si. selaku Ketua Program Studi Biologi FPMIPA UPI.
5. Ibu Hj. Tina Safaria Nilawati, M.Si. selaku Dosen Wali yang telah membimbing selama perkuliahan.
6. Bapak Prof. Dr. Topik Hidayat, M.Si selaku Kepala Laboratorium Biologi FPMIPA UPI.
7. Ibu Prof. Dr. Hj. RR. Hertien Koosbandiah S., M.Sc., Ibu Dr. Yanti Hamdiyati, M.Si., dan Bapak Dr. Kusnadi, M.Si. selaku dosen penguji

sidang skripsi yang telah memberi masukan demi penyempurnaan penulisan dan isi skripsi ini.

8. Seluruh dosen Departemen Pendidikan Biologi FPMIPA UPI atas semua ilmu, bimbingan, dan pengalaman yang telah diberikan selama perkuliahan.
9. Bapak Rahadian Deden Juansah, S.Pd. selaku pranata laboratorium Laboratorium Riset Bioteknologi yang telah membimbing dan memfasilitasi selama penelitian.
10. Seluruh Staf Departemen Pendidikan Biologi FPMIPA UPI atas semua ilmu, bimbingan, dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis selama perkuliahan.
11. Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua, papa Ahmad Gerardino, mama Leni Lestari, kedua adik Auryn dan Goldie yang selalu memberikan dukungan baik secara moril maupun materil yang tidak pernah berhenti selama penulis melaksanakan pendidikan di Universitas Pendidikan Indonesia hingga memperoleh gelar Sarjana Sains.
12. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Riset Bioteknologi FPMIPA UPI, khususnya kepada tim rayap untuk segala dukungan, bantuan, kerjasama yang telah diberikan kepada penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
13. Teman-teman kelas Biologi C 2015 yang telah bersama-sama selama empat tahun, terima kasih telah hadir dalam hidup penulis, memberikan kenangan indah dan pertemanan yang sangat berharga.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih sangat jauh dari kata sempurna karena berbagai keterbatasan yang dimiliki. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan dalam penulisan skripsi ini. Demikian penulis berharap skripsi ini bisa memberikan manfaat bagi kita semua.

Cimahi, Februari 2020

Penulis

Eldi Muhamad Sunartadirja

Optimalisasi Aktivitas Enzim Selulase Isolat Bakteri R7-3 Saluran Pencernaan Rayap Dalam Medium Serbuk Jerami Padi

ABSTRAK

Permintaan pasar global terhadap enzim sangat tinggi sehingga mengalami peningkatan sekitar 7% (2015-2020) per tahun. Penggunaan enzim di Indonesia diperkirakan mencapai 2500 ton dengan nilai impor sekitar 200 Milyar pada tahun 2017. Di Indonesia pada tahun 2015 memproduksi padi sebanyak 75,40 juta ton per tahun, sehingga menghasilkan limbah jerami padi yang salah satu pemanfaatannya digunakan sebagai substrat selulosa untuk memproduksi enzim selulase. Dalam proses pembuatan enzim selulase, dibutuhkan mikroorganisme selulolitik yang mampu menghasilkan enzim selulase seperti bakteri selulolitik yang dapat diperoleh dari saluran pencernaan rayap kayu (*Cryptotermes* sp.). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pH, suhu dan waktu inkubasi optimum yang dapat menghasilkan aktivitas enzim selulase tertinggi. Seleksi bakteri selulolitik dilakukan dengan menggunakan medium selektif *carboxymethylcellulose* (CMC) dimana dipilih bakteri selulolitik dengan keberadaan zona bening tertinggi yang terbentuk di sekitar koloni. Substrat yang digunakan untuk memproduksi enzim selulase adalah jerami padi (*Oryza sativa*) yang sebelumnya dilakukan tahapan *pre-treatment* terlebih dahulu, baik secara mekanik dan kimiawi. Suhu inkubasi (36,5°C; 37,5°C), pH (7,5; 8,5) dan waktu inkubasi (0, 24, 48, 72, 96, 120 jam) menjadi faktor optimasi dalam penelitian ini. Aktivitas enzim selulase diukur dengan menggunakan reagen *dinitrosalicylic acid* (DNS). Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bakteri R7-3 merupakan bakteri dari genus *Pseudomonas* yang mampu menghasilkan aktivitas enzim selulase tertinggi, faktor optimasi suhu 36,5°C, pH 8,5 dan waktu inkubasi 48 jam menghasilkan aktivitas enzim sebesar 14,909 U/ mL.

Kata Kunci : Bakteri selulolitik R7-3, *Cryptotermes* sp, jerami padi, aktivitas selulolitik

Optimization of R7-3 Bacterial Cellulase Enzyme Activity of Termite Digestive Tract in Medium of Rice Straw Powder

ABSTRACT

Global market demand for enzymes is elevated and has increased about 7% (2015-2020) per year and the use of enzymes in Indonesia is estimated to reach 2500 tons with an import value of around 200 billion in 2017. In 2015, Indonesia produced 75.40 million tons of rice per year to produce rice straw waste which can be used as cellulose substrate to produce cellulase enzymes. In the process of making cellulase enzymes, the substrate needed cellulolytic microorganisms that are able to produce cellulase enzymes such as cellulolytic bacteria that can be obtained from the digestive tract of wood termites (*Cryptotermes* sp.). The purpose of this study was to determine which treatments at pH, temperature and incubation time can produce the highest cellulase enzymes. Cellulolytic bacterial selection was carried out using a selective medium carboxymethyl cellulose (CMC) with an indication of cellulolytic bacteria in the presence of clear zones around the colony. The substrate used to produce cellulase enzymes is rice straw (*Oryza sativa*), which was pre-treated beforehand both mechanically and chemically. Cellulase enzyme activity was measured using dinitrosalicylic acid (DNS) reagents. Based on the research results, it is known that R7-3 is a genus of *Pseudomonas* which is able to produce the highest cellulase enzyme activity at a temperature of 36.5 ° C pH 8.5 and 48 hours incubation time produces enzyme activity of 14,909 U / mL.

Keyword : Cellulolytic Bacteria R7-3, *Cryptotermes* sp, rice straw, cellulolytic activity

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3 Pertanyaan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
1.7 Struktur Penulisan Skripsi	5
BAB II	7
Enzim Selulase, Aktivitas Enzim Selulase, Jerami Padi (<i>Oryza sativa</i> L.), Ligno Selulosa, Selulosa, Rayap (<i>Cryptotermes</i> sp.), Bakteri Selulolitik, Smf (<i>Submerged Fermentation</i>)	7
2.1 Enzim Selulase	7
2.2 Aktivitas Enzim Selulase	10
2.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Aktivitas Enzim Selulase... 10	
2.4 Jerami Padi (<i>Oryza sativa</i> , Linn).....	12
2.5 Lignoselulosa.....	15
2.6 Selulosa.....	17
2.7 Rayap (<i>Cryptotermes</i> sp.).....	18
2.8 Bakteri Selulolitik	21
2.9 Simbiosis Bakteri Pada Saluran Pencernaan Rayap.....	22
2.10 Submerged Fermentation (SmF).....	24
BAB III.....	26
METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Jenis Penelitian.....	26

3.2	Desain Penelitian	26
3.3	Populasi dan Sampel	27
3.4	Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.5	Alat dan Bahan	27
3.6	Prosedur Penelitian	28
3.6.1	Tahap Persiapan	28
3.6.2	Pengambilan Rayap	29
3.6.3	Pembiakan Isolat Bakteri	29
3.6.4	Seleksi Bakteri Selulolitik pada Media CMC	29
3.6.5	Seleksi Bakteri Selulolitik pada Media CMC Agar	30
3.6.6	Identifikasi Morfologi dan Biokimia Bakteri Selulolitik 31	
3.6.7	Pembuatan Kurva Tumbuh Bakteri R7-3	37
3.6.8	<i>Pre-treatment</i> Jerami Padi dan Delignifikasi	38
3.6.9	Produksi Enzim Selulase Menggunakan Metode SmF (<i>Submerged Fermentation</i>)	38
3.6.10	Pembuatan Larutan Standar Glukosa	39
3.6.11	Pembuatan Kurva Standar Glukosa	39
3.6.12	Pengukuran Parameter	40
3.7	Analisis Uji Statistik	41
3.8	Alur Penelitian	42
BAB IV		43
TEMUAN DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Isolat Bakteri dari Saluran Pencernaan Rayap <i>Cryptotermes</i> sp. 43	
4.2	Karakteristik Isolat Bakteri Selulolitik pada Medium CMC 45	
4.3	Identifikasi Biokimia Isolat Bakteri Selulolitik R7-3	47
4.4	Pengukuran Kurva Pertumbuhan Bakteri Selulolitik R7-3 50	
4.5	Biomassa Bakteri R7-3 Selama Proses Fermentasi	52
4.6	Kadar Gula Pereduksi dan Aktivitas Enzim Selulase Menggunakan Metode DNS	54

4.7 Penentuan Suhu dan pH Optimum Produksi Enzim	
Selulase	55
BAB V.....	61
SIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN.....	61
5.1 Simpulan	61
5.2 Implikasi	61
5.3 Rekomendasi.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Biomassa Lignoselulosa	17
Tabel 2.2 Mikroba Pada Usus Rayap.....	24
Tabel 3.1 Instrumen Hasil Pengamatan Indeks Selulolitik Bakteri R7-3.....	31
Tabel 3.2 Instrumen Hasil Pengamatan Koloni Bakteri R7-3	31
Tabel 3.3 Instrumen Hasil Pengamatan Pewarnaan Bakteri R7-3	32
Tabel 3.4 Instrumen Hasil Pengamatan Uji Biokimia	33
Tabel 3.5 Instrumen Pengukuran Biomassa Bakteri dan Aktivitas Enzim.....	41
Tabel 4.1 Morfologi Isolat Bakteri Pencernaan Rayap <i>Cryptotermes</i> sp.....	44
Tabel 4.2 Indeks Selulolitik Bakteri dari Saluran Pencernaan Rayap.....	47
Tabel 4.3 Karakteristik Morfologi dan Biokimia Bakteri Selulolitik R7-3.....	49
Tabel 4.4 Hubungan Gula Pereduksi dengan Aktivitas Enzim Selulase yang Dihasilkan oleh Bakteri R7-3	55
Tabel 4.5 Penentuan Perlakuan Suhu dan pH Optimum Produksi Enzim Selulase Dengan Nilai Signifikansi $P \leq 0,05$	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme kerja enzim	8
Gambar 2.2 Mekanisme kerja enzim selulase pada selulosa.....	9
Gambar 2.3 Tanaman Padi (<i>Oryza sativa</i>)	13
Gambar 2.4 Proses pre-treatment jerami padi (<i>Oryza sativa</i> , Linn)	14
(Dokumentasi Pribadi, 2019).....	14
Gambar 2.5 Proses delignifikasi sebuk jerami padi (<i>Oryza sativa</i> , Linn) menggunakan KOH dan H ₂ SO ₄	15
(Dokumentasi Pribadi, 2019).....	15
Gambar 2.6 Komponen lignoselulosa	16
Gambar 2.7 Struktur selulosa	18
Gambar 2.8 <i>Cryptotermes</i> sp.....	19
Gambar 2.9 Koloni <i>Cryptotermes</i> sp.	20
Gambar 2.10 Siklus hidup rayap	21
Gambar 2.11 Bagian saluran pencernaan pada rayap lower termite,(E) esofagus, (SG) kelenjar ludah, (FG) foregut, (MG) midgut, (MT) tubulus malphigi, (HG) hindgut, (R) rektum.....	23
Gambar 3.1 Alur penelitian optimasi produksi enzim selulolitik oleh bakteri R7-3 dari saluran pencernaan rayap (<i>Cryptotermes</i> sp.) menggunakan media serbuk jerami padi (<i>Oryza sativa</i> , Linn)	42
Gambar 4.1 Rayap <i>Cryptotermes</i> sp. yang digunakan sebagai sumber bakteri	43
Gambar 4.2 Koloni bakteri yang diisolasi dari saluran pencernaan rayap <i>Cryptotermes</i> sp.	45
Gambar 4.3 Zona bening bakteri selulolitik R7-3 pada medium CMC (Carboxymethylcellulose) 46	
Gambar 4.4 Kultur murni bakteri R7-3 pada medium NA (Dokumentasi Pribadi, 2019)	48
Gambar 4.5 Karakteristik koloni bakteri R7-3 (Dokumentasi Pribadi, 2019).....	48
Gambar 4.6 Kurva Tumbuh Isolat Bakteri <i>Pseudomonas Stutzeri</i>	51
Gambar 4.7 Grafik biomassa bakteri R7-3 selama proses fermentasi berlangsung	53
Gambar 4.8 Grafik aktivitas enzim selulase pada substrat CMC 1%.....	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar alat dan bahan penelitian.....	73
Lampiran 2 Protokol pembuatan reagen dan media	76
Lampiran 3 pengenceran cawan tuang bakteri dari saluran pencernaan rayap (<i>Cryptotermes</i> sp.)	80
Lampiran 4 Karakteristik biokimia bakteri R7-3.....	83
Lampiran 5 Kurva tumbuh bakteri R7-3	89
Lampiran 6 Kurva standar glukosa menggunakan pereaksi DNS (3,5- <i>dinitrosalicylic acid</i>)	90
Lampiran 7 Dokumentasi enzim selulase yang dihasilkan oleh bakteri R7-3 menggunakan reagen DNS	93
Lampiran 8 Biomassa bakteri R7-3 selama proses fermentasi.....	96
Lampiran 9 Pengukuran gula pereduksi dan aktivitas enzim selulase	99
Lampiran 10 Analisis statistik dengan <i>software</i> ibm spss 25 for windows.....	102

DAFTAR PUSTAKA

- Aavos International. (2017). *Lignocellulose*. [Online] Diakses dari: <https://aavos.eu/glossary/lignocellulose/>
- Alam, Moch Syaiful., Sarjono, Purbowatiningrum R & Aminin, Agustina L N. (2013). Isolasi dan Karakterisasi Selulase dari Bakteri Selulolitik Termofilik Kompos Pertanian Desa Bayat, Klaten, Jawa Tengah. *Jurnal Sains dan Matematika*. 21(2): 48-53
- Aghil, Ibrahim. (2014). *Enzim*. [Online]. Diakses dari : <http://www.ibrahimaghil.com/2014/03/enzim.html>
- Anand. Venison., Sankar., Prabhu., Vasana., Raghuraman., Geoffrey., & Vendan. (2009). Isolation and Characterization of Bacteria from the gut of *Bombyx Mori* that Degrade Cellulose, Xylan, Pectin and Starch and Their Impact on Digestion. *Journal of Insec Science*. 10(107): 1-20
- Angsana, Romsaiyud., Warinthorn, Songkasiri., Annop, Nopharatana & Pawinee, Chaiprasert. (2009). Combination Effect of pH and Acetate on Enzymatic Cellulose Hydrolysis. *Journal Environmental Sciences*. 21(7): 964-970
- Argo, Bambang Dwi., Hendrawan, Yusuf., Maharani, Dewi Maya., Putranto, Angky Wahyu & Winarsih, Sri. (2016). The Effect of Microwave NaOH Pretreatment and Hydrolysis Enzyme Using *Trichoderma reesei-Aspergillus niger* on Rice Straw Bioethanol Production. *Journal Advanced Science Engineering Information Technology*. 6(1): 20-26
- Aryal, Sagar. (2018). *Biochemical Test*. [Online] Diakses dari : <https://microbiologyinfo.com/category/biochemical-test/>.
- Aryani, Siska Winda. (2012). *Isolasi dan Karakterisasi Ekstrak Kasar Enzim Selulase dari Kapang Selulolitik *Mucor* sp B2*. [Skripsi]. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Azhary, H Surest & Dodi, Satriawan. (2010). Pembuatan Pulp dari Batang Roella dengan Proses Soda (Konsentrasi NaOH, Temperatur Pemasakan dan Lama Pemasakan). *Jurnal Teknik Kimia*. 17(3): 1-7
- Badan Pusat Statistik. (2015). *Produksi Padi Tahun 2015*. [Online] Diakses dari : <https://www.bps.go.id/pressrelease/2016/07/01/1272/produksi-padi-tahun-2015.html>

- Brune, A. (2014). Symbiotic Digestion of Lignocellulose in Termite Guts. *Journal Nat. Rev. Microbiol.* 12: 168-180
- Brenner, Don J., Krieg, Noel R & Staley, James T. (2005). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Second Edition Volume Two*. United States: Springer
- Breznak, J.A. (1982). Intestinal Mikrobiota of Termites and Other Xylophagous Insect. *Annual Review Microbiology.* 36: 323-343. doi: 10.1146/annurev.mi.36.100182.001543
- Brodey, C.L., Rainey, P.B., Teste, M., & Johnstone, K. (1991). Bacterial Blotch Disease of The Cultivated Mushroom is Caused by an Ion Channel Forming Lipodepsipeptide Toxin. *Journal Mol.Plant Microbe Interact.* 4:407-411
- Busto, M.D., Ortega, N & Perez-Matoes,M. (1995). Induction of β -glukosidase in fungal and soil bacterial cultures. *Journal Soil Biol Biochem.* 27: 949-954
- CABI. (2019). *Invasive Species Compendium*. [Online]. Diakses dari: <https://www.cabi.org/isc/?compid=5&dsid=16441&page=481&site=144>
- Cappuccino, James G & Natalie Sherman. (2014). *Microbiology: A Laboratory Manual-10th ed*. New York: Pearson
- Couto, Susana Rodriguez & Sanroman, Maria Angeles. (2006). Application of Solid-State Fermentation to Food Industry. *Journal of Food Engineering.* 76(3): 291-302
- Dale B.E & Moreira, M.J.A. (1982). Freeze Explosion Technique for Increasing Cellulose Hydrolysis. *Journal Biotechnol.Bioeng.* 12: 31-43
- Daulay, Lely Risnawaty. (2009). *Adhesi Penguat Serbuk Pulp Tandan Kosong Sawit Teresterifikasi Dengan Matriks Komposit Polietilena*. [Disertasi]. Universitas Sumatera Utara
- Departemen Pertanian. (1983). *Pedoman Bercocok Tanam Padi Palawija Sayur-Sayuran*. Jakarta: Departemen Pertanian Satuan Pengendali BIMAS
- Desi, Anggarawati. (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.
- Dinas Pertanian. (2018). *Potensi Jerami Padi Menjadi Kompos*. [Online]. Diakses dari: <https://bulelengkab.go.id/detail/artikel/potensi-jerami-padi-menjadi-kompos-14>

- Dwismar, Rina., Baharuddin, Maswati & H.S. Syamsidar. (2013). Isolasi dan Uji Aktivitas Enzim Selulase dari Bakteri Simbion Larva Kupu-Kupu Family: *Cossidae* Terhadap Variasi Lama Inkubasi. *Jurnal Kimia*. 76=85
- Ermawar, R.A., Yanto, D.H.Y., Fitria & Hermiati, E. (2006). Lignin Degradation Content in Rice Straw Pre-Treated by Whiterot Fungi. *Jurnal Widya Riset*. 9(3): 197-202
- Fallo, Gergonius., Sine, Yuni. (2016). Isolasi dan Uji Biokimia Bakteri Selulolitik Asal Saluran Pencernaan Rayap Pekerja (*Macrotermes* spp.). *Jurnal Pendidikan Biologi*. 1(2): 27-29
- Fardiaz, S. (1992). *Mikrobiologi Pangan I*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- Gabiatti, C., Vendruscolo, Franciolo., Piaia, Julio Caesar Zanchet & Rodrigues, Rafael C. (2006). Radial Growth Rate as a Tool for The Selection of Filamentous Fungi for Use in Bioremediation. *Journal Biology and Technology*. 47(5): 37-39
- Gandjar, Indrawati. (2006). *Mikrobiologi: Dasar dan Terapan*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia
- Gunam, I.B.W & Antara, N.S. (1999). Study on Sodium Hydroxide Treatment of Corn Stalk to Increase Its Cellulose Saccharification Encymatically by Using Culture Filtrate of *Trichoderma reesei*. *Journal Agriculture Technology*. 5(1): 34-38
- Gupta, Pratima., Samant, Kalpana & Sahu, Avinash. (2011). Isolation of Cellulose Bacteria and Determination of Their Cellulolytic Potential. *Journal International Microbiology*. 1 : 1-5. doi: [10.1155/2012/578925](https://doi.org/10.1155/2012/578925)
- Ghosh, T.K. (1987). *Measurement of Cellulase Activities*. India : Indian Institute of Technology
- Goyal, Varsha., Arpana Mittal,. Anish Kumari Bhuwal,. Gulab Singh,. Anita Yadav & Neeraj Kumar Aggarwal. (2014). Parametric Optimization of Cultural Conditions for Carboxymethyl Cellulase Production Using Pretreated Rice Straw by *Bacillus* sp. 313SI Under Stationary and Shaking Conditions. *Jurnal Biotechnology Reseach International*. 1-6
- Hadioetomo, Ratna Sri. (1990). *Microbiology Dasar Dalam Praktek* Jakarta : PT Gramedia

- Hankin, Lester & Sandra L. Anagnostakis. (1977). Solid Media Containing Carboxymethylcellulose to Detect Cx Cellulase Activity of Micro-organisms. *Journal of General Microbiology*. (98): 109-115
- Hamdiyati, Yanti & Kusnadi. (2018). *Petunjuk Praktikum Mikrobiologi*. Departemen Pendidikan Biologi Fakultas Pendidikan Matematika IPA. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Hames, P.D. & Hooper, N.M. (2000). *Biochemistry: The Instant Notes, Ed Ke-2*. Hongkong: Springer-Verlag
- Hasanah, Nur & Iwan Saskiawan. (2015). Aktivitas Selulase Isolat Jamur dari Limbah Media Tanam Jamur Merang. *Jurnal Prosedim Seminar Masyarakat Biodiv Indonesia*. 5: 1110-1115.
- Himmel, M E., (2008). *Biomass Recalcitrate; Deconstructing the Plant Cell Wall for Bioenergy*. Singapore: Blackwell Publishing
- Holtzapfle, M.T. (2003). *Hemicelluloses in Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Amerika: Academic Press
- Ibrahim, A.S.S & El-diwany, A.I. (2007). Isolation and Identification of New Cellulases Producing Thermophilic Bacteria From an Egyptian Hot Spring and Some Properties of The Crude Enzyme. *Journal Applied Sciences*. 1:473-478
- Ikhsan, Diyono., Yulianto, Mohamad Endy & Hartati, Indah. (2009). Pengembangan Bioreaktor Hidrolisis Enzimatis Untuk Produksi Bioethanol dari Biomassa Jerami Padi. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*. 7(1): 1-6
- Irawati, Rosyida. (2016). *Karakterisasi pH, Suhu dan Konsentrasi substrat Pada Enzim Selulase Kasar yang Diproduksi oleh Bacillus circulans*. [Skripsi]. Fakultas Sains dan Teknologi Uin Maulana Malik Ibrahim. Malang
- Jalaluddin, Samsul Rizal. (2005). Pembuatan Pulp dari Jerami Padi Dengan Menggunakan Natrium Hidroksida. *Jurnal Sistem Teknik Industri*. 6(5): 53-56
- Jayasekara, Sandhya & Ratnayake, Renuka. (2019). Microbial Cellulases: An Overview and Applications. *Journal Intechopen*. doi: 10.5772/intechopen.84531
- Jordan, Jason. (2009). Efficiency of Cellulase Enzyme Immobilized on Magnetic Nanoparticles. *Journal Nature Protocols*.

- 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*. 35(10): 941-946.
- Kirana, Pradita. (2012). *Pengaruh Konsentrasi dan Frekuensi Pemberian Pupuk Hayati Terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas Jamur Tiram (Pleurotus ostreatus)*. [Online] Diakses dari : [Http://Biologi.Fst.Unair.Ac.Id/WpContent/Uploads/2012/04/Jurnal-PraditaKirana.Pdf](http://Biologi.Fst.Unair.Ac.Id/WpContent/Uploads/2012/04/Jurnal-PraditaKirana.Pdf)
- Kemristekdikti. (2017). *Menristekdikti Resmikan Fasilitas Unit Produksi Enzim BPPT-PT Petrosida Gresik*. [Online]. Diakses dari: <https://www.ristekdikti.go.id/siaran-pers/menristekdikti-resmikan-fasilitas-unit-produksi-enzim-bppt-pt-petrosida-gresik/>
- Kodri. Argo, Bambang Dwi., Yulianingsih, Rini. (2013). Pemanfaatan Enzim Selulase dari *Trichoderma reseei* dan *Aspergillus Niger* sebagai Katalisator Hidrolisis Enzimatik Jerami Padi dengan *Pretreatment* Microwave. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*. 1(1): 36-43
- Krishna, K. (1961). A Generic Revision and Ohylogenetic Study of The Family Kalotermitidae (Isoptera). *Journal Bulletin of the American Museum of Natural History*. 122: 303-408
- Kulp, K. (1984). *Teknologi Pengolahan Jerami Sebagai Makanan Ternak*. Bandung : Yayasan Dian Grahita.
- Kumar, Satheesh., Bontha Rajasekhar Reddy., M.Subhosh Chandra & Yong-Lark Choi. (2009). Cellulolytic Enzymes Production from Submerged Fermentation of Different Substrates by Newly Isolated Bacillus spp. FME. *Jurnal Applied Biological Chemistry*. 52(1): 17-21.
- Kumneni, A., Permaul, K & Singh, S. (2005). Amylase Production in Solid-State Fermentation by the Thermophilic Fungus *Thermomyces lanuginosus*. *Journal Biosci Bioeng*. 100(2): 168-171
- Larasati, Mega Dinda. (2017). *Rayap: Habitat, Sebaran, Karakteristik dan Cara Membasmi*. [Online]. Diakses dari: <https://foresteract.com/rayap/>
- Lehninger, A.L., D.L. Nelson, & M.M Cox. (1993). *Principles of Biochemistry Second Edition*. New York.

- Lentner, M & T.Bishop. (1986). *Experimental Design and Analysis*. Blacksburg: Valey Book Company.
- Lizayana., Mudatsir & Iswandi. (2016). Densitas Bakteri Pada Limbah Cair Pasar Tradisional. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Biologi*. 1(1):95-106
- Lopes, L. (2006). *Oryza sativa*. [Online]. Diakses dari : <http://www.biorede.pt/page.asp?id=2151>
- Lynd. L.R., Weimer, P.J., Zyl, W.H., Pretorius, L.H. (2002). Microbial Cellulose Utilization, Fundamental and Biotechnology. *Journal Microbiol Molecul Bio*. 66: 506-577
- Manvspest. (2019). *Termite Life Cycle, Lifespan & All About Their Colony*. [Online]. Diakses dari: <https://manvspest.com/termite-life-cycle/>
- Martoharsono, Soeharsono. (1997). *Biokimia Jilid I*. Yogyakarta: UGM Press
- Mardina, Primata., Talalangi, Adelina I., Sitinjak, Jhon F & Rahriza, M. Reza. (2013). Pengaruh Proses Delignifikasi pada produksi Glukosa dari Tongkol Jagung dengan Hidrolisis Asam Encer. *Jurnal Konversi*. 2(2): 17-23
- Maurice, Navodita & Erdei, Laszlo. (2018). *Termite Gut Microbiome*. New York: Springer International Publishing
- Mergner, Rita., Janssen, Rainer., Rutz Dominik., Bari, Isabella de., Sissot, Fabio., Chiramonti, David., Giovannini, Arianna., Pescarolo, Stefania & Nistri, Renato. (2013). *Lignocellylosic Ethanol Process and Demonstration*. German: Biolyfe
- Meryandini, Anja., Mubarik, Nisa Rachmania & Sunarti, Titi Candra. (2009). Isolasi Bakteri Selulolitik dan Karakterisasi Enzimnya. *Jurnal Makara Sains*. 13(1): 33-38.
- Miyata, R., Noda, N & Tamaki, H. (2007). Influence of Feed Components on Symbiotic Bacterial Community Structure in The Gut of The Wood-Feeding Higher Termite *Nasutitermes takasagoensis*. *Journal Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 71: 1244-1251
- Mobarak, Taimur. (2010). Effect of Fiber Surface Modification of Sponge-gourd Fiber Reinforced Polylactic Acid Bio-composites. doi: 10.13140/RG.2.2.15665.63842
- Mulyadi, Moh., Wuryanti & Purbowatiningrum Ria S. (2013). Konsentrasi Hambat Minimum (KHM) Kadar Sampel Alang-Alang (*Imperata cylindrical*) dalam Etanol Melalui Metode Difusi Cakram. *Jurnal Chem Info*. 1(1): 35-42.

- Mulyani, N.S., Asy'ari, M & Prasetyoningsih, H. (2009). Penentuan Konsentrasi Optimum *Oat Spelt Xylan* Pada Produksi Xilanae dari *Aspergillus niger* dalam Media PDB. *Jurnal Kim.Sains.* 12(1): 6-8
- Nata, Iryanti Fatyasari, Jody Hartoto Prayogo & Toni Arianto. (2014). Produksi Bioetanol dari Alkali-Pretreatment Jerami Padi dengan Proses Simultaneous Sacharification and Fermentation (SSF). *Jurnal Konversi.* 3(1): 10-16
- Niswah, Lukluatun. (2014). Uji aktivitas Antibakteri Dari Ekstrak Buah Parijoto (*Medinilla speciosa* Blume) Menggunakan Metode Difusi Cakram. [Skripsi]. Jakarta : Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Ohkuma, M. (2008). Symbioses of Flagellates and Prokaryotes in The Gut of Lower Termites. *Journal Trends in Microbiology.* 16: 345-352
- Palleroni, N.J. (2010). The Pseudomonas Story. *Journal Environ. Microbiol.* 12:1377-1383
- Pandey, A., Soccol, C.R., Nigam, P., Soccol, V.T., Vandenberghe, L.P.S & Mohan, R. (2000). Biotechnological Potential of Agro-Industrial Resiues II: Cassava Bagasse. *Journal Bioresource Technol.* 74(1): 81-87
- 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.* 4(1): 1-6
- Pelczar, M.J. & Chan, E.C.S. (2005). *Dasar-Dasar Mikrobiologi 1*. Jakarta: UI Press
- Poedjaji, A. (2006). *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Pourramezan, Zahra., Hedayatkah, Abolghasem & Ghezlbash, Gholam Reza. (2012). Screening and Identification of Newly Isolated Cellulose-Degrading Bacteria From The Gut of Xylophagous Termite *Microcerotermes diversus* (Silvestri). *Journal in Microbiology.* 81(6): 796-802
- Razie, Fakhrur., Iswandi, Anas., Sutandi, Atang., Gunarto, Lukman & Sugiyanta. (2011). Aktivitas Enzim Selulase Mikroba yang Diisolasi dari Jerami Padi di Persawahan Pasang Surut di Kalimantan Selatan. *Jurnal Tanah Lingkungan.* 13(2): 43-48
- Radford, A Sazci & Erenler, K. (1986). Detection of Cellulolytic Fungi by Using Congo red as an Indicator: a Comparative Study with the Dinitrosalicylic Acid Reagent Method. *Journal of Applied Bacteriology.* 61: 559-562

- Rao, S.N.S., (1994). *Mikroba Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Edisi Kedua*. Jakarta: UI Press
- Reed, G. (1975). *Enzymes in Food Processing*. New York: Academic Press
- Reese, T. (1976). History of The Cellulase Program at the US Army Natick Development Centre. *Journal Biotechnol Bioeng Symp.* 6: 9-20
- Rudiansyah, D., Rahmawati & Rafdinal. (2017). Eksplorasi Bakteri Selulolitik dari Tanah Hutan Mangrove Peniti, Kecamatan Segedong, Kabupaten Mempawah. *Jurnal Protoniont.* 6(3): 255-262
- Rodwell, V.M. (1987). *Harper's Review of Biochemistry*. Jakarta: EGC Kedokteran.
- Rosyada, N. (2015). *Isolasi Bakteri Asam Laktat dengan Aktivitas Selulolitik pada Saluran Pencernaan Mentok (Cairina moshata)*. [Skripsi]. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Royal Society of Chemistry. (2004). *Enzymes*. [Online]. Diakses dari: <https://www.rsc.org/Education/Teachers/Resources/cfb/enzymes.htm>
- Sirisena, D.M & Manamendra, T.P. (1995). Isolation and Characterization of Cellulolytic Bacteria from Decomposing Rice Straw. *Journal Nat.Sci Country.* 23:25-30
- Sobotnik, Jan & Dahlsjo, Cecilia. (2017). *Isoptera. Czech Republic*: Elsevier
- Scheffrahn, Rudolf H & Krecek, Jan. (1999). Termites of the Genus *Cryptotermes* Banks (Isoptera: Kalotermitidae) From the West Indies. *Journal Insecta Mundi.* 13: 3-4
- Scharf, M.E., Tartar, A. (2008). Termite digestomes as sources for novel lignocellulases. *Journal Biofuels Bioprod Bioref.* 2: 540-552
- Shahid, Zeeshan Hussain., Muhammad Irfan., Muhammad Nadeem., Quratulain Syed., & Javed Iqbal Qazi. (2016). Production, Purification and Characterization of Carboxymethyl Cellulase from Novel Strain *Bacillus megaterium*. *Journal Environmental Progress and Sustainable Energy.* 1-9. doi: <https://doi.org/10.1002/ep.12398>.
- Shinde, V.S., Agrawal, T & Kotasthane, A.S. (2017). Molecular Characterization of Cellulolytic Bacteria Derived From Termite Gut and Optimization of Cellulase Production. *Journal Curr.Microbiol.App.Sci.* 6(10): 2474-2492

- Sholihati, Al Maratun., Baharuddin, Maswati & Santi, Santi. (2015). Produksi dan Uji Aktivitas Enzim Selulase dari Bakteri Bacillus Subtilis. *Jurnal Al Kimia*. 3(2): 78-90
- Sinaga, Roida Ervina. (2013). *Karakterisasi Enzim Selulase dan Aplikasinya Pada Substrat Limbah Pertanian*. [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Singh, Ajay Kumar., Abhas Kumar Maharana., Harison Masih & Yashab Kumar. (2012). Production, Optimization and Purification of Bacterial Cellulase by Solid State Bio-processing of Agro Biomass. *Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical*. 3(2): 977-989.
- Soerawidjaja, T.H., Amiruddin, Z.I.E. (2007). Mengantisipasi Pemanfaatan Bahan Lignoselulosa Untuk Pembuatan Bioetanol: Peluang dan Tantangan. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Diversifikasi Sumber Energi Untuk Mendukung Industri dan Sistem Kelistrikan Nasional*.
- Sonia, Nenu Maria., Kusnadi, Joni. (2015). Isolasi dan Karakterisasi Parsial Enzim Selulase dari Isolat Bakteri OS-16 Asal Padang Pasir Tengger-Bromo. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 3(4): 11-19
- Sreedevi, Sasidharan., Sajith Sreedharan & Sailas Benjamin. (2013). Cellulose Producing Bacteria from the Wood-Yards on Kallai River Bank. *Journal Advances in Microbiology*. (3): 326-332. doi: 10.4236/aim.2013.34046.
- Sudiyani, Y., Heru, R & Alawiyah, S. (2010). Pemanfaatan Biomassa Limbah Lignoselulosa Untuk Bioetanol Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan. *Jurnal Ecolab* 4(1): 1-54
- Sutarno, Rika Julfana., Zaharah, Titin Anita & Idiawati, Nora. (2013). Hidrolisis Enzimatik Sulosa dari Ampas Sagu Menggunakan Campuran Selulase dari *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger*. *Jurnal JKK*. 2(1): 52-57
- Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tankeshwar. (2016). *Nutrient Agar : Composition, Preparation and Uses*. [Online]. Diakses dari : <https://microbeonline.com/nutrient-agar-composition-preparation-uses/>
- Tarumingkeng, Rudolf .C. (2001). *Biologi dan Perilaku Rayap*. [Online]. Diakses dari: http://tumoutou.net/biologi_dan_perilaku_rayap.htm.
- Teacher, Bio. (2019). *Enzymes*. [Online] Diakses dari: <http://leavingbio.net/enzymes/>

- Trakulnaleamsai, S., Yuichi, H., Deevog, P., Noparatnaraporn, N., (2004). Phylogenetic Diversity of Bacterial Symbionts in The Guts of Wood-Feeding Termites. *Journal Kasetsart.* 38: 45-51
- Umaningrum, Dewi., Nurmasari, radna., Astuti, Maria Dewi., Mardhatillah., Mulyasuryani, Ani & Mardiana, Diah. (2018). Isolasi Selulosa dari Jerami Padi Menggunakan Variasi Konsentrasi Basa. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia.* 12(1): 25-33
- Upadhyaya, Subodh K., Manandhar, Anuroop., Mainali, Hemanta Mainali., Pokhrel, Anaya., Rijal, Anurag., Pradhan, Barun & Koirala, Bhabuk. (2012). Isolation and Characterization of Cellulolytic Bacteria from Gut of Termite. *Journal Rentech Symposium Compendium.* 1 : 14-18
- Volk, W.A & Wheeler, M.F. (1993). *Mikrobiologi Dasar.* Jakarta: Penerbit Erlangga
- Wahyuningsih, N & E. Zulaika. Perbandingan Pertumbuhan Bakteri Selulolitik Pada Media Nutrient Broth dan Carboxymethylcellulose. *Jurnal Sains dan Seni.* 7(2): 36-38
- Waluyo, I. (2004). *Mikrobiologi Umum.* Malang: UMM Press
- Winarno, F.G. (1992). *Enzim Pangan dan Gizi.* Jakarta: Gramedia Pustaka Utama