

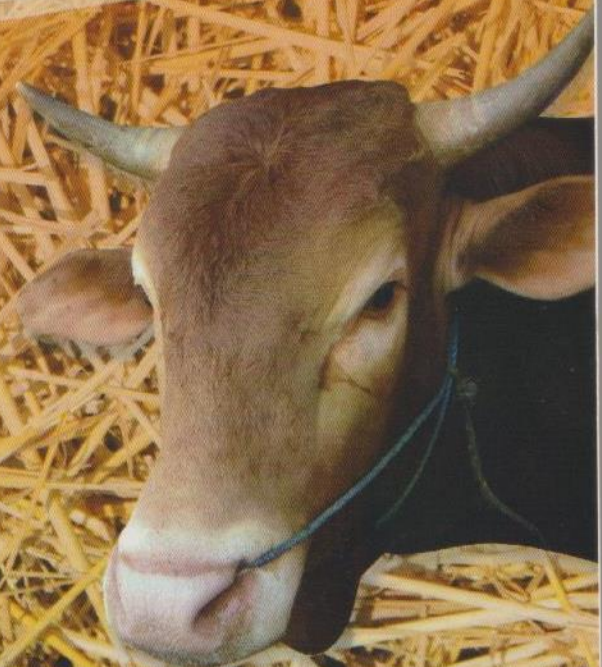


Peningkatan

**Mutu Limbah Berserat
Melalui Perlakuan Mikrobiologis**

untuk PAKAN TERNAK
RUMINANSIA

S.N.O. SUWANDYASTUTI
EFKA ARIS RIMBAWANTO
PRAYITNO
IWAN IRAWAN



TENTANG PENULIS



S.N.O. Suwandyastuti, lahir di Wonosobo pada tanggal 27 Februari 1948, adalah Guru Besar bidang Ilmu Nutrisi Ruminansia pada Fakultas Peternakan UNSOED. Penulis Lulus Sarjana Peternakan pada tahun 1978. Gelar Magister Sain (MS) diperoleh pada tahun 1982 dari Institut Pertanian Bogor dan meraih gelar Doktor (Dr) pada tahun 1987 dari perguruan tinggi yang sama. Pada tahun 1997 mendapat kesempatan Training On Academic Networking di Perancis, Jerman dan Belgia.

Karirnya di bidang pendidikan dimulai pada tahun 1971, sebagai Asisten Muda. Jabatan akademik Asisten Ahli Madya diperoleh pada tahun 1978, sedangkan sebagai Guru Besar pada tahun 2000. Sebagai dosen, penulis aktif melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Disamping mengajar dan membimbing mahasiswa, banyak penelitian baik bertaraf nasional maupun internasional yang sudah dilaksanakan. Kegiatan ilmiah lain yang tidak ditinggalkan, adalah sebagai pembicara dan narasumber pada berbagai seminar/simposium/workshop tingkat regional, nasional dan internasional.

Disamping sebagai dosen di Fakultas Peternakan UNSOED, penulis juga mengemban berbagai tugas tambahan, antara lain : Pembantu Dekan (1988-2001), Dekan (2000-2006) dan Pembantu Rektor II UNSOED (2006-2010).

Selain tugas-tugas tambahan tersebut, pernah bertugas sebagai Sekretaris Badan Koordinasi Kemahasiswaan (BKK) UNSOED dan Bendahara Sub Proyek Normalisasi Kehidupan Kampus (NKK) (1977-1980), Direktur Eksekutif dan Direktur Sub Proyek QUE PSPT (1999-2004), serta sebagai Staf Ahli Lembaga Penelitian UNSOED (1988-2001). Diluar lingkungan UNSOED pernah bertugas membantu Tim Penilai Angka Kredit Jabatan Dosen di Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Ditjen DIKTI) (1997-2007).

Selama perjalanan karir dan pengabdianya, penulis memperoleh berbagai penghargaan, antara lain dari Rektor UNSOED, sebagai Dosen Teladan I Fakultas Peternakan dan Dosen Teladan I Universitas (1987), Penghargaan ADITYA TRI DHARMA NUGRAHA dan Dosen Teladan I Tingkat Nasional dari Menteri Pendidikan Nasional (1987), serta Satya Lencana Karya Satya XXX dari Presiden RI (2003).



Efika Aris Rimbawanto. Lahir di Surakarta tahun 1961, adalah staf pengajar pada Fakultas Peternakan UNSOED. Meraih gelar Sarjana Peternakan dari Fakultas Peternakan UNSOED tahun 1986, Magister Pertanian dari Universitas Padjadjaran tahun 1997 dan saat ini sedang menempuh pendidikan Doktor dalam bidang Ilmu Peternakan di Universitas Gadjah Mada.

Menjabat sebagai Kepala Laboratorium Nutrisi dan Makanan Ternak di Fakultas Peternakan UNSOED tahun 2000-2003. Tahun 2008 mengikuti training Kemajuan Teknik dalam Evaluasi Pakan untuk Herbivora di Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada-The Maculay Institute dan tahun 2010 mengikuti training Nutrisi Ruminansia dan Fisiologi di Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada-The Maculay Institute. Selain mengajar di bidang Nutrisi Ruminansia dan Bioteknologi Pakan, juga peneliti di bidang teknologi dan bioteknologi untuk pakan ternak ruminansia.



Prayitno. Lahir di Magelang tahun 1960, adalah staf pengajar pada Fakultas Peternakan UNSOED. Meraih gelar Sarjana Peternakan dari Fakultas Peternakan UNSOED tahun 1985, Magister Bioteknologi pada Program Studi Bioteknologi, Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada tahun 1999. Gelar Doktor Bioteknologi diraih tahun 2013 pada Program Studi Bioteknologi, Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada.

Penulis pernah mengikuti pendidikan tambahan kursus singkat Rekayasa Genetika di Pusat Antar Universitas Bioteknologi Institut Teknologi Bandung tahun 1987, mengikuti magang penelitian Bioteknologi di Pusat Antar Universitas Bioteknologi Institut Teknologi Bandung tahun 1989. Mengikuti pendidikan tambahan Invitro Fertilization melalui program Sandwich di Monash Institute Medical Research, Monash University, Melbourne, Australia tahun 2009. Menjadi pembicara pada berbagai seminar nasional maupun internasional.



Iwan Irawan. Lahir di Surabaya tahun 1960, adalah staf pengajar pada Fakultas Peternakan UNSOED. Meraih gelar Sarjana Peternakan dari Fakultas Peternakan UNSOED tahun 1984. Melanjutkan studi dan memperoleh gelar Diploma dalam bidang Agricultural Livestock Industry di Queensland University, Australia tahun 1989. Pernah mengikuti kursus singkat Yeast Culture di Pusat Antar Universitas Bioteknologi

Universitas Gadjah Mada tahun 1992 dan Pelatihan Penerjemahan Buku Ajar tahun 1993. Memperoleh kesempatan mengikuti short course dalam bidang Environmental Economics di Macquarie University, Sydney, Australia tahun 1994. Menjabat Kepala Laboratorium Nutrisi dan Makanan Ternak di Fakultas Peternakan Universitas Jenderal Soedirman tahun 1994-1998.

**"PENINGKATAN MUTU LIMBAH BERSERAT
MELALUI PERLAKUAN MIKROBIOLOGIS
Untuk PAKAN TERNAK RUMINANSIA"**

**Oleh :
S.N.O. Suwandystuti,
Efika Aris Rimbawanto,
Prayitno,
Iwan Irawan.**

**Penerbit
Universitas Jenderal Soedirman
Purwokerto
©2013**

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan
Peningkatan Mutu Limbah Berserat Melalui Perlakuan Mikrobiologis Untuk
Pakan Ternak Ruminansia

© Universitas Jenderal Soedirman

Cetakan Pertama Tahun 2013
Hak Cipta dilindungi Undang-undang
All Right Reserved

Penulis : S.N.O. Suwandystuti,
Efika Aris Rimbawanto,
Prayitno,
Iwan Irawan.
Perancang Sampul : Tim UPT. Percetakan dan Penerbitan Unsoed
Penata Letak : Tim UPT. Percetakan dan Penerbitan Unsoed
Pracetak dan Produksi : Tim UPT. Percetakan dan Penerbitan Unsoed

Penerbit:



UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
Jalan Prof. Dr. H.R. Boenyamin 708 Purwokerto
Kode Pos 53122 Kotak Pos 115
Telepon 635292 (Hunting) 638337, 638795
Faksimile 631802
www.unsoed.ac.id

ISBN: 978-979-9204-85-1
xii + 130 hal, 15.5 cm x 23 cm

Dilarang keras memfotocopy atau memperbanyak sebagian atau
seluruh buku ini tanpa seijin tertulis dari penerbit.



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN**

Jl. Prof. dr. HR. Boenjamin 708 Kotak Pos 115 Purwokerto Kode Pos 53122

Telepon (0281) 635292 (Hunting), 638337, 638795 Faximile 631802

website : www.unsoed.ac.id

**KEPUTUSAN
REKTOR UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
NOMOR : KEPT. 692/UN23/PP.03.01/2013**

Tentang

**REVIEWER MONOGRAF
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN TAHUN 2013**

REKTOR UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN

- Menimbang** :
- a. bahwa dalam rangka meningkatkan kualitas buku/monograf yang disusun dosen di Universitas Jenderal Soedirman perlu ditunjuk reviewer ;
 - b. bahwa untuk maksud tersebut di atas, maka perlu diterbitkan Surat Keputusan Rektor.
- Mengingat** :
- 1. Undang-Undang Republik Indonesia :
 - a. Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional ;
 - b. Nomor 12 Tahun 2012 tanggal 10 Agustus 2012 tentang Pendidikan Tinggi ;
 - 2. Peraturan Pemerintah RI No. 17 Tahun 2010 tanggal 28 Januari 2010 jo. No. 66 Tahun 2010 tanggal 28 September 2010 tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan;
 - 3. Keputusan Presiden Republik Indonesia :
 - a. Nomor 195 Tahun 1963 jo. Keputusan Menteri PTIP No. 153 Tahun 1963 tentang Pendirian Universitas Jenderal Soedirman;
 - b. Nomor 18/M Tahun 2010 tanggal 5 Maret 2010 tentang Pengangkatan Rektor Universitas Jenderal Soedirman ;
 - 4. Peraturan Menteri Pendidikan Nasional RI. Nomor 25 Tahun 2009 tanggal 1 Juni 2009 tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Jenderal Soedirman ;
 - 5. Keputusan Rektor UNSOED Nomor Kept. 015/UN23/HK.00.01/2013 tanggal 3 Januari 2013 tentang Insentif Publikasi Ilmiah pada Seminar, Berkala Ilmiah dan Media Masa Serta Penulisan dan Penerbitan Buku Tahun 2013 ;

MEMUTUSKAN

- Menetapkan
Pertama : Menunjuk Saudara yang tercantum dalam kolom 4 dan 5 lampiran Surat Keputusan ini sebagai Reviewer Monograf Unsoed.
- Kedua : Reviewer bertanggungjawab terhadap isi dan bahasa buku /monograf.
- Ketiga : Di dalam melaksanakan tugasnya reviewer bertanggungjawab kepada Rektor Unsoed.
- Keempat : Semua biaya yang timbul akibat dikeluarkan Surat Keputusan ini dibebankan kepada Anggaran DIPA Tahun 2013 Universitas Jenderal Soedirman.
- Kelima : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di : Purwokerto

Pada tanggal : 10 Juli 2013

Rektor ,



Prof. Drs. Edy Yuwono, Ph.D.
NIP 19621208 1986011001

Tembusan Yth :

1. Para Pembantu Rektor UNSOED;
2. Para Dekan Fakultas UNSOED;
3. Para Kepala Biro Administrasi UNSOED;
4. Para Ketua Lembaga UNSOED;
5. Kepala Bagian UHTP Unsoed
6. Bendahara BLU Unsoed
7. Arsip

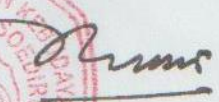
Lampiran : Surat Keputusan Rektor UNSOED
Nomor : Kept. 692/UN23/PP.03.01/2013
Tanggal : 10 Juli 2013

**DAFTAR PENULIS DAN REVIEWER MONOGRAF
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
TAHUN 2013**

No	Nama Penulis	Judul Buku	Nama Reviewer Isi Buku	Nama Reviewer Bahasa
1	2	3	4	5
1	Prof. Dr. Ir. S.N.O Suwandastyuti, MS Ir. Efka Aris Rimbawanto, MP Ir. Prayitno, M.Si Ir. Iwan Irawan, Dip.Agr.Sc	Peningkatan Mutu Limbah Berserat Melalui Perlakuan Mikrobiologis Untuk Pakan Ternak Ruminansia	Dr. Ir. Muhamad Bata, MS	Drs. Subandi, M.Pd

Rektor,




Prof. Drs. Edy Yuwono, Ph.D. *wh*
NIP 19621208 1986011001 *rip*

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas rahmat, hidayah, dan kehendakNya, penulis dapat menyajikan pemikiran dan hasil penelitian dalam bentuk buku yang sederhana. Buku yang berjudul **"Peningkatan Mutu Limbah Berserat melalui Perlakuan Mikrobiologis untuk Pakan Ternak Ruminansia"** ini, merupakan pengolahan, rangkuman beberapa hasil penelitian penulis, dengan sumber utama hasil penelitian Hibah Bersaing III tahap pertama sampai dengan tahap keempat.

Buku ini menyajikan tentang limbah berserat yang selama ini kurang bermanfaat dan nilai nutriennya rendah dapat diubah/dirombak menjadi bahan pakan yang bermutu dan bermanfaat bagi ternak, dengan perlakuan enzimatis dari mikroba selulolitik.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penulisan dan penerbitan buku ini. Kepada semua penyandang dana/sponsor penelitian, terima kasih atas bantuan dana.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna serta belum dapat memenuhi keinginan, kebutuhan, apalagi kepuasan pembaca. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan masukan, kritik, dan saran demi penyempurnaan buku ini. Penulis menyerahkan sepenuhnya penilaian atas isi, format, dan semua hal mengenai buku ini kepada pembaca.

Akhir kata, penulis berharap semoga karya sederhana ini dapat bermanfaat demi peningkatan pemahaman dan kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang Ilmu Nutrisi dan Makanan Ternak. Amin.

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Landasan Teori	1
1.2. Permasalahan	1
1.3. Metode Pemecahan Masalah	2
1.4. Temuan / Kebaruan	3
II. KARAKTERISTIK LIMBAH BERSERAT	5
III. KARAKTERISTIK ENZIM SELULOLITIK	11
3.1. Mekanisme Sintesis Enzim Selulase	16
3.2. Mekanisme Kerja Enzim Selulase	20
3.3. Faktor yang Mempengaruhi Aktivitas Enzim Selulase	23
3.4. Penghambatan ("Inhibition") Enzim Selulase	25
3.5. Sumber Selulase	26
IV. FERMENTASI LIMBAH BERSERAT DENGAN <i>Trichoderma sp.</i> dan <i>Aspergillus sp.</i>	27
4.1. Produk Gula Reduksi Hasil Fermentasi	27

	Halaman
4.2. Produk Gula Reduksi, Protein dan Selulosa Hasil Fermentasi	37
4.3. Aktivitas Selulase (CMC-ase)	54
4.4. Kandungan Asam Amino	66
4.5. Kandungan Energi dan Mineral	67
4.6. Peningkatan Protein dengan <i>Yeast</i>	68
4.7. Fermentasi dengan Kultur Campuran Kapang dan <i>Yeast</i>	76
V. PENGGUNAAN LIMBAH BERSERAT UNTUK PAKAN TERNAK SAPI	99
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	107
INDEKS	109
DAFTAR PUSTAKA	115

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Model pengendalian sintesis enzim selulase (Gong dan Tsao, 1979)	18
Gambar 2. Tahapan proses induksi-represi kerja enzim selulase (Gong dan Tsao, 1979)	20
Gambar 3. Tahapan kerja enzim C ¹ (Sagar, 1985; Wood, 1985)	21
Gambar 4. Model biodegradasi selulosa secara enzimatis (Dunlop dan Chiang, 1980)	22
Gambar 5. Tahapan hidrolisa selulosa secara enzimatis (Montenecourt dan Evelegh, 1979)	23
Gambar 6. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan produk gula reduksi pada substrat jerami padi (Suwandyastuti, 1995)	39
Gambar 7. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan protein biomassa sel pada substrat jerami padi (Suwandyastuti, 1995)	40
Gambar 8. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan penurunan selulosa pada substrat jerami padi (Suwandyastuti, 1995)	41
Gambar 9. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan produk gula reduksi pada substrat jerami padi (Suwandyastuti, 1995)	43

	Halaman
Gambar 10. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan protein biomassa pada substrat jerami padi (Suwandyastuti, 1995)	44
Gambar 11. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan penurunan selulosa pada substrat jerami padi (Suwandyastuti, 1995)	45
Gambar 12. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan produk gula reduksi pada substrat onggok (Suwandyastuti, 1995)	47
Gambar 13. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan protein biomassa sel pada substrat onggok (Suwandyastuti, 1995)	48
Gambar 14. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan penurunan selulosa pada substrat onggok (Suwandyastuti, 1995)	49
Gambar 15. Hubungan antara lama fermentasi (jerami padi dengan <i>T. viride</i> ; dedak padi dengan <i>A. niger</i> ; onggok dengan <i>A. luchuensis</i> dengan peningkatan protein biomassa sel (Suwandyastuti, 1996)	51
Gambar 16. Hubungan antara lama fermentasi (jerami padi dengan <i>T. viride</i> ; dedak padi dengan <i>A. niger</i> ; onggok dengan <i>A. luchuensis</i> dengan peningkatan gula reduksi (Suwandyastuti, 1996)	52
Gambar 17. Hubungan antara lama fermentasi (jerami padi dengan <i>T. viride</i> ; dedak padi dengan <i>A. niger</i> ; onggok dengan <i>A. luchuensis</i> dengan penurunan selulosa (Suwandyastuti, 1996)	53

	Halaman
Gambar 18. Hubungan lama fermentasi dari kapang terpilih dengan protein ekstraseluler (Suwandyastuti, 1996)	55
Gambar 19. Hubungan lama fermentasi dari kapang terpilih dengan produksi gula reduksi (Suwandyastuti, 1996)	56
Gambar 20. Hubungan lama fermentasi dari kapang terpilih dengan aktivitas selulase (CMC-ase) (Suwandyastuti, 1996)	57
Gambar 21. Hubungan lama fermentasi dengan peningkatan protein biomassa sel dari bahan terfermentasi (sesuai kondisi optimumnya) dengan kapang terpilih kemudian difermentasi lagi dengan <i>yeast</i> selama lima hari (Suwandyastuti, 1996)	70
Gambar 22. Hubungan lama fermentasi dengan penurunan gula reduksi dari bahan terfermentasi (sesuai kondisi optimumnya) dengan kapang terpilih kemudian difermentasi lagi dengan <i>yeast</i> selama lima hari (Suwandyastuti, 1996)	71
Gambar 23. Hubungan lama fermentasi dengan produksi gula reduksi (Suwandyastuti, 1996)	74
Gambar 24. Hubungan lama fermentasi dengan protein biomassa sel dari kontrol yang hanya difermentasi dengan <i>yeast</i> (Suwandyastuti, 1996)	75
Gambar 25. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan protein biomassa sel pada substrat steril (Suwandyastuti, <i>et al.</i> , 1996)	78

	Halaman
Gambar 26. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan gula reduksi pada substrat steril (Suwandyastuti, <i>et al.</i> , 1996)	79
Gambar 27. Hubungan lama fermentasi dengan gula reduksi dari kontrol (jerami padi, dedak padi dan onggok) tanpa diinokulasi dengan kapang maupun <i>yeast</i> (Suwandyastuti, <i>et al.</i> , 1996) ...	84
Gambar 28. Hubungan lama fermentasi dengan protein biomassa sel dari kontrol (jerami padi, dedak padi dan onggok) tanpa diinokulasi dengan kapang maupun <i>yeast</i> (Suwandyastuti, <i>et al.</i> , 1996)	85
Gambar 29. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan protein biomassa sel pada substrat tidak steril (Suwandyastuti, <i>et al.</i> , 1996)	89
Gambar 30. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan produk gula reduksi pada substrat tidak steril (Suwandyastuti, <i>et al.</i> , 1996)	90
Gambar 31. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan protein biomassa sel pada kombinasi substrat dedak padi dan onggok (Suwandyastuti, <i>et al.</i> , 1996)	95
Gambar 32. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan produk gula reduksi pada kombinasi substrat dedak padi dan onggok (Suwandyastuti, <i>et al.</i> , 1996)	96

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi Kimiawi Limbah Berserat (Jerami Padi, Dedak Padi dan Onggok)	7
Tabel 2. Aktivitas Komponen Selulase pada Substrat yang Berbeda	21
Tabel 3. Puncak Produk Gula Reduksi Hasil Fermentasi Onggok dengan <i>Trichoderma sp.</i> dan <i>Aspergillus sp.</i> pada Berbagai Variasi Suhu, pH dan Lama Fermentasi	28
Tabel 4. Puncak Produk Gula Reduksi Hasil Fermentasi Dedak Padi dengan <i>Trichoderma sp.</i> dan <i>Aspergillus sp.</i> pada Berbagai Variasi Suhu, pH dan Lama Fermentasi	30
Tabel 5. Puncak Produk Gula Reduksi Hasil Fermentasi Jerami Padi dengan <i>Trichoderma sp.</i> dan <i>Aspergillus sp.</i> pada Berbagai Variasi Suhu, pH dan Lama Fermentasi	32
Tabel 6. Puncak Produk Gula Reduksi Hasil Fermentasi Onggok, Dedak Padi dan Jerami Padi dengan <i>Trichoderma sp.</i> dan <i>Aspergillus sp.</i> ..	35
Tabel 7. Kondisi Optimum Kapang untuk Masing-masing Substrat (Jerami Padi, Onggok dan Dedak Padi)	50
Tabel 8. Aktivitas Selulase (CMC-ase) Kapang pada Kondisi Optimum	58

	Halaman
Tabel 9. Peningkatan Protein Substrat dengan Fermentasi <i>Yeast</i>	69
Tabel 10. Kombinasi Kapang dan <i>Yeast</i> Terpilih untuk Substrat Jerami Padi, Dedak Padi dan Onggok Tidak Steril	86
Tabel 11. Produk Fermentasi pada Berbagai Kombinasi Substrat Kapang dan <i>Yeast</i>	94
Tabel 12. Rataan Kecernaan Bahan Kering dan Protein Kasar Limbah Berserat Terfermentasi secara <i>in sacco</i> dan Kelaruran Protein dalam Pepsin Secara <i>in vitro</i>	100
Tabel 13. Nilai Rataan KBK, KBO, VFA dan N-NH ₃	102
Tabel 14. Komposisi Nutrien Substrat	103
Tabel 15. Nilai Rataan KsBK, KE, KP, NN, T-VFA, N-NH ₃ dan PBBH	106

I | PENDAHULUAN

1.1 Landasan Teori

Biomassa limbah tanaman pertanian maupun perkebunan seperti limbah kayu, bagase, dan limbah penggilingan, komponen utamanya adalah selulosa yang tersusun dari sepuluh sampai sepuluh ribu unit glukosa. Limbah ini memiliki potensi yang besar sebagai bahan makanan ternak apabila molekul glukosa penyusunnya dapat dipecah menjadi gula sederhana yang lebih mudah dicerna (Khan, *et al.*, 2006; Suwandystuti, *et al.*, 2012).

Faktor penghambat utama penggunaan limbah berserat adalah palatabilitas, pencernaan, kandungan karbohidrat fermentabel, dan nilai nutriennya rendah. Hal ini disebabkan rendahnya kandungan nitrogen, mineral, dan vitamin serta proses lignifikasi yang telah berjalan lanjut sehingga struktur selulosanya tidak lagi berbentuk amorf. Silikat yang ada di dinding sel merupakan inhibitor karena tidak dapat ditembus oleh enzim mikroba. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah pertanian harus mendapat perlakuan sebelum diberikan kepada ternak (Suwandystuti, 1986; Bergner, 1981; Suwandystuti, *et al.*, 2012).

1.2 Permasalahan

Banyak perlakuan sudah dicoba, baik secara fisik maupun kimia, dalam upaya meningkatkan nilai manfaat limbah pertanian.

Walaupun perlakuan fisik dan kimiawi berhasil meningkatkan koefisien cerna dan palatabilitas, tetapi tidak efisien dari segi biaya, juga cenderung menyebabkan pencemaran lingkungan (Hoover, 1986; Suwandystuti, *et al.*, 2010).

1.3 Metode Pemecahan Masalah

Perlakuan biologis dengan menggunakan mikroba diharapkan dapat merupakan teknologi alternatif untuk meningkatkan kualitas limbah pertanian, karena (1) relatif mudah diterapkan; (2) murah biayanya; (3) tidak menimbulkan pencemaran lingkungan; (4) melakukan percobaan *in sacco*, *in vitro* dan *in vivo*, untuk mengkaji hasil fermentasi jerami padi, dedak padi, dan onggok.

Secara umum, perlakuan biologis dapat meningkatkan nilai manfaat bahan limbah berserat, baik dari limbah hasil pertanian maupun limbah hasil penggilingan pabrik, menjadi sumber nutrisi yang bermanfaat untuk ternak ruminansia. Secara khusus, target perlakuan biologis adalah (1) meningkatkan kandungan protein jerami padi, onggok, dan dedak padi yang telah difermentasi dengan *Trichoderma* sp. dan atau *Aspergillus* sp. dengan *Candida utilis* dan atau *Sacharomyces cerevisiae*; (2) menentukan metode fermentasi yang paling baik dan efisien untuk substrat yang difermentasi, baik dengan kapang maupun yeast, sehingga dapat dipilih jenis kapang maupun yeast yang digunakan untuk meningkatkan kualitas energi dan protein substrat; (3) mendapatkan kombinasi optimal antara jerami padi, onggok, dan dedak padi yang sudah difermentasi ditinjau dari kualitas energi dan protein.

1.4 Temuan/Kebaruan

Mikroba selulolitik, baik *Trichoderma sp.* maupun *Aspergillus sp.*, tidak hanya mampu menurunkan kandungan serat kasar khususnya selulosa, tetapi juga mampu meningkatkan kadar gula reduksi, protein, dan asam amino limbah berserat.

Campuran *T. viride* - *S. cerevisiae* dapat meningkatkan gula reduksi jerami padi dari 0,38% menjadi 42,53% dan protein dari 4,90% menjadi 25,10%; campuran *A. niger* - *S. cerevisiae* meningkatkan protein dedak padi dari 6,31% menjadi 33,99%; *A. niger* - *C. utilis* meningkatkan gula reduksi dedak padi dari 0,29% menjadi 43,80%. Campuran *A. luchuensis* - *S. cerevisiae* meningkatkan protein ongkok dari 0,87% menjadi 27,68% dan gula reduksi dari 0,50% menjadi 27,71%.

Berdasarkan percobaan *in vivo* pada sapi jantan umur satu tahun, konsentrat bentuk "pellet" yang tersusun dari 30% jerami padi, 35% dedak padi dan 35% ongkok terfermentasi mampu menghasilkan pertambahan bobot badan harian (PBBH) $0,899 \pm 0,035$ kg, melebihi target (0,5 kg), tanpa ada gangguan faali pada sapi.

II | KARAKTERISTIK LIMBAH BERSERAT

Limbah berserat pada umumnya merupakan sisa budidaya tanaman pangan dan perkebunan, serta hasil samping atau limbah agroindustri, antara lain jerami padi, dedak padi, dan onggok. Bahan-bahan tersebut terbentuk dari komponen utama tumbuh-tumbuhan, yaitu lignoselulosa (Suharto, 2004; Yahromi *et al.*, 2010).

Lignoselulosa terutama terdiri atas lignin, selulosa, hemiselulosa, dan pektin, serta sedikit protein dan mineral. Selulosa merupakan polimer yang tersusun dari glukosa dengan struktur ikatan β 1-4 glukopiranosa. Hemiselulosa merupakan campuran glukosa dan manosa, dengan struktur ikatan yang sama dengan glukosa, yaitu β 1-4 glukosa-manosa. Pektin terdapat pada dinding sel, terbentuk dari komponen dasar galaktosa, dengan struktur ikatan α 1-4 galaktopiranuronat (Mc Manus, 1983; Suwandyastuti, 1986; Khan *et al.*, 2006; Bhat & Hazlewood, 2001; Suwandyastuti, 2012). Lignin terdapat bersama ketiga karbohidrat tersebut, tetapi tidak diketahui dengan tepat letaknya (Suwandyastuti, 1986; Suwandyastuti, 2012).

Ditinjau dari segi nutrisi, lignoselulosa terdiri atas 3 bagian, yaitu (1) lignin yang tidak dapat dicerna/dimanfaatkan oleh mikroba rumen; (2) sumber energi yang dapat dicerna dan dapat dimanfaatkan oleh mikroba rumen; (3) energi potensial tetapi sangat tahan terhadap degradasi/pencernaan mikroba rumen sehingga perlu perlakuan khusus untuk memecahnya (Waiss *et al.*, 1972; Willis *et al.*, 1980; Mc Manus, 1983; Hogan & Leche, 1983; Suwandyastuti, 1986).

Limbah pertanian terutama jerami padi, umumnya tersusun dari dinding sel, hemiselulosa, selulosa dan lignin, berturut-turut 78, 24, 39, dan 10 % bahan kering (Theader dan Aman, 1984). Monomer utama penyusun dinding sel adalah arabinopentosa, xylosa, hexosa, galaktosa, manosa, G-deksiheksosa, raminosa, fukosa, asam galaktoronat, asam glukoronat, phenolat dan asam asetat (Theoder, *et al.*, 1989). Masing-masing komponen tersebut dapat dikonvertasikan menjadi produk gula-gula sederhana yang mudah terfermentasi (Bungai, 1982), apabila sebelum digunakan diberi perlakuan baik secara fisik, kimia, maupun enzimatik (Bellomy, 1976; Caston dan Wilke, 1980; Crueger, 1984; Sarvar, *et al.*, 2004; dan Suwandyastuti, *et al.*, 2012).

Walaupun ada perbedaan dengan jerami padi, dedak padi dan onggok juga mengandung NDF (*Neutral Detergent Fibre*), ADF (*Acid Detergent Fibre*), selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang cukup tinggi. Selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimiawi Limbah Berserat (Jerami Padi, Dedak Padi dan Onggok)

Komposisi % BK	Jerami Padi	Dedak Padi ¹⁾	Onggok ¹⁾
BK	44,20 ³⁾	86,16	67,00
BD	73,40 ²⁾	93,08	97,88
PK	5,01 ³⁾	13,38	2,32
LK	0,73 ²⁾	4,71	0,37
SK	33,00 ³⁾	14,55	9,25
Abu	7,78 ³⁾	6,92	2,12
BETN	34,00 ²⁾	60,44	85,94
NDF	82,98 ³⁾	55,18	32,39
ADF	52,81 ³⁾	39,95	14,15
Selulosa	46,58 ³⁾	22,49	11,01
Hemiselulosa	30,17 ³⁾	13,51	18,38
Lignin	6,23 ³⁾	8,36	3,11
Silikat	18,50 ²⁾	9,10	0,83

Keterangan :

- BK = Bahan Kering;
 BO = Bahan Organik;
 PK = Protein Kasar;
 LK = Lemak Kasar;
 SK = Serat Kasar;
 BETN = Bahan Ekstrak Tanpa Nitrogen;
 NDF = Neutral Detergent Fibre;
 ADF = Acid Detergent Fibre

Sumber : ¹⁾ Rustomo dan Efka Aris (2010);
²⁾ Yahromi et al. (2010);
³⁾ Suwandiyastuti (1986)

Berbagai perlakuan fisik dan kimia telah dilakukan sebagai usaha untuk meningkatkan nilai dan manfaat limbah pertanian terutama jerami padi. Percobaan pada domba menunjukkan bahwa perlakuan fisik dengan penggilingan berhasil meningkatkan koefisien cerna dan produk fermentasi karbohidrat (asam lemak atsiri) dalam rumen (Willis, *et al.*, 1980). Penggilingan menyebabkan (1) pemecahan lapisan kulit (lignin dan silikat) sehingga mikroba rumen dapat langsung mencerna selulosa; (2) memperluas permukaan partikel bahan pakan sehingga frekuensi kontak antara enzim dengan partikel meningkat. Di lain pihak, penggilingan dapat mempercepat laju pergerakan digesta dalam rumen sehingga kesempatan mikroba rumen untuk melakukan fermentasi berkurang. Akibatnya, keefisienan penggunaan pakan secara keseluruhan menurun.

Dari berbagai percobaan, baik secara *invitro* maupun *invivo*, menunjukkan bahwa perlakuan kimia dengan hidrolisis asam, basa, maupun kombinasinya berhasil meningkatkan koefisien cerna jerami padi (Rexen dan Thomsen, 1976; Jackson, 1977; Combe, *et al.*, 1979; Willis, *et al.*, 1980). Pada umumnya, hidrolisis asam dilakukan dengan H₂SO₄ dan hidrolisis basa dengan NaOH. Walaupun perlakuan kimia ini berhasil meningkatkan koefisien cerna jerami padi dari 40% menjadi 70%, tetapi masih terdapat beberapa pembatas pada cara ini, antara lain (1) biaya terlalu tinggi karena mahal harga NaOH dan atau H₂SO₄; (2) memerlukan air dalam jumlah banyak dan menimbulkan pencemaran lingkungan; (3) produk yang dihasilkan sulit ditangani; (4) banyak nutrien yang

hilang dalam proses pencucian (Rexen dan Thomson, 1976; Jackson, 1977); (5) ditinjau dari segi faali, larutan basa menyebabkan peningkatan pH rumen dan tekanan osmotik rumen sehingga aktivitas mikroba rumen menurun (Rexen dan Thomsen, 1976; Combe, *et al.*, 1979).

Berdasarkan keterbatasan tersebut di atas, maka dilakukan usaha untuk menanggulangnya, yaitu dengan menggunakan larutan basa encer, antara lain dengan filtrat larutan abu sekam padi 10% dan larutan urea 6% dalam air, serta kombinasi keduanya (Manalu, 1981; Suwandyastuti, 1986; Suwandyastuti, 2010).

Percobaan pada pedet PFH jantan menunjukkan bahwa amoniasi dengan larutan urea 6% dalam air maupun dalam filtrat larutan abu sekam padi 10%, berhasil meningkatkan prestasi pertumbuhan dengan penambahan bobot badan sebesar 0.825 dan 1.05 kg/ekor/hari (Suwandyastuti, 1986; Suwandyastuti, 2004). Filtrat larutan abu sekam padi 10% dengan pH $\pm$ 8 tidak berpengaruh terhadap kondisi maupun fungsi rumen; tidak menimbulkan pencemaran lingkungan; murah dan mudah didapat. Perlakuan amonia dengan larutan urea 6% tidak meninggalkan sisa basa, bahkan dapat meningkatkan kadar nitrogen dan memperbaiki pencernaan. Di lain pihak, tingginya kadar kalium dalam filtrat larutan abu sekam padi dan tingginya produksi amonia karena larutan amonia dari urea menyebabkan timbulnya gangguan penyerapan magnesium dalam rumen sehingga semua ternak percobaan mengalami neraca magnesium yang negatif. Untuk mengatasi hal itu, perlakuan basa tersebut perlu disertai dengan

suplementasi magnesium sebesar $0.267 \pm 0.031\%$ BK ransum (Suwandyastuti, 1986; Suwandyastuti, 2004; Suwandyastuti, 2012).

Perlakuan biologis (enzimatis) untuk memecah ikatan β -glukan pada limbah berserat merupakan topik relatif baru dalam biokimia dan perkembangannya (Wiemer, 1985). Perlakuan secara biologis dengan mikroba lebih menguntungkan karena murah serta mudah penanganannya dan tidak menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan (Davis, 1971).

Hidrolisis selulosa memerlukan aktivitas selulolitik yang berbeda, yaitu ekso- β -1, 4-glukonase, endo- β -1, 4-glukonase, dan β -glukosidase. Ekso dan endo- β -1, 4-glukonase bekerja secara sinergistik dalam mendegradasi selulosa alami (Streamer *et al.*, 1975). Mekanisme degradasi selulosa alami dipengaruhi oleh enzim nonhidrolitik (disebut enzim C¹) yang kerjanya memecah ikatan hidrogen antarrantai selulosa (Reese, 1950), selanjutnya didegradasi oleh enzim hidrolitik yang disebut Cx (Mendel dan Reese, 1964). Kombinasi kerja enzim ekso dan endo glukonase dapat mendegradasi selulosa kristalin menjadi oligosakarida yang mudah larut terutama selobiosa (Peterson, 1975; Streamer, *et al.*, 1975; Wood, 1975; Wood dan McCray, 1975). Enzim selulosa kompleks yang bersifat ekstraseluler mampu mencerna lignoselulosa tanaman (Viestener, *et al.*, 1987), terutama enzim yang berasal dari fungi dan bakteri (Crueger, 1984).

III | KARAKTERISTIK ENZIM SELULOLITIK

Enzim selulosa ekstraseluler telah banyak digunakan secara komersial. Enzim ini disekresikan oleh bakteri *Celomonas* dan *Actinomycetes* fungi seperti *Trichoderma* (Crueger dan Crueger, 1984), *Aspergillus* (Bilgramy dan Verma, 1981). Enzim selulase kompleks terdiri atas tiga komponen, yaitu C^1 , Cx, dan glukosidase (Reese, 1975), dapat diproduksi oleh *Trichoderma* (Ohmine, *et al.*, 1983; McDonald, *et al.*, 1983; Saddler, *et al.*, 1982).

Sistem selulase pada *Trichoderma* terdiri atas tiga komponen, yaitu satu komponen ekso- β -1, 4-glukonase (Cx), dan dua komponen β -glukosidase (Cx) (Wood, 1972). Komponen enzim C^1 bekerja pada daerah selulosa kristalin dan diubah menjadi selulosa amorf dengan ikatan yang longgar, selanjutnya oleh komponen enzim Cx dihidrolis menjadi selobiosa dan glukosa dan β -glukosidase menghidrolisadrolisis selobiosa menjadi glukosa (Sagar, 1985).

Enzim selulase kompleks terdiri atas enzim β -glukan, yaitu 1,4- β -glukan glukonohidrolase (endoglukan), 1,4- β -glukan selobiohidrolase (eksoglukan) (Lillehoj, *et al.*, 1983), dan β -glukosidase (Ohmine, *et al.*, 1983). Enzim β -1,4-glukanase dari *Trichoderma viride* termasuk enzim selobiohidrolase (Berham dan Peterson, 1973).

Aspergillus mampu memproduksi bermacam-macam enzim (Bilgramy dan Verma, 1981), di antaranya selulase (Boyer dan Redmond, 1983); pektinase, amilase (Reed, 1975; Crueger dan Crueger, 1984); glukoamilase (Shiraishi, *et al.*, 1985; Lobarzewski dan Paszozynski, 1983); selobiose (Grous, *et al.*, 1984); hemiselulase seperti xylanase, arabinase, galaktanase, dan manase (Tavobilov, *et al.*, 1985); β -galaktosidase (Flaschel, *et al.*, 1982). Bilgramy dan Verma (1981) menyatakan bahwa *Aspergillus* juga memproduksi enzim-enzim α dan β -glukosidase, dektrinase, β -1,6 glukan hidrolase, invertase, β -1,4-xylanase dan pentosanase, dan enzim-enzim lainnya. *Candida utilis* memproduksi enzim amiloglukosidase dengan aktivitas yang kuat (Moulin, *et al.*, 1983).

Berdasarkan enzim selulase yang dihasilkan oleh *Trichoderma* dan *Aspergillus* dimungkinkan mampu tumbuh pada limbah pertanian seperti jerami padi maupun limbah hasil penggilingan pabrik seperti onggok dan dedak padi. Hal ini didukung oleh hasil penelitian terdahulu bahwa *Trichoderma* mampu menghidrolisa selulosa murni (Carboxymethylcellulose) (Ohmine, *et al.*, 1983), serat kapas, kertas saring, selubiosa (Lillehoj, 1983), tongkol jagung (McDonald, *et al.*, 1983), serbuk kayu (Saddler, *et al.*, 1982), dan serat kain (Sinitsyn, *et al.*, 1985) menjadi gula-gula reduksi dan derivatnya. Penggunaan *Aspergillus* umumnya baru sampai pengujian kinetika kemampuan memproduksi enzim seperti selobiosa (William, *et al.*, 1985); β -galaktosidase (Flaschel, *et al.*, 1982); dan selulase (Rodney dan Redmond, 1983).

Usaha meningkatkan pencernaan bahan pakan ternak ruminansia melalui fermentasi dengan mikroba tertentu merupakan upaya untuk meningkatkan pencernaan dinding sel tanaman (Gomez-Alarcon, *et al.*, 1991; Martin dan Nisbet, 1990; Dawson *et al.*, 1990; Williams, *et al.*, 1991). Enzim yang diproduksi oleh *Trichoderma* mampu menghasilkan gula sederhana dari selulosa (Mendel, 1975).

Substrat karbohidrat untuk memproduksi protein sel tunggal dapat menggunakan limbah pertanian atau hasil ikutannya. Substrat polisakarida (pati dan selulosa) seperti ketela pohon, limbah kayu, bagase, jerami, dan kulit gandum, apabila akan digunakan untuk memproduksi protein sel tunggal harus diberi perlakuan terlebih dahulu, baik secara kimia atau enzimatis menjadi produk gula-gula sederhana (Davis, 1973). *Aspergillus* mempunyai kemampuan merombak selulosa dari limbah berserat dan selanjutnya dapat digunakan untuk produksi protein sel tunggal (Miller dan Srinivisan, 1983).

Bahan selulosa yang difermentasi dengan fungi (*Trichoderma* atau *Aspergillus*) kemudian difermentasi lagi dengan *yeast* dapat meningkatkan kandungan protein (Viesteners, 1987) karena selama pertumbuhannya mikroorganisme dapat mensintesis protein yang berkualitas tinggi (Shaclady, 1975). Pada suhu 30°C dan aerob, *yeast* dapat memperbanyak diri (proliferasi) dengan baik dan dapat mensintesis vitamin B kompleks (Rose dan Peterson, 1970). Kemampuan *Candida utilis* menyerang berbagai senyawa karbon dan nitrogen lebih baik bila dibandingkan *yeast* lainnya,

sehingga *C. utilis* banyak digunakan untuk memodifikasi molases, hidrolisat kayu, dan limbah dari processing pangan menjadi protein sel tunggal (Davis, 1973). Di samping itu, *C. utilis* banyak digunakan untuk meningkatkan kandungan protein bahan pangan (Riche, *et al.*, 1964).

Produk *yeast* dimungkinkan untuk digunakan sebagai pakan ternak (Rose dan Horrison, 1970) karena setengah dari berat kering *yeast* adalah protein kasar yang terdiri atas 80% asam amino, 12% asam nukleat, dan 8% amonia (Frey, 1930; Vansoden dan Dirr, 1942; Horrison, 1986), sedangkan 7% dari total nitrogen pada *yeast* adalah asam amino bebas (Roine, 1946). Adanya kandungan asam amino lisin dari triptophan dalam protein *yeast* dapat digunakan untuk melengkapi asam amino pada bahan pakan sereal (Sure, 1948). Komposisi kimia *yeast C. utilis* mengandung protein 50% BK dengan pencernaan 70% lisin 8,4 g/16 g N dengan pencernaan (g/kg BK) 28,8; abu 9% BK dan ME (MJ/kg BK) 13,1 (Thomke, 1983).

Kandungan asam amino dalam *yeast S. cerevisiae* (g/16 g N) adalah lisin 8,2; valin 5,5; leusin 7,9; isoleusin 5,5; treonin 4,8; penialanin 4,5; triptopan 1,2; sistin 1,6; histidin 4,0; tiroksin 5,0; arginin 5,0, sedangkan *yeast C. utilis* mengandung asam amino (g/16 g N): lisin 6,7; valin 6,3; leusin 7,0; isoleusin 5,3; treonin 5,5; penialanin 4,3; triptopan 1,2; sistin 0,7; histidin 1,9; tiroksin 3,3; arginin 5,4 (Seeley, 1951 dan Willey, *et al.*, 1951).

Kandungan vitamin pada *S. cerevisiae* ($\mu\text{g/g}$) tiamin HCl 165; riboflavin 100; niasin 585; piridoksin HCl 20; d-pantotenat 100; biotin 160; kolin 2710; inositol 3000, sedangkan pada *C. utilis* ($\mu\text{g/g}$) tiamin HCl 30; folatin 21; d-pantotenat 40; biotin 11; kolin 2860; inositol 4500 (Seeley, 1951; Willey, *et al.*, 1951; Wasserman, 1961; Powel dan Robe, 1964).

Kandungan protein *A. niger* 26,4% dengan jumlah asam amino (g/100 g protein) adalah isoleusin 2,6; lisin 3,2; valin 1,9; leusin 3,9; treonin 2,1; penialanin 2,0; metionin dan sistin 0,6; histidin 4,0; tiroksin 1,9, sedangkan pada *A. oryzae* kandungan asam aminonya adalah isoleusin 4,8; lisin 3,2; valin 1,9; leusin 7,2; treonin 2,1; penialanin 2,0; metionin dan sistin 0,6 (Yaziciogen, 1983).

Kandungan asam nukleat dalam protein sel tunggal sekitar 15% (Wang, 1983), sehingga *Food and Drug Administration* (FDA) hanya merekomendasikan *S. cerevisiae*, *Kluyveromyces fragillus*, dan *C. utilis* yang dapat digunakan untuk kepentingan pangan dalam jumlah terbatas (Thomke, 1983). Berdasarkan sifat-sifat yang tidak mengganggu sistem pencernaan dan metabolisme pada hewan, maka protein sel tunggal sangat tepat untuk digunakan sebagai bahan penyusun pakan (Crueger dan Crueger, 1984) karena ternak ruminansia mampu menggunakan asam nukleat dalam jumlah yang tinggi (Wenk, 1983). Penggunaan 5-10% *yeast* dalam

pakan pedet, pertambahan bobot badannya sama dengan pedet yang diberi 15-20% bubuk susu skim dalam pakannya (Kirchgesner dan Roth, 1973), pencernaan bahan organik 70-80%, protein kasar 87%, dan lemak 92% (Schiemann, 1971).

3.1 Mekanisme Sintesis Enzim Selulase

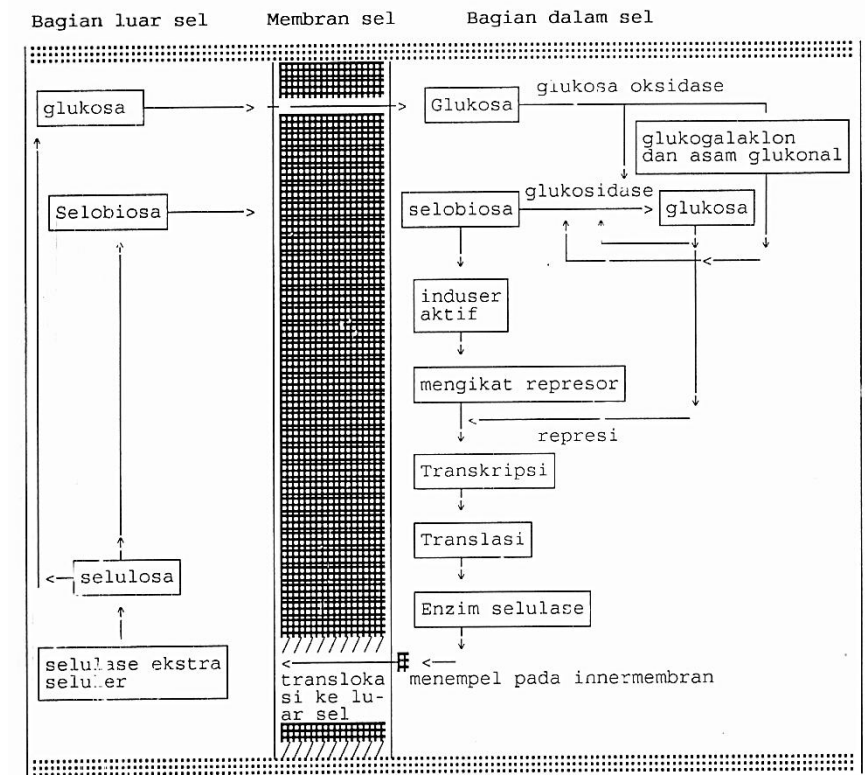
Proses sintesis enzim dapat dibedakan menjadi dua yaitu secara konstutif dan induktif. Enzim konstutif adalah enzim yang selalu diproduksi tanpa dipengaruhi oleh macam substrat, sedangkan enzim induktif adalah enzim yang hanya diproduksi bila dibutuhkan saja (Aunstrup, 1979).

Pada umumnya, enzim selulase yang diproduksi oleh kapang bersifat induktif sebagai respon adanya substrat yang ada di sekelilingnya. Enzim selulase tersebut diproduksi guna menghidrolisis selulosa menjadi gula-gula sederhana sehingga dapat digunakan sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan sel (Mendel, *et al.*, 1976; Gong dan Tsao, 1973).

Mekanisme sintesis enzim selulase pada kapang (fungi) dikendalikan secara induksi (aktivitas) dan represi serta adanya inhibisi umpan balik oleh produk (Wang, *et al.*, 1979). Enzim selulase yang diproduksi oleh kapang dapat diinduksi oleh selulose, selobiosa, sukrosa, dan laktosa (Mendel dan Reese, 1960; Sternberg dan Mendel, 1979; Enari, 1983).

Mekanisme induksi dan represi proses sintesis enzim selulase yang tertera pada Gambar 1 adalah sebagai berikut (Gong dan Tsao, 1979): dalam suasana alkalis, selulosa diubah menjadi fruktosa dan selobiosa. Melalui sistem transpor aktif biomembran, selobiosa dan glukosa ditranspor ke dalam sel yang selanjutnya berfungsi sebagai induser aktif untuk mengikat protein represor yang dapat merepresi sintesis enzim selulase. Protein represor terikat oleh selobiosa sehingga gen-gen untuk produksi enzim selulase dapat ditranskripsi dan ditranslasi menjadi protein enzim selulase. Setelah ada dalam sel, selobiosa dihidrolisis oleh glukosidase intraseluler menjadi glukosa sehingga di dalam sel terjadi akumulasi glukosa yang selanjutnya merepresi proses sintesis enzim selulase.

Jumlah enzim ekso dan endoselulase yang diproduksi oleh kapang kadang-kadang dikendalikan oleh gen-gen regulator yang sama pada fase translasi. Setelah ditranslasi, enzim selulase masih menempel pada membran bagian dalam, sedangkan sekresi diatur oleh mekanisme kerja enzim proteolitik intraseluler yang bekerja pada suasana asam. Pada pH rendah, enzim proteolitik akan bekerja aktif sehingga mempermudah translokasi enzim selulase untuk menembus membran sel. Namun, pada suhu yang tinggi enzim proteolitik tersebut tidak aktif sehingga proses translokasi enzim selulase ke luar sel menjadi terhambat.

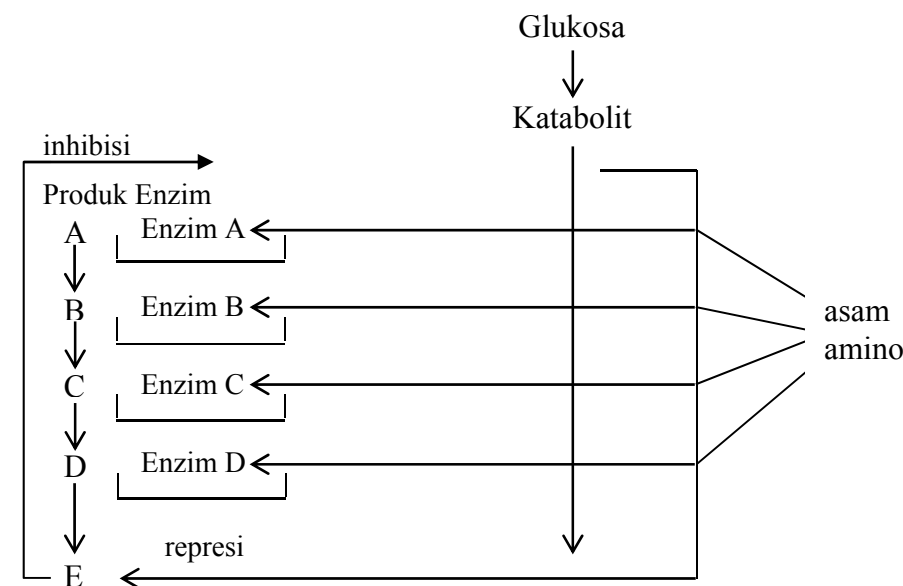


Gambar 1. Model pengendalian sintesis enzim selulase (Gong dan Tsao, 1979)

Setelah enzim selulase ditranslokasi ke luar sel, kemudian menyerang selulosa dan dihidrolisis menjadi glukosa dan selobiosa yang dihasilkan. Glukosa dan selobiosa tersebut selanjutnya ditranspor ke dalam sel yang kemudian digunakan sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan sel atau berperan dalam proses represi dan aktivasi proses sintesis enzim selulase dan glukosidase. Bila dalam sel terjadi akumulasi, maka aktivitas glikosida intraseluler menjadi terhambat sehingga selubiosa akan mengaktivasi sintesis enzim selulase.

Sebagai respons terhadap akumulasi glukosa di dalam sel, maka ada mikroba yang mampu mensintesis enzim glukosa oksidase guna mengoksidasi glukosa menjadi glukonolakton dan asam glukonat. Glukonat akan menghambat kerja enzim glukosidase intraseluler sehingga pemecahan selobiosa menjadi glukosa berkurang. Akibatnya, represi terhadap sintesis selulase juga berkurang.

Pengendalian umpan balik sistem selulase ada dua tipe (Gambar 2) yaitu inhibisi dan represi umpan balik. Pada inhibisi umpan balik, metabolik (produk) akhir dari tahapan reaksi enzimatik akan menghambat kerja enzim sebelumnya (biasanya terhadap enzim pertama), sedangkan represi umpan balik, terutama produk akhir, akan menghambat kerja enzim yang memecah substrat akhir (Gong dan Tsao, 1979).



Gambar 2. Tahapan proses induksi-represi kerja enzim selulase (Gong dan Tsao, 1979)

3.2 Mekanisme Kerja Enzim Selulase

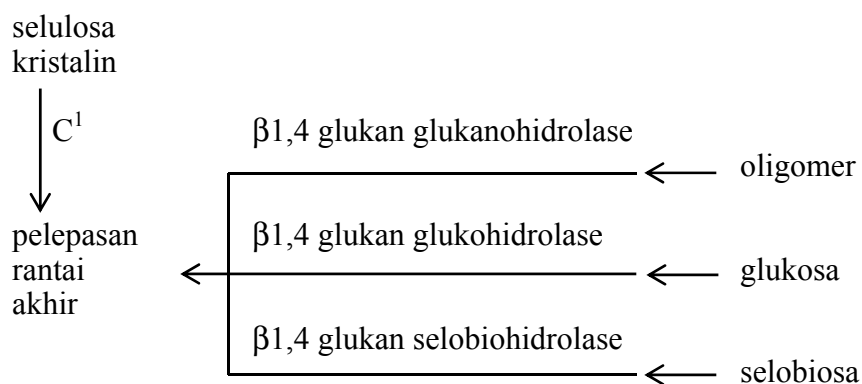
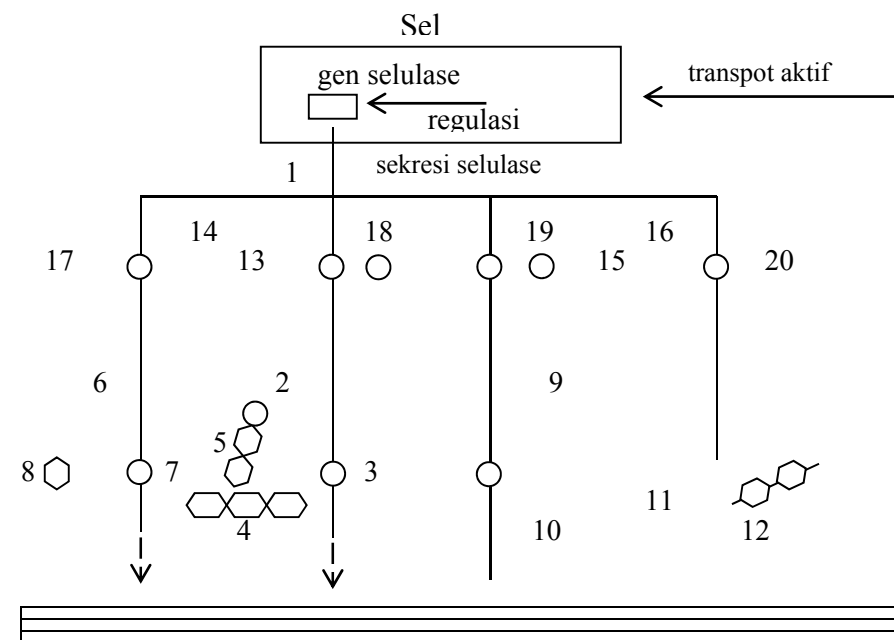
Menurut Reese (1975) enzim selulase kompleks terdiri atas tiga komponen, yaitu enzim C^1 , Cx, dan β -glukosidase. Enzim C^1 bekerja pada daerah selulose kristalin yang dirombak menjadi selulosa amorf dengan ikatan longgar. Enzim Cx (β -1,4-endo dan eksoglukonase) menghidrolisis selobiosa dan seloligosakarida yang berantai pendek (Wood, 1972; Sagar, 1985).

Kebanyakan enzim selulase ekstraseluler yang dihasilkan oleh kapang mempunyai aktivitas rendah pada selulosa kristalin, tetapi mampu menghidrolisis derivat selulosa seperti tertera pada Tabel 1 (Wood, 1985).

Tabel 2. Aktivitas Komponen Selulase pada Substrat yang Berbeda

Enzim	Selulosa kristalin	Selulosa Amorf	Ca-selulosa	Cello-oligosakarida	Selobiosa
Eksoglukonase	rendah	sangat aktif	-	aktif	-
Endoglukonase	-	sangat aktif	sangat aktif	aktif	-
β -glukosidase	-	-	-	aktif	aktif

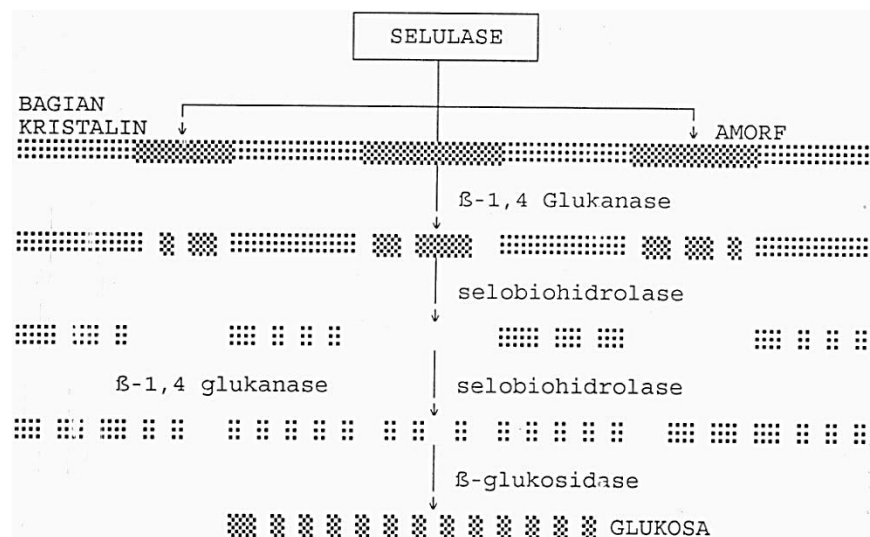
Ketiga komponen enzim selulase kompleks mampu mendegradasi serat kapas (selulosa murni), sedangkan enzim C¹ dan Cx bekerja secara sinergistik dalam mendegradasi selulosa kristalin (Sagar, 1985; Wood, 1985). Enzim C¹ pada awalnya memecah ikatan kovalen secara acak pada β -1,4 glukon yang ada pada molekul selulosa dari permukaan kristalin, atau merenggangkan molekul selulosa yang strukturnya tak beraturan.

Gambar 3. Tahapan kerja enzim C¹ (Sagar, 1985; Wood, 1985)

Gambar 4. Model biodegradasi selulosa secara enzimatik (Dunlop dan Chiang, 1980)

Keterangan :

1. Sekresi komponen enzim selulase keluar sel;
2. Endoglukanase berinteraksi pada permukaan selulosa amorf;
3. Adsorpsi selulosa pada sisi aktif endoglukanase membentuk kompleks;
4. Pelepasan oligosakarida berantai pendek;
5. Endoglukanase berinteraksi dengan oligosakarida berantai pendek dan eksoglukanase berinteraksi dengan oligosakarida berantai pendek pada ujung yang tidak mereduksi;
- 6-7. Eksoglukanase berinteraksi pada permukaan selulosa amorf, terbentuk kompleks pada ujung rantai yang tidak mereduksi;
8. Pelepasan glukosa pada daerah yang tidak mereduksi;
9. Difusi selobiohidrolase pada permukaan selulosa kristalin;
10. Adsorpsi selulosa pada sisi aktif selobiohidrolase dan membentuk kompleks;
11. Pelepasan selobiosa pada ujung rantai yang tidak mereduksi;
12. Glukosidase berinteraksi dengan selobiosa dan dipecah menjadi glukosa;
- 13-16. Deaktivikasi komponen selulosa;
- 17-20. Inhibisi komponen selulosa.



Gambar 5. Tahapan hidrolisa selulosa secara enzimatik (Montenecourt dan Evelegh, 1979).

3.3 Faktor yang Memengaruhi Aktivitas Enzim Selulase

Faktor yang memengaruhi kapang dalam mendegradasi substrat antara lain suhu, pH, substrat, dan waktu inkubasi. Pembentukan enzim ekstraseluler akan mencapai optimum apabila ditumbuhkan di bawah suhu optimum. Suhu optimum untuk pertumbuhan kapang 35°C sampai 37°C dan suhu optimum untuk pembentukan enzim ekstraseluler termasuk enzim selulase dari kapang antara 25°C sampai 28°C, sedangkan produksi optimum enzim selulase pada pH optimum berkisar 4,5 sampai 5,5 bergantung pada macam substrat dan tipe pengujiannya.

Enzim selulase yang diproduksi oleh *A. niger* dan *T. viride* mempunyai pH optimum 4,5 sampai 5,5 (Kulp, 1975), suhu

optimum 35°C sampai 37°C dengan suhu minimum untuk tumbuh 6°C sampai 8°C dan suhu maksimum untuk pertumbuhan 45°C sampai 47°C. Suhu optimum untuk kerja enzim selulase bervariasi, bergantung pada jenis mikroba (Mendel, *et al.*, 1976). Dari berbagai penelitian dilaporkan bahwa suhu pertumbuhan dapat mempengaruhi laju biosintesis enzim selulase. Untuk fungi termofilik, produksi selulase terjadi pada suhu 40°C (Coutts dan Smith, 1976).

Kapang *T. reesei* memerlukan suhu optimum untuk produksi selulase dan degradasi selulosa berkisar 24°C sampai 25°C. Akan tetapi, suhu optimum untuk pertumbuhan berkisar 30°C sampai 32°C (Mendel, *et al.*, 1975; Reese, 1972). Enzim β -glukosidase dari *A. niger* kurang sensitif terhadap inhibisi produk akhir bila dibandingkan dengan β -glukosidase dari *T. reesei* (Linko, 1983).

Selain faktor pH dan suhu inkubasi, pertumbuhan mikroba membutuhkan nutrisi untuk sintesis komponen sel dan menghasilkan energi. Sebagai sumber energi untuk menghasilkan ATP dibutuhkan karbohidrat dan atau protein. Selain itu, mikroba juga membutuhkan beberapa faktor untuk pertumbuhannya, yaitu (1) asam amino sebagai bagian dari protein; (2) purin dan pirimidin sebagai bagian dari asam nukleat; (3) vitamin sebagai grup prostetik dari enzim. Kebutuhan nutrisi untuk kapang sangat bervariasi bergantung pada substrat yang digunakan, terutama unsur C, O, N, H, P, dan S, unsur-unsur mikro seperti K, Ca, Mg, Cl, Fe, Mn, Co, Cu, Zn, dan Mo (Cooney, 1981).

Waktu inkubasi yang diperlukan untuk pertumbuhan kapang sangat bervariasi bergantung pada kondisi optimum (suhu, pH, dan substrat). Umumnya, pertumbuhan kapang dimulai dari spora atau fragmen miselium sampai membentuk spora kembali, baik secara seksual maupun aseksual. Variasi ini disebabkan selama pertumbuhannya akan merombak senyawa organik sederhana sampai senyawa kompleks. Enzim ekstraseluler pada umumnya diproduksi oleh kapang dalam waktu sampai 50 jam.

3.4 Penghambatan ("Inhibition") Enzim Selulase

Aktivitas selulase biasanya dihambat oleh tingginya konsentrasi produk hidrolisisnya :

- (1) Selobiohidrolase (Cellobiohydrolase, CBHs) dihambat oleh selobiosa;
- (2) Endoglukanase oleh selobiosa ≥ 100 mM;
- (3) Glukosa sampai 100 mM tidak terlalu menghambat CBHs dan endoglukanase (Bhat and Hazlewood, 2001);
- (4) Sebaliknya β -glukosidase dihambat oleh glukosa dan mono atau disakarida yang lain;
- (5) "Nojirimycin" dan glukonolakton merupakan penghambat β -glukosidase yang potensial (Bhat *et al.*, 1993).

3.5 Sumber Selulase

Selulase diproduksi oleh bakteri dan fungi, baik aerob, anaerob, mesofil, termofil, dan ekstremofil (Bhat & Hazlewood, 2001).

- (1) Bakteri dan fungi aerob pada umumnya menghasilkan selulase dan hemiselulase ekstraseluler.
- (2) Bakteri dan fungi anaerob menghasilkan selulase dalam bentuk multi-enzim kompleks.

Bakteri : *Clostridium thermocellum*, *Ruminococcus albus*, *R. flavefacilis*, *Fibrobacter saccinogenese*, *Acetivibrio cellulolyticus*

Fungi : *Neocallimastix frontalis*, *N. patriciarum*

- (3) Fungi termofilik, fungi mesofilik anaerob, bakteri mesofilik dan termofilik anaerob, serta actinomycetes dapat memproduksi selulase dan hemiselulase beraktivitas tinggi.
- (4) Mikroorganisme hifertemofilik (85-110°C), dapat menghasilkan selulolitik dan hemiselulolitik yang stabil.

IV FERMENTASI LIMBAH BERSERAT DENGAN *Trichoderma sp.* dan *Aspergillus sp.*

4.1 Produk Gula Reduksi Hasil Fermentasi

1) Kondisi optimum fermentasi onggok dengan tujuh spesies kapang

Tabel 3 berikut menunjukkan puncak gula reduksi hasil fermentasi onggok dengan tujuh spesies kapang (*Trichoderma sp.* dan *Aspergillus sp.*) pada berbagai variasi suhu, pH, dan lama fermentasi.

Pada Tabel 2 dapat dilihat adanya berbagai kondisi optimum (suhu, pH, dan lama inkubasi) untuk tujuh spesies kapang pada substrat onggok. Ditinjau dari produk gula reduksi tertinggi, maka fermentasi onggok terbaik berturut-turut dengan *T. viride*, *T. reesei*, *A. luchuensis*, dan *A. aculeatus* pada suhu ruang, masing-masing dengan pH 4,5; 5,5; 6,0 dan 4,5 selama 11, 10, 6, dan 11 hari. *A. niger* dan *A. oryzae* pada suhu 30°C dengan pH 5,0 selama 11 hari, serta *A. terreus* pada suhu 30°C dengan pH 4,5 selama tujuh hari.

Dari ketujuh spesies kapang yang dicoba untuk fermentasi onggok, *T. viride*, *T. reesei*, *A. lucuensis* dan *A. aculeatus* lebih aktif bekerja pada suhu ruang, sedangkan *A. niger* dan *A. oryzae* aktif pada suhu 35°C dan *A. terreus* aktif pada suhu 30°C.

Tabel 3. Puncak Produk Gula Reduksi Hasil Fermentasi Onggok dengan *Trichoderma sp.* dan *Aspergillus sp.* pada Berbagai Variasi Suhu, pH, dan Lama Fermentasi

Spesies Kapang	Kondisi Fermentasi			Gula Reduksi (mg/g sampel)
	Suhu (°C)	pH	Hari ke	
<i>T. viride</i>	Ruang	4,5	11	30,117
	30	6,0	5	14,387
	35	5,0	11	13,402
	40	6,0	6	12,035
<i>T. reesei</i>	Ruang	5,5	7	37,268
	30	6,0	7	5,470
	35	5,0	12	20,681
	40	6,0	10	12,573
<i>A. niger</i>	Ruang	5,0	6	15,989
	30	6,0	7	32,909
	35	4,5	12	41,577
	40	6,0	7	32,554
<i>A. oryzae</i>	Ruang	5,0	6	15,990
	30	5,0	10	10,312
	35	5,0	11	36,607
	40	5,5	10	34,218
<i>A. luchuensis</i>	Ruang	5,5	6	39,553
	30	4,5	7	25,177
	35	5,5	10	13,126
	40	5,0	10	32,118
<i>A. aculeatus</i>	Ruang	4,5	11	30,117
	30	4,5	7	28,055
	35	6,0	12	19,304
	40	6,0	10	6,757
<i>A. terreus</i>	Ruang	6,0	6	14,376
	30	4,5	7	29,759
	35	6,0	2	5,903
	40	5,0	4	0,852

Sumber : Suwandastyuti, *et al.*, 1995

Secara umum semua kapang tersebut dapat bekerja aktif pada kisaran pH 4,5 sampai 6,0 dengan lama fermentasi 6 sampai 12 hari. Hal ini terjadi karena setiap spesies kapang mempunyai kondisi optimum untuk pertumbuhan serta aktivitas biologis yang berbeda-beda.

Diduga pada suhu dan pH optimum merupakan kondisi yang digunakan untuk mensintesis protein enzim dan aktivitas hidrolitiknya sehingga polisakarida yang terkandung di dalam onggok dapat dipecah menjadi monosakarida untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Pada pH dan suhu di atas atau di bawah kondisi optimum, aktivitas biologisnya dapat terganggu terutama proses sintesis enzim serta kestabilan enzim yang diproduksi berkurang sehingga kemampuan untuk memecah substrat juga berkurang. Akibatnya, produk akhir yang dihasilkan juga akan semakin sedikit. Lama fermentasi yang berbeda-beda disebabkan kemampuan masing-masing spesies kapang untuk beradaptasi dengan suatu substrat tidak sama. Spesies kapang yang lebih mudah beradaptasi akan mampu merombak substrat menjadi produk dengan lebih cepat.

2) Kondisi optimum fermentasi dedak padi dengan tujuh spesies kapang

Puncak produk gula reduksi hasil fermentasi dedak padi dengan tujuh spesies kapang pada berbagai variasi suhu, pH, dan lama fermentasi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Puncak Produk Gula Reduksi Hasil Fermentasi Dedak Padi dengan *Trichoderma sp.* dan *Aspergillus sp.* pada Berbagai Variasi Suhu, pH, dan Lama Fermentasi

Spesies Kapang	Kondisi Fermentasi			Gula Reduksi (mg/g sampel)
	Suhu (°C)	pH	Hari ke	
<i>T. viride</i>	Ruang	5,0	2	5,668
	30	4,5	7	6,655
	35	5,0	7	10,441
	40	6,0	1	9,438
<i>T. reesei</i>	Ruang	4,5	3	2,045
	30	5,5	1	4,073
	35	6,0	5	8,755
	40	4,5	3	9,054
<i>A. niger</i>	Ruang	5,0	2	12,052
	30	5,0	1	4,123
	35	6,0	6	16,600
	40	4,5	7	7,880
<i>A. oryzae</i>	Ruang	5,0	2	12,052
	30	6,0	7	4,129
	35	5,0	7	9,003
	40	5,0	2	14,129
<i>A. luchuensis</i>	Ruang	4,5	1	4,950
	30	5,0	5	5,177
	35	5,0	2	15,182
	40	5,5	7	12,770
<i>A. aculeatus</i>	Ruang	4,5	5	13,004
	30	5,0	3	4,063
	35	5,0	2	15,253
	40	5,5	7	12,769
<i>A. terreus</i>	Ruang	4,5	2	8,014
	30	4,5	3	3,810
	35	6,0	4	10,505
	40	5,5	3	8,279

Sumber : Suwandiyastuti, *et al.*, 1995

Tabel 4 menunjukkan bahwa fermentasi dedak padi dengan menggunakan dua spesies *Trichoderma sp.* dan lima spesies *Aspergillus sp.* menghasilkan puncak produk gula reduksi yang berbeda-beda bergantung pada variasi suhu dan pH yang digunakan. Ditinjau dari hasil gula reduksi tertinggi, *T. viride*, *A. niger*, *A. aculeatus* dan *A. terreus* cenderung aktif pada suhu 35°C dengan pH berturut-turut 5,0; 6,0; 5,0 dan 6,0, sedangkan *T. reesei* dan *A. oryzae* aktif pada suhu 40°C dengan pH 4,5 dan 5,0, dan *A. luchuensis* pada suhu 30°C dengan pH 4,5.

Fakta ini menggambarkan bahwa meskipun ditumbuhkan dalam media yang sama, namun untuk mencapai puncak produk gula reduksi memerlukan suhu, pH dan lama inkubasi yang berbeda. Diduga hal ini ada kaitannya dengan proses sintesis, aktivitas, serta sifat enzim yang berbeda.

3) Kondisi optimum fermentasi jerami padi dengan tujuh spesies kapang

Berdasarkan produk gula reduksi tertinggi, fermentasi jerami padi dengan tujuh spesies kapang selama 12 hari pada berbagai variasi suhu, dan pH disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Puncak Produk Gula Reduksi Hasil Fermentasi Jerami Padi dengan *Trichoderma sp.* dan *Aspergillus sp.* pada Berbagai Variasi Suhu, pH, dan Lama Fermentasi

Spesies Kapang	Kondisi Fermentasi			Gula Reduksi (mg/g sampel)
	Suhu (°C)	pH	Hari ke	
<i>T. viride</i>	Ruang	4,5	1	3,591
	30	4,5	2	11,685
	35	5,0	1	4,562
	40	4,0	1	5,356
<i>T. reesei</i>	Ruang	4,5	3	2,045
	30	5,5	1	5,470
	35	5,0	3	5,501
	40	5,0	1	6,238
<i>A. niger</i>	Ruang	5,5	1	3,675
	30	4,5	1	7,012
	35	5,0	2	4,653
	40	5,0	1	6,238
<i>A. oryzae</i>	Ruang	5,0	4	8,434
	30	6,0	1	8,712
	35	5,0	3	5,879
	40	6,0	2	5,023
<i>A. luchuensis</i>	Ruang	5,5	6	1,961
	30	6,0	3	2,490
	35	4,5	4	7,252
	40	4,5	9	7,741
<i>A. aculeatus</i>	Ruang	4,5	4	3,189
	30	5,5	2	7,260
	35	4,5	1	4,352
	40	5,0	1	2,939
<i>A. terreus</i>	Ruang	4,5	1	5,404
	30	5,0	12	3,169
	35	5,5	3	2,111
	40	5,5	9	5,442

Sumber : Suwandystuti, *et al.*, 1995

Tabel 5 menunjukkan bahwa fermentasi jerami padi menggunakan dua spesies *Trichoderma sp.* dan lima spesies *Aspergillus sp.* diperoleh kondisi suhu, pH, dan lama inkubasi yang berbeda. Produk gula reduksi tertinggi pada kondisi optimum fermentasi jerami padi berturut-turut untuk *T. viride*, *A. oryzae* dan *A. aculeatus* adalah pada suhu 30°C dengan pH 4,5, 6,0, dan 5,5, untuk *T. reesei*, *A. luchuensis* dan *A. terreus* terjadi pada suhu ruang dengan pH 5,0, 4,5, dan 5,5, sedangkan *A. niger* kondisi optimumnya pada suhu 35°C dengan pH 5,0. Lama inkubasi untuk mencapai gula reduksi tertinggi pada umumnya terjadi pada hari pertama sampai kedua fermentasi, namun untuk *A. luchuensis* dan *A. niger* terjadi pada hari kesembilan.

Berdasarkan perbedaan kondisi optimum untuk fermentasi onggok, dedak padi, dan jerami padi (Tabel 3, 4 dan 5) ternyata masing-masing spesies kapang mempunyai karakteristik spesifik terhadap suhu, pH, dan lama inkubasi. Hal ini diduga berkaitan erat dengan sifat alami setiap mikroba yang cenderung melakukan aktivitasnya pada kondisi lingkungan yang sesuai. Pada kondisi tersebut, proses sintesis dan aktivitas enzim lebih baik dibandingkan pada kondisi lainnya. Fenomena tersebut berkaitan erat dengan karakteristik spesies kapang pada umumnya yang bersifat *inducible*, yaitu proses sintesis enzim (terutama yang bersifat selulolitik) bergantung pada kompleksnya polimer sakarida yang harus didegradasi. Oleh karena itu, di antara ketujuh spesies

kapang yang dicoba untuk fermentasi onggok, dedak padi dan jerami padi mempunyai kemampuan untuk mendegradasi polisakarida kompleks menjadi gula reduksi sederhana yang relatif berbeda. Kemungkinan lain adalah gula-gula sederhana yang terbentuk menjadi penghambat (bersifat inhibitor) aktivitas enzim selulolitik yang diproduksi oleh kapang sehingga proses serta laju degradasi polisakarida menjadi gula serta derivatnya terganggu. Akibatnya, substrat yang kandungan selulosanya tinggi (seperti jerami), produk gula reduksi yang dihasilkannya lebih rendah daripada substrat yang lebih banyak mengandung polisakarida sederhana (mudah terdegradasi) seperti pada onggol dan dedak padi.

Secara ringkas, rangkuman hasil pemilihan spesies berdasarkan produk gula reduksi tertinggi disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Puncak Produk Gula Reduksi Hasil Fermentasi Onggok, Dedak Padi dan Jerami Padi dengan *Trichoderma sp.* dan *Aspergillus sp.*

Spesies Kapang	Kondisi Fermentasi			Gula Reduksi (mg/g sampel)
	Suhu (°C)	pH	Hari ke	
<i>T. viride</i>	1 Ruang	4,5	11	30,117
	2 35	5,0	7	10,441
	3 30	4,5	2	11,605
<i>T. reesei</i>	1 Ruang	5,5	10	37,268
	2 40	4,5	3	9,054
	3 40	5,0	1	6,238
<i>A. niger</i>	1 35	4,5	12	41,557
	2 35	6,0	6	16,600
	3 35	5,0	2	7,653
<i>A. oryzae</i>	1 35	5,0	6	39,552
	2 40	5,0	2	5,177
	3 30	6,0	1	7,741
<i>A. luchuensis</i>	1 Ruang	5,5	6	39,552
	2 30	5,0	5	5,177
	3 40	4,5	9	7,740
<i>A. aculeatus</i>	1 30	4,5	7	28,055
	2 35	5,0	2	15,252
	3 30	5,5	2	7,259
<i>A. terreus</i>	1 30	4,5	7	29,758
	2 35	6,0	4	10,505
	3 40	5,5	9	5,442

Keterangan : 1 = onggok; 2 = dedak padi; 3 = jerami padi

Sumber : Suwandiyastuti, *et al.*, 1995

Berdasarkan Tabel 6 dapat ditetapkan sebagai berikut.

- 1). Untuk onggok dipilih *A. terreus* pada suhu 30°C, pH 4,5 dengan lama inkubasi tujuh hari. Hal ini karena suhunya mendekati suhu ruang dan pH 4,5 sama dengan pH onggok.
- 2). Untuk dedak padi dipilih *A. aculeatus* pada suhu 35°C dengan pH 5,0 dan lama inkubasi dua hari. Walaupun suhu fermentasi harus diatur pada suhu 35°C, tetapi pH yang dibutuhkan sama dengan pH dedak padi serta mampu menghasilkan gula reduksi tinggi.

Ditinjau dari peningkatan gula reduksi dari produk asalnya, untuk jerami padi ada dua alternatif pilihan, yaitu (1) *T. viride* yang menghasilkan peningkatan 8 kali produk asalnya pada suhu 30°C, pH 4,5, dan lama inkubasi 2 hari; (2) *A. terreus* dengan peningkatan 7,7 kali produk asalnya pada suhu 40°C dengan pH 5,5 yang mendekati pH jerami padi (pH 6,0) dan lama inkubasi 9 hari.

Berdasarkan produk gula reduksi tertinggi yang dihasilkan (Percobaan Tahap I), dapat diambil kesimpulan sementara sebagai berikut.

- (1) Penggunaan spesies *Trichoderma sp.* dan *Aspergillus sp.* untuk fermentasi onggok, dedak padi, dan jerami padi memerlukan kondisi pH, suhu, dan lama inkubasi yang berbeda-beda.
- (2) Kemampuan memecah polisakarida menjadi gula-gula sederhana secara kuantitatif antara substrat onggok, dedak padi, dan jerami padi untuk tiap spesies relatif berbeda.

- (3) Di antara ketujuh spesies kapang yang relatif baik untuk fermentasi onggok dan dedak padi adalah *Aspergillus niger* L-23, sedangkan pada jerami padi adalah *Trichoderma viride*.
- (4) Ditinjau untuk keperluan praktis dan mudah diaplikasikan menurut kondisi optimumnya, maka yang terbaik adalah *A. terreus* untuk substrat onggok, *A. aculeatus* untuk dedak padi, dan *T. viride* atau *A. terreus* untuk jerami padi.

4.2 Produk Gula Reduksi, Protein dan Selulosa Hasil Fermentasi

Kondisi optimum fermentasi jerami padi dengan 2 spesies *Trichoderma sp.* dan 5 spesies *Aspergillus sp.* masing-masing mempunyai kisaran suhu optimum 30°C sampai dengan 40°C, pH 4,5 sampai 6,0, dan lama inkubasi selama 2 sampai 9 hari. Pada kondisi tersebut, kemampuan masing-masing kapang untuk meningkatkan gula reduksi dan protein serta penurunan selulosa jerami padi cukup beragam (Gambar 6, 7, dan 8).

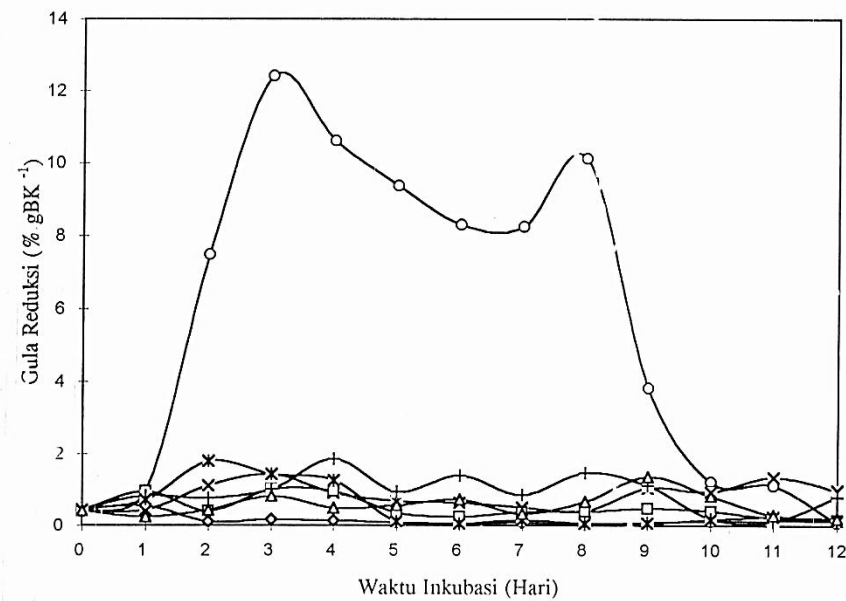
Puncak produksi reduksi tertinggi dihasilkan oleh *Trichoderma viride* pada suhu 30°C dengan waktu inkubasi selama 3 hari. Pada kondisi tersebut, gula reduksi meningkat dari 0,38% menjadi 12,42% BK (Tabel 2). Kandungan protein meningkat dari 4,90% menjadi 16,57% BK serta selulosa turun dari 31,11% menjadi 11,56% BK (Tabel 2.).

Peningkatan gula reduksi tertinggi terjadi antara hari kesatu sampai dengan hari ketiga inkubasi dengan rata-rata peningkatan 46,1%. Protein tertinggi terjadi pada inkubasi hari duabelas

(20,83% BK), namun peningkatan tertinggi dicapai pada hari kesatu sampai dengan hari ketiga inkubasi dengan rata-rata peningkatan 23,48% (Gambar 7). Kadar selulosa terendah terjadi pada inkubasi hari ketiga (10,95% BK) dengan penurunan selulosa tertinggi (8,54%), terjadi antara inkubasi hari kesatu sampai dengan hari kedua.

Puncak gula reduksi, peningkatan protein, dan penurunan selulosa dari hasil fermentasi jerami padi dengan enam spesies kapang lainnya lebih kecil bila dibandingkan dengan *Trichoderma viride*. Rata-rata peningkatan gula reduksi 1% sampai dengan 2,8% dan protein 5% sampai dengan 13% (Gambar 6, 7, dan 8). *T. viride* merupakan fungi mesofilik aerob penghasil selulase sehingga lebih efektif memecah selulosa dibandingkan yang lain (*T. reesei*, *A. niger*, *A. oryzae*, *A. luchuensis*, *A. aculeatus* maupun *A. terreus*) (Bhat & Hazlewood, 2001).

JERAMI PADI

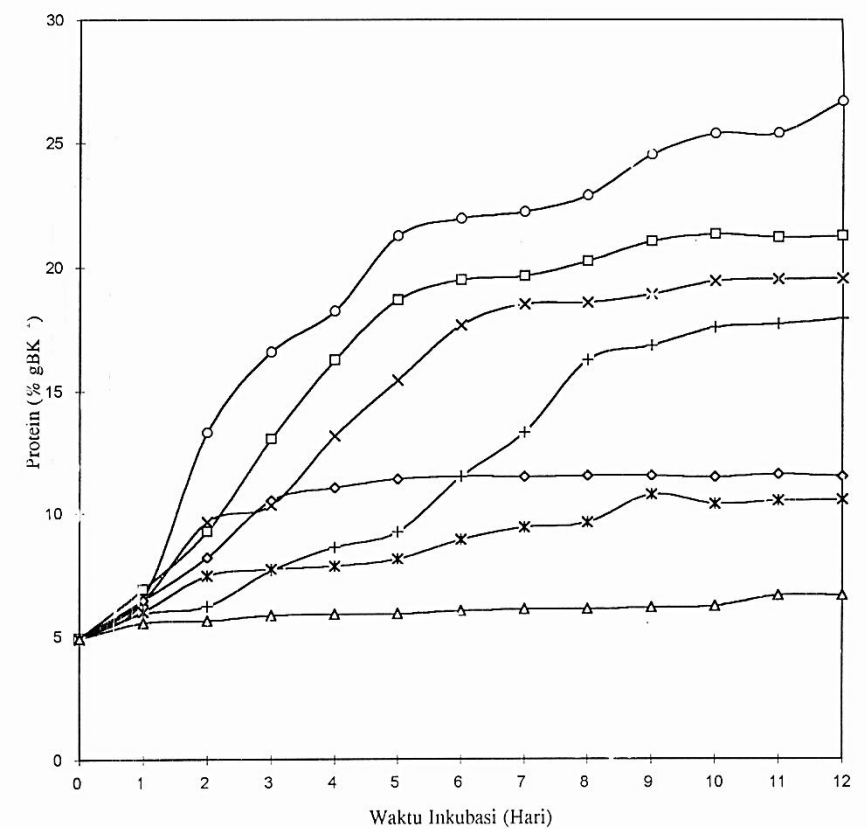


Keterangan :

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| —○— = <i>T. viride</i> | —x— = <i>T. reesei</i> |
| —□— = <i>A. niger</i> | —◇— = <i>A. oryzae</i> |
| —I— = <i>A. luchuensis</i> | —*— = <i>A. aculeatus</i> |
| —△— = <i>A. terreus</i> | |

Gambar 6. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan produk gula reduksi pada substrat jerami padi yang difermentasi dengan berbagai jenis kapang (Suwandiyastuti, *et al.*, 1995).

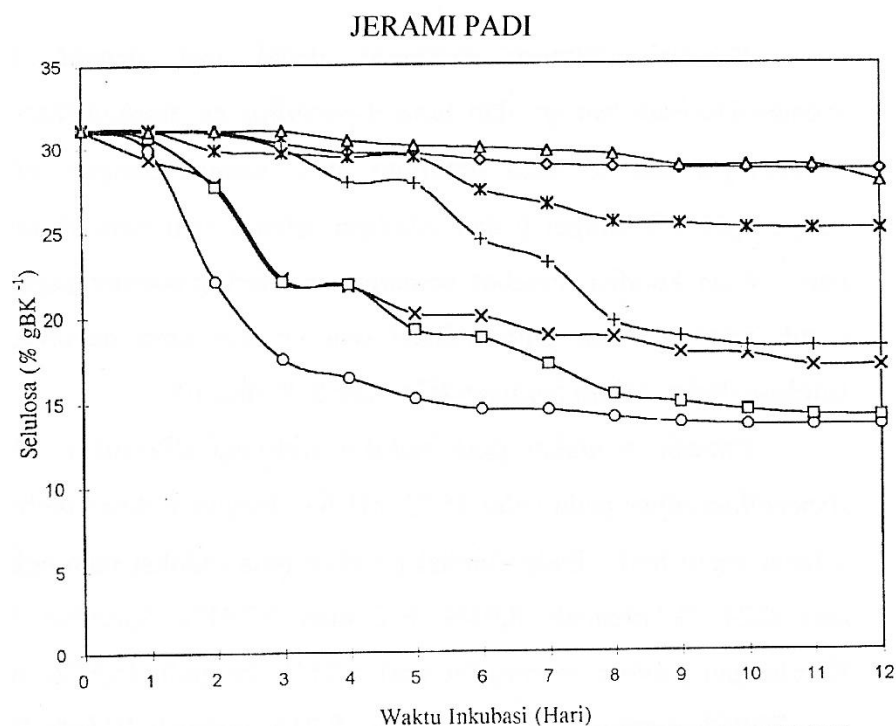
JERAMI PADI



Keterangan :

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| —○— = <i>T. viride</i> | —x— = <i>T. reesei</i> |
| —□— = <i>A. niger</i> | —◇— = <i>A. oryzae</i> |
| —I— = <i>A. luchuensis</i> | —*— = <i>A. aculeatus</i> |
| —△— = <i>A. terreus</i> | |

Gambar 7. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan protein biomassa sel pada substrat jerami padi (Suwandiyastuti, *et al.*, 1995).



Keterangan :

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| —o— = <i>T. viride</i> | —x— = <i>T. reesei</i> |
| —□— = <i>A. niger</i> | —◇— = <i>A. oryzae</i> |
| —I— = <i>A. luchuensis</i> | —*— = <i>A. aculeatus</i> |
| —△— = <i>A. terreus</i> | |

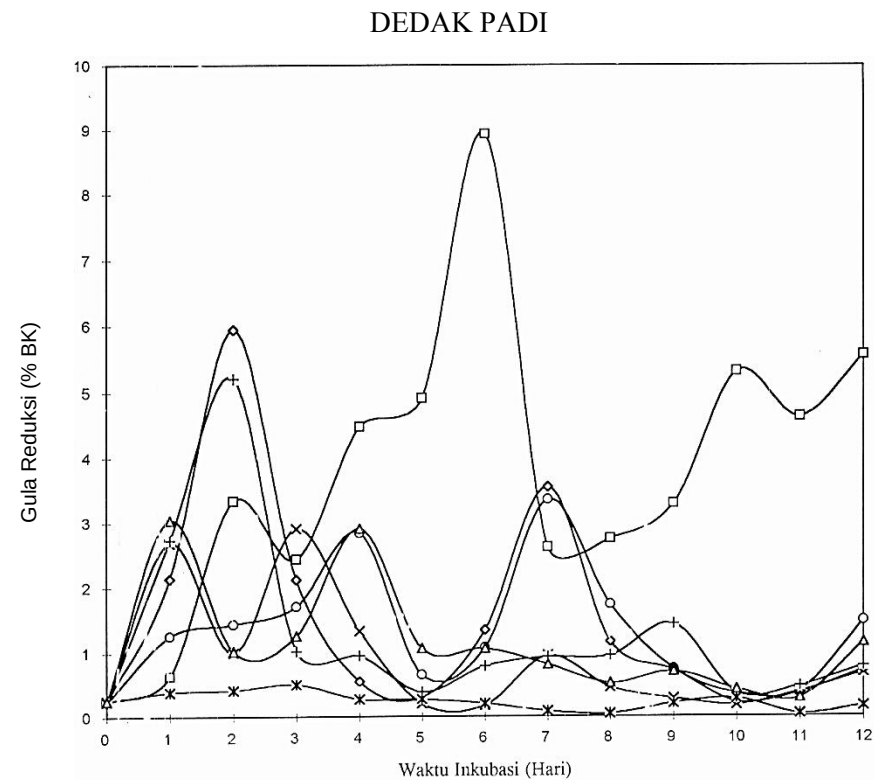
Gambar 8. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan penurunan selulosa pada substrat jerami padi (Suwandiyastuti, *et al.*, 1995).

Kondisi optimum fermentasi dedak padi dengan 2 spesies *Trichoderma sp.* dan 5 spesies *Aspergillus sp.* masing-masing mempunyai kisaran suhu optimum 30°C sampai dengan 40°C dengan pH 4,5 sampai 6 dan inkubasi selama 1 sampai 7 hari. Pada

kondisi tersebut, kemampuan masing-masing kapang untuk meningkatkan gula reduksi dan protein serta penurunan selulosa dedak cukup beragam (Gambar 9, 10, dan 11).

Puncak produksi gula reduksi tertinggi dihasilkan oleh *Aspergillus niger* pada suhu 35°C, pH 6,0 dengan waktu inkubasi selama enam hari. Pada kondisi tersebut, gula reduksi meningkat dari 0,24 % menjadi 8,93% BK atau 97,31% (Gambar 9). Kandungan protein meningkat dari 6,31% menjadi 25,51% BK atau 75,26% serta selulosa turun dari 18,21% menjadi 10,56% BK atau terjadi penurunan 43,56% (Gambar 10). Protein tertinggi terjadi pada inkubasi hari kedua belas (20,83% BK), namun peningkatan tertinggi dicapai pada hari ketiga sampai dengan hari keenam inkubasi, dengan rata-rata peningkatan 12,48%. Kadar selulosa terendah terjadi pada inkubasi hari kedua belas (10,95% BK) dengan penurunan selulosa tertinggi terjadi antara inkubasi hari ketiga sampai dengan hari keenam dengan rata-rata penurunan 10,86% (Gambar 11).

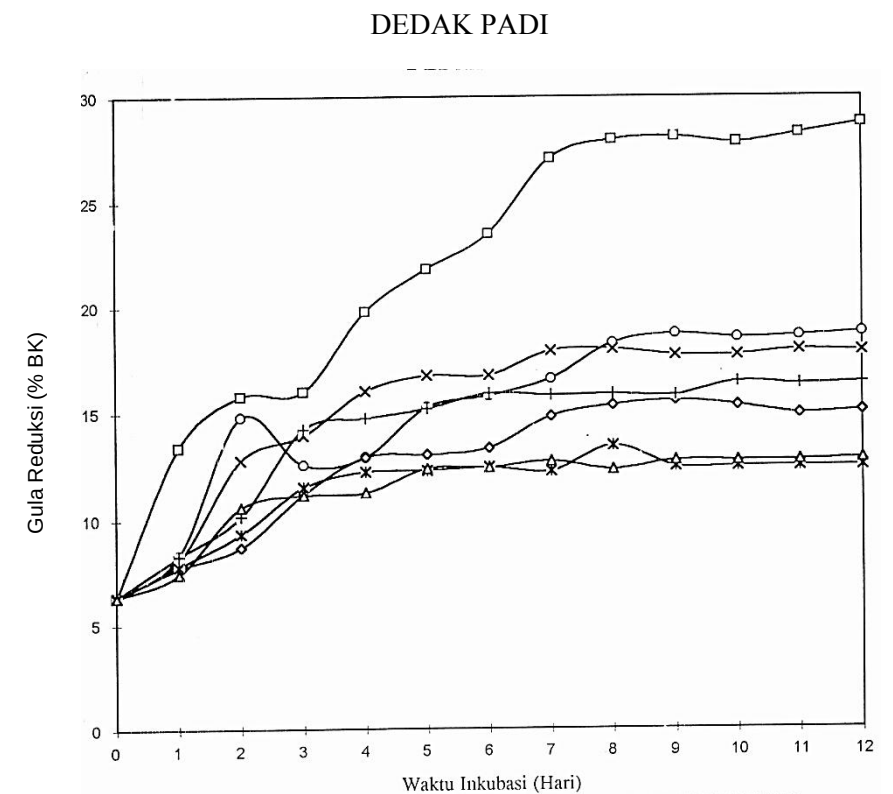
Puncak gula reduksi, peningkatan protein, dan penurunan selulosa dari hasil fermentasi dedak padi dengan 6 spesies kapang lainnya lebih kecil bila dibandingkan dengan *Aspergillus niger*. Rata-rata peningkatan gula reduksinya 0,5% sampai dengan 6% BK, protein 13% sampai dengan 20% BK, dan penurunan selulosanya 17% sampai dengan 13% BK.



Keterangan :

—○— = <i>T. viride</i>	—x— = <i>T. reesei</i>
—□— = <i>A. niger</i>	—◇— = <i>A. oryzae</i>
—+— = <i>A. luchuensis</i>	—*— = <i>A. aculeatus</i>
—△— = <i>A. terreus</i>	

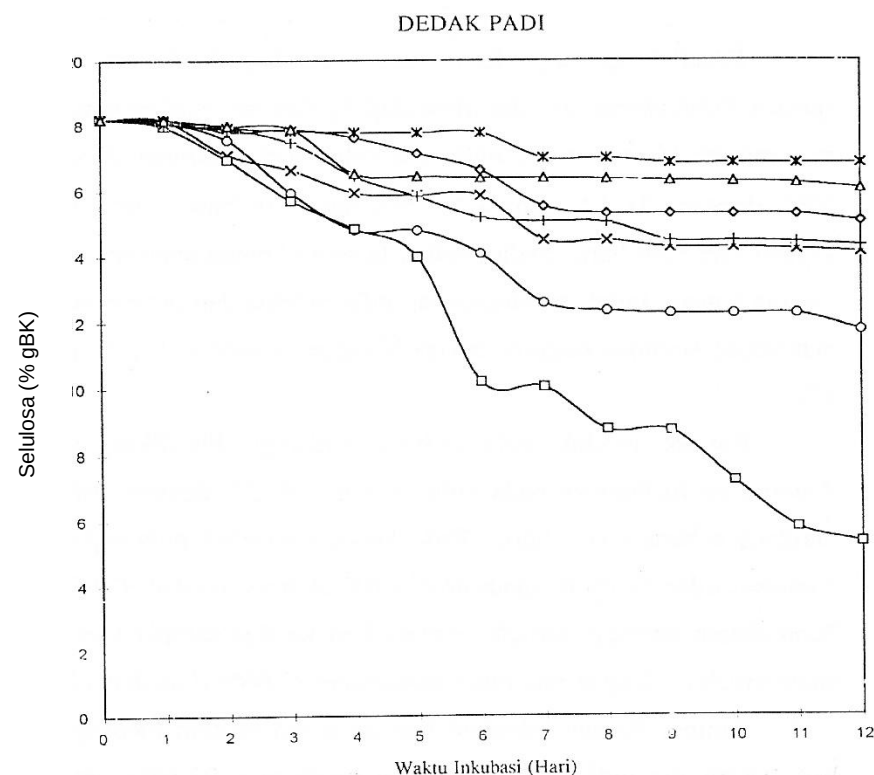
Gambar 9. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan produk gula reduksi pada substrat jerami padi (Suwandiyastuti, *et al.*, 1995).



Keterangan :

—○— = <i>T. viride</i>	—x— = <i>T. reesei</i>
—□— = <i>A. niger</i>	—◇— = <i>A. oryzae</i>
—+— = <i>A. luchuensis</i>	—*— = <i>A. aculeatus</i>
—△— = <i>A. terreus</i>	

Gambar 10. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan protein biomassa pada substrat jerami padi (Suwandiyastuti, *et al.*, 1995).



Keterangan :

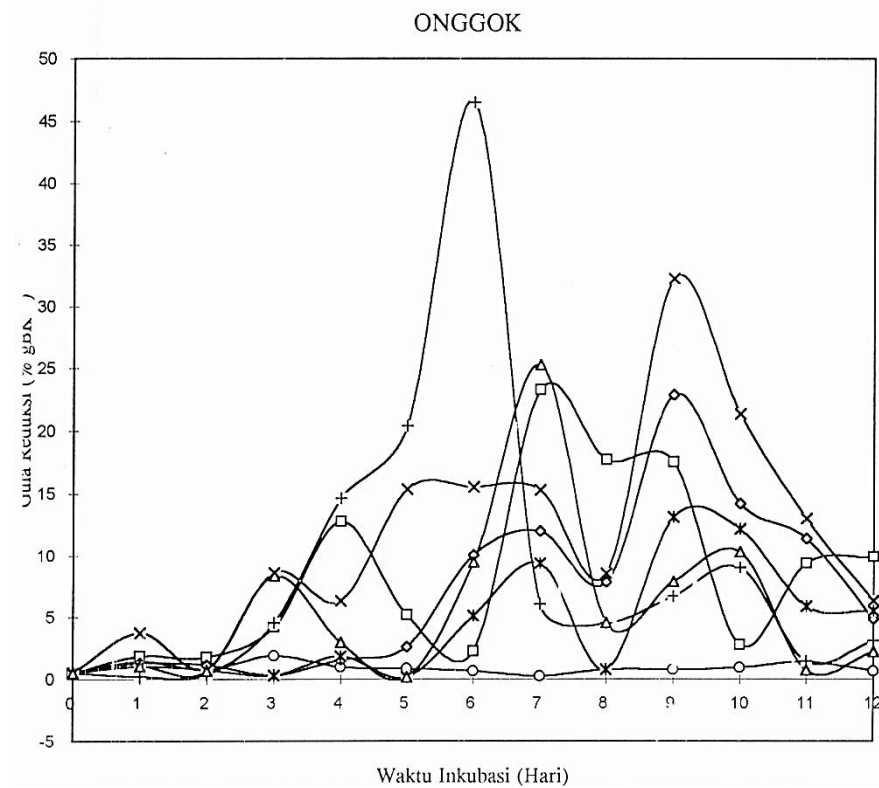
- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| —○— = <i>T. viride</i> | —x— = <i>T. reesei</i> |
| —□— = <i>A. niger</i> | —◇— = <i>A. oryzae</i> |
| —+— = <i>A. luchuensis</i> | —*— = <i>A. aculeatus</i> |
| —△— = <i>A. terreus</i> | |

Gambar 11. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan penurunan selulosa pada substrat jerami padi yang difermentasi dengan berbagai jenis kapang (Suwandiyastuti, *et al.*, 1995).

Kondisi optimum fermentasi jerami padi dengan 2 spesies *Trichoderma sp.* dan 5 spesies *Aspergillus sp.* masing-masing mempunyai kisaran suhu optimum suhu ruang sampai dengan 35°C dengan pH 4,5 sampai 5,5 dan lama inkubasi selama 3 sampai 9 hari. Pada kondisi tersebut, kemampuan masing-masing kapang untuk meningkatkan gula reduksi dan protein serta penurunan selulosa onggok cukup beragam (Gambar 12, 13 dan 14).

Puncak produk gula reduksi tertinggi dihasilkan oleh *Aspergillus luchuensis* pada suhu ruang, pH 5,5 dengan waktu inkubasi selama 6 hari. Pada kondisi tersebut, gula reduksi meningkat dari 0,5% menjadi 46,6% BK atau meningkat 98,92%. Peningkatan tertinggi terjadi di antara hari ketiga sampai hari keenam inkubasi dengan rata-rata peningkatan 22,66% (Gambar 12).

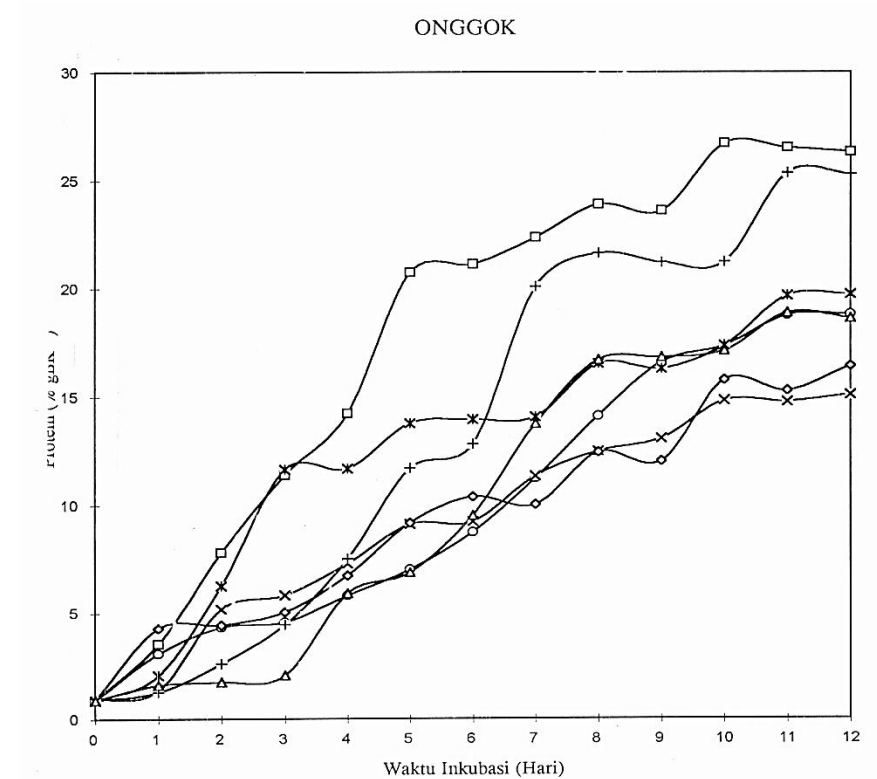
Sampai dengan inkubasi hari keenam, protein meningkat dari 0,87% menjadi 18,8% BK atau meningkat 93,54%, tetapi peningkatan protein tertinggi terjadi di antara hari kedua sampai dengan hari keenam inkubasi dengan rata-rata peningkatan 21,56% (Gambar 13). Kadar selulosa pada hari keenam fermentasi turun dari 19,66% menjadi 9,60% BK atau terjadi penurunan 51,17%. Penurunan terbesar terjadi di antara hari kedua sampai dengan hari kedelapan inkubasi dengan rata-rata penurunan 11,01% (Gambar 14).



Keterangan :

- | | | | |
|-----|------------------------|-----|-----------------------|
| —○— | = <i>T. viride</i> | —x— | = <i>T. reesei</i> |
| —□— | = <i>A. niger</i> | —◇— | = <i>A. oryzae</i> |
| — — | = <i>A. luchuensis</i> | —*— | = <i>A. aculeatus</i> |
| —△— | = <i>A. terreus</i> | | |

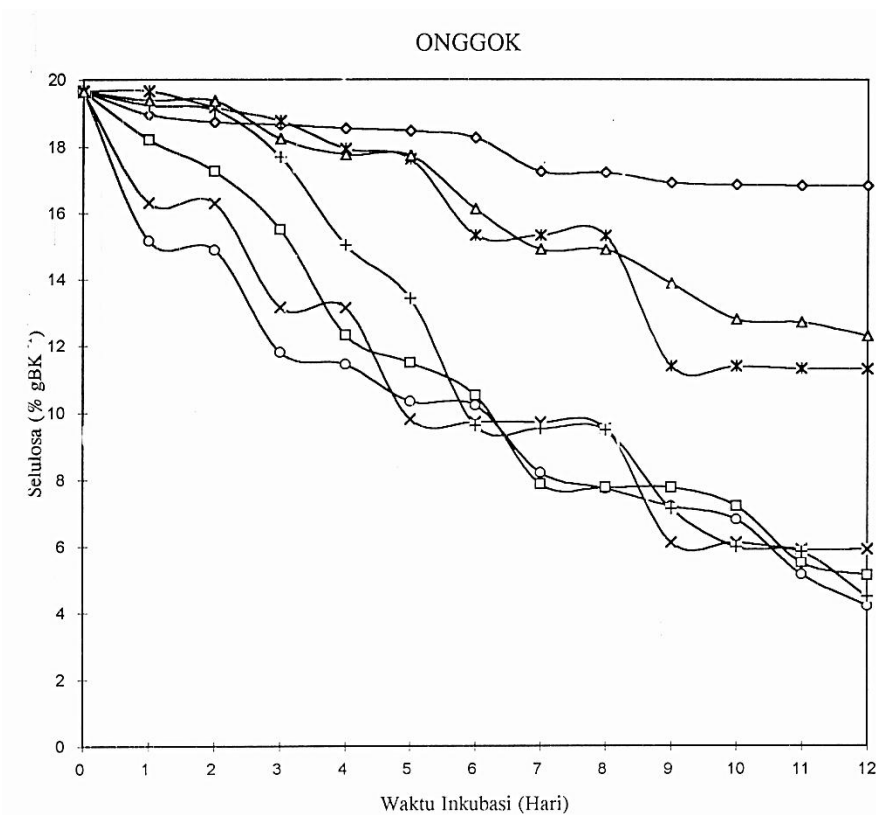
Gambar 12. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan produk gula reduksi pada substrat onggok (Suwandiyastuti, *et al.*, 1995).



Keterangan :

- | | | | |
|-----|------------------------|-----|-----------------------|
| —○— | = <i>T. viride</i> | —x— | = <i>T. reesei</i> |
| —□— | = <i>A. niger</i> | —◇— | = <i>A. oryzae</i> |
| — — | = <i>A. luchuensis</i> | —*— | = <i>A. aculeatus</i> |
| —△— | = <i>A. terreus</i> | | |

Gambar 13. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan protein biomassa sel pada substrat onggok (Suwandiyastuti, *et al.*, 1995).



Keterangan :

-○- = *T. viride* -x- = *T. reesei*
 -□- = *A. niger* -◇- = *A. oryzae*
 -△- = *A. terreus* -* = *A. aculeatus*
 -I- = *A. luchuensis*

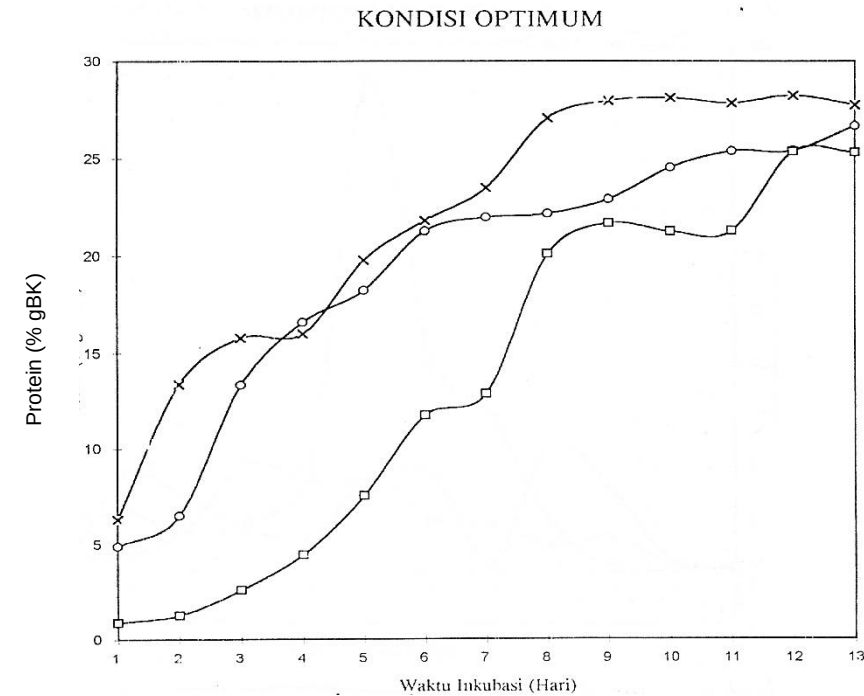
Gambar 14. Hubungan lama fermentasi (pada kondisi optimum) dengan penurunan selulosa pada substrat onggok (Suwandastyuti, *et al.*, 1995).

Tabel 7. Kondisi Optimum Kapang untuk Masing-masing Substrat (Jerami Padi, Onggok, dan Dedak Padi)

	Jerami Padi	Dedak Padi	Onggok
1. Kapang	<i>T. viride</i>	<i>A. niger</i>	<i>A. luchuensis</i>
2. Kondisi Optimum :			
pH	4,5	6,0	5,5
Suhu	10°C	35°C	Ruang
Waktu fermentasi (Hari 1)	3	6	6
3. Produk			
Gula Reduksi (% BK)			
Tanpa Perlakuan	0,38	0,24	0,50
Pada Kondisi Optimum	12,42	8,93	46,50
Protein (% BK)			
Tanpa Perlakuan	4,90	6,31	0,87
Pada Kondisi Optimum	16,57	23,47	12,80
Selulosa (% BK)			
Tanpa Perlakuan	31,11	18,21	19,66
Pada Kondisi Optimum	17,50	10,18	9,60

Sumber : Suwandastyuti, *et al.*, 1995

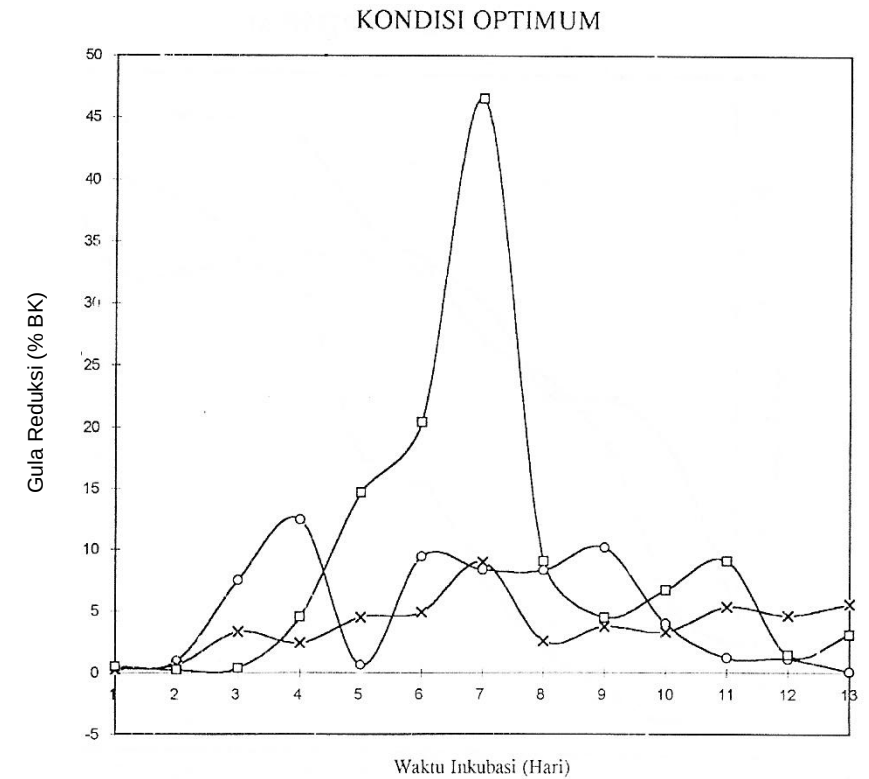
Pada Tabel 7 terlihat bahwa gula reduksi maupun protein pada jerami padi, dedak padi, maupun onggok yang difermentasi dengan kapang terpilih mengalami peningkatan, sedangkan selulosa menurun.



Keterangan :

- x- = *A. luchuensis*
- o- = *A. niger*
- = *T. viride*

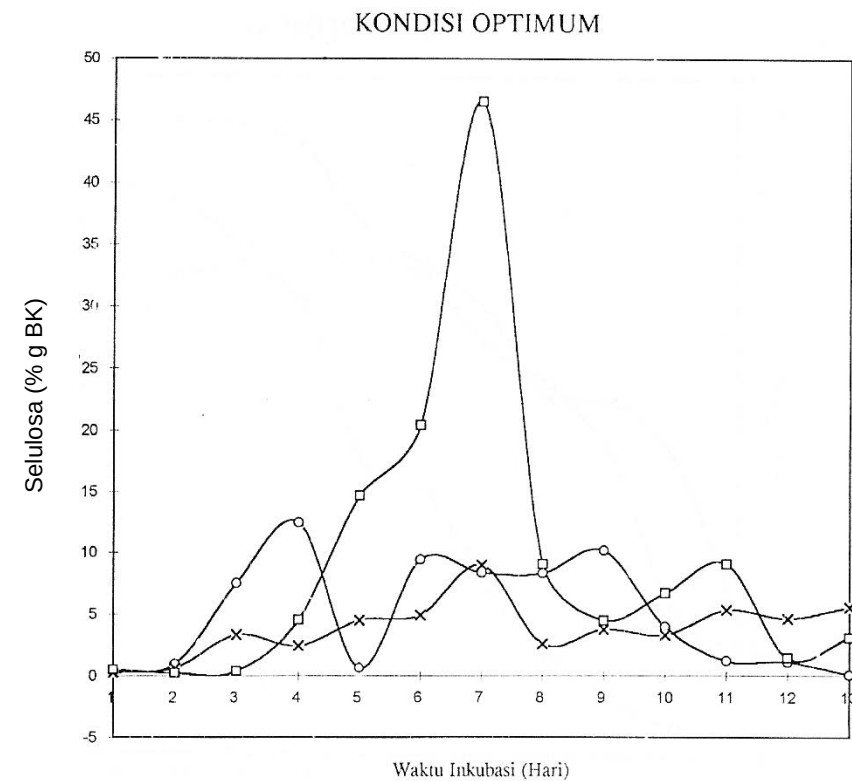
Gambar 15. Hubungan antara lama fermentasi (jerami padi dengan *T. viride*; dedak padi dengan *A. niger*; onggok dengan *A. luchuensis* dengan peningkatan protein biomassa sel (Suwandastyuti, *et al.*, 1996).



Keterangan :

- o- = *A. niger*
- x- = *A. luchuensis*
- = *T. viride*

Gambar 16. Hubungan antara lama fermentasi (jerami padi dengan *T. viride*; dedak padi dengan *A. niger*; onggok dengan *A. luchuensis* dengan peningkatan gula reduksi (Suwandastyuti, *et al.*, 1996).



Keterangan :

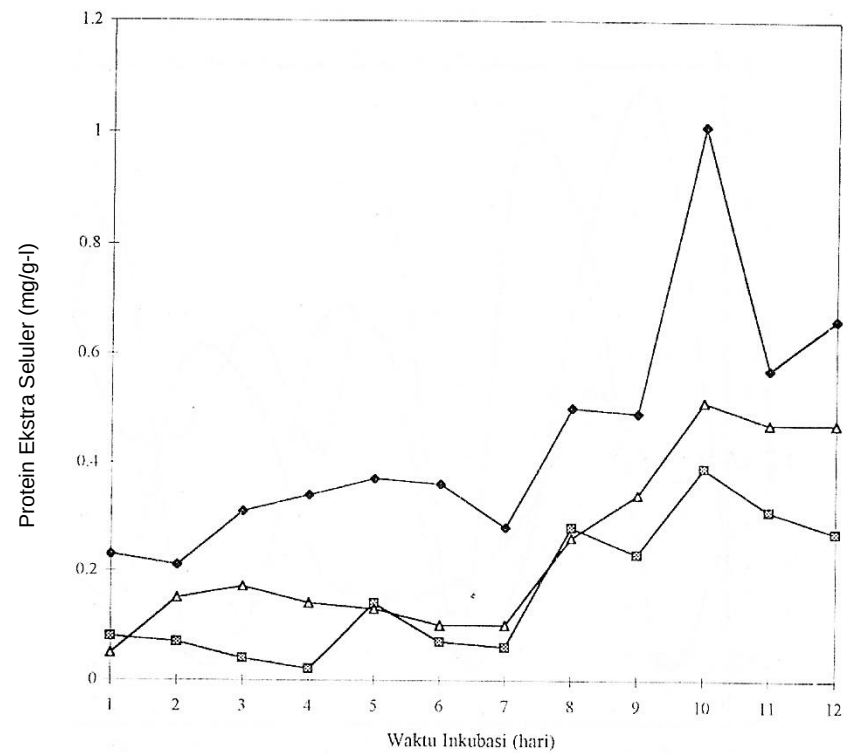
- = *A. niger*
- ×— = *A. luchuensis*
- = *T. viride*

Gambar 17. Hubungan antara lama fermentasi (jerami padi dengan *T. viride*; dedak padi dengan *A. niger*; onggok dengan *A. luchuensis* dengan penurunan selulosa (Suwandiyastuti, *et al.*, 1996).

Fermentasi onggok dengan 6 spesies kapang lainnya puncak gula reduksi terjadi antara hari ketiga sampai dengan hari kesebelas inkubasi dengan peningkatan antara 11% sampai dengan 15,34%. Peningkatan protein tertinggi terjadi di antara hari kesatu sampai dengan hari kedelapan inkubasi dengan rata-rata peningkatan 6% sampai dengan 13,87%. Penurunan selulosa terbesar pada hari kesatu sampai dengan hari ketujuh inkubasi dengan rata-rata penurunan 2% sampai dengan 27,39%.

4.3 Aktivitas Selulase (CMC-ase)

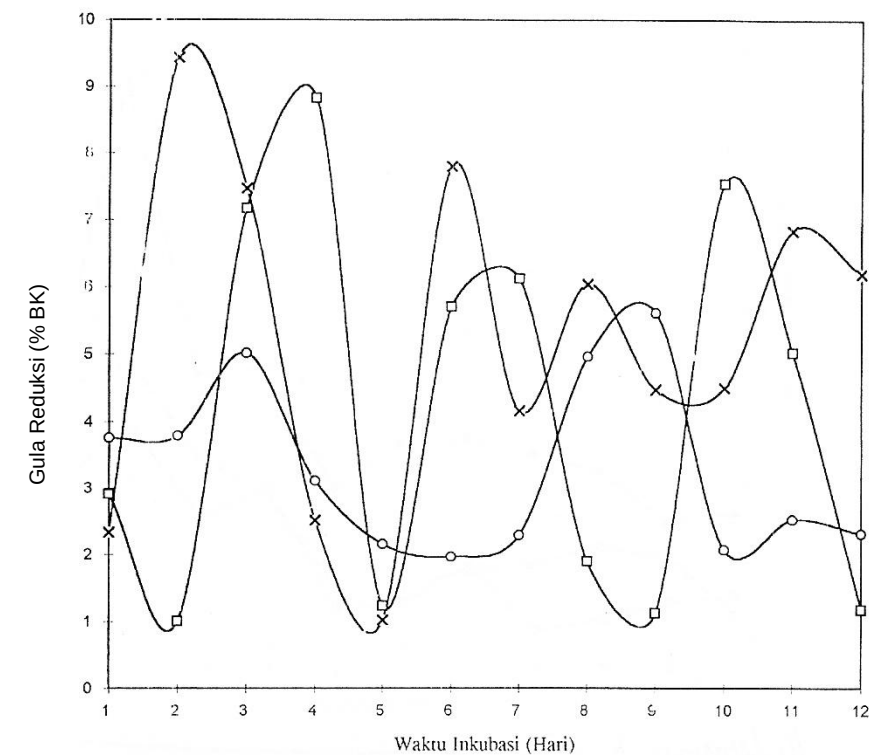
Aktivitas selulase (CMC-ase) pada fermentasi dedak padi dengan *Aspergillus niger* dengan kondisi optimum cukup berfluktuasi. Pada inkubasi hari kesatu sampai dengan hari ketiga terjadi peningkatan aktivitas relatif cukup tinggi (95,39%). Aktivitas CMC-ase tertinggi terjadi pada inkubasi hari kesepuluh dan aktivitas terendah pada inkubasi hari ketujuh. Konsentrasi protein ekstraseluler tertinggi pada inkubasi hari kesepuluh dan terendah pada hari kesatu (Gambar 18). Jumlah unit enzim tertinggi terjadi pada inkubasi hari ketiga dan terendah pada hari kesembilan (Tabel 8).



Keterangan :

- ◆— = *A. niger*
- △— = *T. viride*
- = *A. luchuensis*

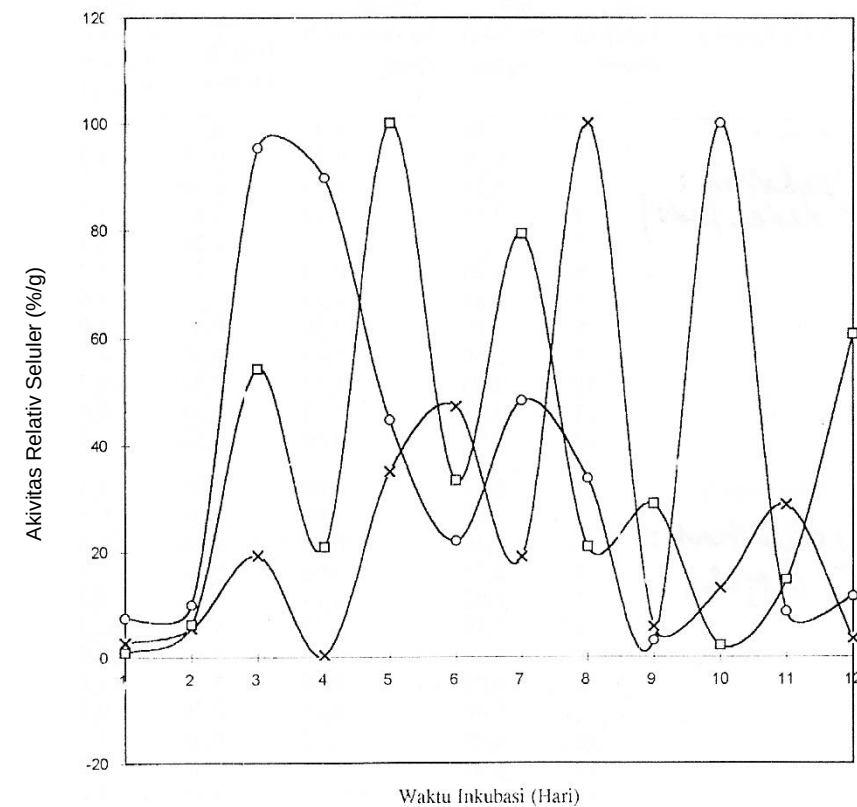
Gambar 18. Hubungan lama fermentasi dari kapang terpilih dengan protein ekstraseluler (Suwandiyastuti, *et al.*, 1996).



Keterangan :

- ×— = *A. luchuensis* (onggok)
- = *T. viride* (jerami padi)
- o— = *A. niger* (dedak padi)

Gambar 19. Hubungan lama fermentasi dari kapang terpilih dengan produksi gula reduksi (Suwandiyastuti, *et al.*, 1996).



Keterangan :

- = *A. niger* (dedak padi)
 -□- = *T. viride* (jerami padi)
 -×- = *A. luchuensis* (onggok)

Gambar 20. Hubungan lama fermentasi dari kapang terpilih dengan aktivitas selulase (CMC-ase) (Suwandiyastuti, *et al.*, 1996).

Tabel 8. Aktivitas Selulase (CMC-ase) Kapang pada Kondisi Optimum

Jenis Kapang	Lama Inkubasi (Hari)	Gula Reduksi (mg/g)	Protein Ekstra seluler (mg/g)	Aktivitas Selulase (unit/g menit)	Jumlah Unit Enzim (unit/mg Prot/g)	Aktivitas Relatif (%/g)
<i>A. niger</i> (Substrat : dedak padi)	1	3,76	0,23	0,21	0,91	7,45
	2	3,79	0,21	0,28	1,31	9,93
	3	5,01	0,31	2,68	8,68	95,39
	4	3,11	0,34	2,53	7,44	89,72
	5	2,15	0,37	1,26	3,41	44,68
	6	1,96	0,36	0,62	1,72	21,99
	7	2,28	0,28	1,36	4,85	48,23
	8	4,75	0,50	0,55	1,95	33,69
	9	5,59	0,49	0,07	0,14	3,07
	10	2,06	1,01	2,82	2,79	100,00
	11	2,51	0,57	0,24	0,42	8,51
	12	2,30	0,66	0,32	0,49	11,51
<i>A. luchuensis</i> (Substrat : onggok)	1	2,33	0,08	0,09	1,13	2,72
	2	9,43	0,07	0,05	0,07	1,51
	3	7,46	0,04	0,64	26,00	29,34
	4	2,51	0,02	0,01	0,46	0,30
	5	1,02	0,14	1,16	8,29	35,05
	6	7,79	0,07	1,56	22,29	47,13
	7	4,15	0,06	0,63	10,05	19,03
	8	6,02	0,28	3,31	11,82	100,00
	9	4,46	0,23	0,19	0,82	5,74
	10	4,48	0,39	0,43	1,10	12,99
	11	6,81	0,31	0,95	3,07	28,70
	12	6,16	0,27	1,14	4,22	3,44
<i>A. viride</i> (Substrat : jerami padi)	1	2,91	0,05	0,004	0,08	0,83
	2	1,01	0,15	0,03	0,20	6,25
	3	7,17	0,17	0,26	1,53	54,17
	4	8,82	0,14	0,10	0,70	20,83
	5	1,23	0,13	0,48	3,69	100,00
	6	5,69	0,10	0,16	1,60	33,33
	7	6,10	0,10	0,38	3,80	79,33
	8	1,89	0,26	0,10	0,39	20,83
	9	1,12	0,34	0,10	0,30	28,83
	10	7,52	0,51	0,01	0,02	2,08
	11	5,00	0,47	0,07	0,15	14,58
	12	1,17	0,47	0,29	0,62	60,42

Sumber : Suwandiyastuti, *et al.*, 1996

Fermentasi onggok dengan *Aspergillus luchuensis*, aktivitas CMC-ase tertinggi terjadi pada hari kedelapan inkubasi dan terendah pada hari keempat. Peningkatan aktivitas relatif tertinggi pada hari keempat sampai dengan hari kedelapan inkubasi (47%). Konsentrasi protein ekstraseluler tertinggi terjadi pada inkubasi hari keenam sampai dengan hari kesebelas, namun jumlah unit enzim tertinggi pada hari keenam dan terendah pada hari keempat (Gambar 17 dan Tabel 8).

Fermentasi jerami padi dengan *Trichoderma viride* aktivitas CMC-ase tertinggi terjadi pada hari ke lima. Peningkatan aktivitas relatif tertinggi pada hari kesatu sampai dengan hari ketiga inkubasi, yaitu sebesar 54,17%. Konsentrasi protein ekstraseluler tertinggi terjadi pada inkubasi hari kelima. Jumlah unit enzim tertinggi terjadi pada inkubasi hari ketujuh (Gambar 17, Tabel 8).

Dari 2 spesies *Trichoderma sp.* dan 5 spesies *Aspergillus sp.* yang digunakan untuk percobaan, ternyata kemampuan untuk meningkatkan gula reduksi, laju degradasi selulosa, dan kecepatan pertumbuhannya cukup beragam. Kejadian ini berkaitan erat dengan proses enzimatik dari masing-masing kapang selama fermentasi pada substrat jerami padi, dedak padi, dan onggok. Dimungkinkan setiap spesies kapang yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kespesifikan dalam memodifikasi ataupun pemanfaatan substrat untuk pertumbuhannya.

Pada umumnya, proses enzimatik selama fermentasi dipengaruhi oleh aktivasi (induksi) oleh substrat yang tersedia serta adanya represi dan inhibisi oleh produk hasil pemecahan substrat. Kapang yang mempunyai sifat selulolitik dan sensitif terhadap induksi selulosa akan lebih cepat mendegradasi selulosa menjadi mono, di, dan oligosakarida. Di samping itu, untuk kapang serta enzim yang toleran terhadap represi dan inhibisi oleh produk akhir, maka laju degradasi substrat dan pertumbuhannya akan lebih baik. Di samping karena diinhibisi oleh produk akhir, dapat juga aktivitas selulolitik kapang diinhibisi oleh adanya ion-ion logam yang terdapat dalam kultur, karena dalam media fermentasi juga ditambah Fe SO₄, Mg SO₄, Zn SO₄, Mn SO₄, serta adanya ion Cu atau Co yang dapat berperan sebagai aktivator atau bersifat sebagai inhibitor terhadap aktivitas selulase. Menurut Yamane *et al.* (1970), laju pertumbuhan merupakan faktor utama dalam aktivitas selulolitik suatu kapang (fungi). Pada awal pertumbuhan, dalam media selulosa banyak diproduksi enzim selulase. Kemungkinan hal ini terjadi karena pada awal pertumbuhan, enzim-enzim tersebut digunakan untuk melepas gula reduksi.

Tinggi rendahnya akumulasi gula reduksi dalam kultur selama fermentasi sangat ditentukan oleh kemampuan kapang dalam memetabolisme gula yang tersedia serta kemampuan dan kecepatan kapang dalam mendegradasi selulosa. Kapang yang kemampuan serta laju degradasi selulosanya tinggi, tetapi

kecepatan memetabolismenya rendah akan terjadi akumulasi gula reduksi dalam kultur yang cukup tinggi. Kemampuan kapang dalam menghasilkan biomassa sel bergantung pada sifat faalnya. Kapang yang toleran terhadap perubahan lingkungan serta represiif dan inhibisi katabolik oleh produk akhir juga mampu menyediakan gula mudah dimetabolisme lebih baik, sehingga akan lebih cepat membentuk biomassa sel.

Menurut Mendel (1972), suhu pertumbuhan dapat memengaruhi proses biosintesis enzim selulase dan laju degradasi selulosa. Hasil penelitian pada *Trichoderma curvata* menunjukkan suhu optimum untuk produksi selulase adalah 45°C. Pada *Trichoderma reesei*, suhu optimum untuk pertumbuhan adalah 30°C sampai dengan 32°C, namun suhu optimum untuk produksi selulase dan degradasi selulosa adalah 24°C sampai dengan 25°C, sedangkan pada *Trichoderma curvata* suhu optimum untuk pertumbuhannya 53°C. Lebih rendahnya suhu pada produksi selulase daripada suhu pertumbuhan, menunjukkan bahwa enzim tidak stabil pada kondisi suhu pertumbuhan maksimal. Hasil penelitian Reese (1972), menunjukkan bahwa *Basidiomycetes* yang sedang tumbuh pada media selulosa, saat dalam kultur ditambahkan glukosa, menyebabkan destruksi selulase.

Menurut Linko (1983), rendahnya produktivitas dan aktivitas spesifik selulase adalah adanya inhibisi oleh produk akhir. Bila substrat yang siap dimetabolisme tinggi, maka proses sintesis enzim selulase, hemiselulase, dan laminarase direpresi. Untuk

sintesis enzim tersebut diperlukan adanya induser yang kuat. Selulosa dapat menginduksi aktivitas selulase, hemiselulase, dan laminarase. Regulasi aktivitas selulolitik dipengaruhi oleh induksi selulosa tidak mudah larut, tetapi biosintesisnya direpresi oleh substrat yang mudah dimetabolisme seperti glukosa. Dapat juga selulase bersifat konstitutif, tetapi direpresi oleh pertumbuhannya yang cepat (Mendel dan Reese, 1960; Reese, 1977; Nizizawa, 1975). Menurut Mendel, *et al.*, (1975) selama lintasan (*pathway*), aktivitas selulolitik utama akan dilepaskan selobiosa, kemudian oleh β -glukosidase dihidrolisa menjadi glukosa. Aktivitas β -glukosidase berperan dalam mengontrol laju aliran glukosa ke dalam metabolisme seluler. Pada metabolisme yang cepat, akan terjadi penurunan pH dan akan memengaruhi aktivitas β -glukosidase dan selulase. Penambahan glukosa dalam kultur *Trichoderma reesei* yang sedang tumbuh dalam media selulosa menyebabkan penurunan pH secara drastis, aktivitas β -glukosidase hilang, sedangkan aktivitas selulase turun 50%.

Di samping faktor di atas, kemampuan dan kecepatan mendegradasi selulosa serta pembentukan gula reduksi sangat ditentukan oleh komponen enzim yang disintesis oleh kapang karena untuk mendegradasi sempurna rantai selulase sampai dihasilkan glukosa diperlukan tiga aktivitas enzim selulase yang berbeda, yaitu (1) enzim β -glukan-D-glukanohidrolase atau endoglukanase (C-1); (2) enzim β -1,4-glukan-celobiohidrolase atau eksoglukanase (C-X); (3) β -glukosidase atau selobiosa. Kapang

yang mampu mensintesis ketiga komponen enzim tersebut akan lebih mampu mendegradasi selulosa dan dihasilkan gula reduksi lebih banyak, sedangkan kapang yang hanya mampu mensintesis endoglukanase, kemampuan mendegradasi selulosanya tinggi, namun akan lebih banyak dihasilkan oligosakarida dan fraksi-fraksi selulosa pendek sehingga akumulasi gula reduksi dalam kultur menjadi rendah. Kapang yang lebih dominan mensintesis eksoglukanase dan selobiosa ataupun glukamilase hanya mampu memecah derivat selulosa atau polisakarida lain yang lebih sederhana. Apabila dalam medium pertumbuhan banyak terkandung selulosa dengan tingkat kristalinitas tinggi tidak mampu mendegradasi. Akibatnya, kemampuan membentuk gula reduksi, biomassa, dan degradasi selulosanya lebih kecil.

Berdasarkan sifat dari komponen enzim selulase yang dihasilkan oleh suatu kapang, berarti setiap kapang mempunyai kespesifikan terhadap substrat selulosa. Bila komponen enzim yang diproduksi eksoglukanase, β -glukosidase, atau glukamilase, maka apabila kapang dikulturkan dalam media yang banyak mengandung selulosa kompleks, seperti jerami padi dan dedak padi kasar, akan tumbuh lambat. Kemungkinan akan tumbuh cepat apabila dikulturkan dalam media yang banyak mengandung derivat selulosa yang lebih sederhana atau bahan berpati tinggi. Menurut Stutzenberger (1985), sistem enzim selulase relatif kompleks, karena meskipun bentuknya sama, tetapi karakteristik dan spesifitas

terhadap substrat berbeda. Hal ini terjadi karena rasio sintesis komponen enzim selulase akan berubah bersamaan dengan umur kultur (Enger dan Sleeper, 1965; Shomaker dan Brown, 1978; Sudo, *et al.*, 1976). Pada umumnya, laju produksi enzim selulase maksimal terjadi pada awal fase eksponensial dan turun drastis pada fase stasioner. Pada awal pertumbuhan dalam medium selulosa, produksi enzim selulase lebih banyak terjadi. Hal tersebut mungkin karena pada awal fase eksponensial digunakan untuk melepaskan gula reduksi.

Aktivitas selulase kompleks dan endoglukanase dapat dihambat oleh glukosa dan selobiosa, sedangkan selobiohidrolase mudah dihambat oleh selobiosa. Proses inhibisi selulosa terjadi secara berantai, yaitu glukosa akan menghambat endoglukanase dan eksoglukanase (Montenecourt, 1983). Hasil penelitian Ferchal dan Pye (1983) menunjukkan bahwa konsentrasi selobiosa 1% sampai dengan 3% dapat menghambat aktivitas selulase dalam cairan kultur *Trichoderma fusca* dan *Trichoderma reesei*. Penelitian pada *Trichoderma curvata* menunjukkan bahwa pada medium selulosa, turunnya produksi selulase ditandai dengan adanya akumulasi gula reduksi dalam kultur (Fenington, *et al.*, 1983). Komponen enzim β -glukosidase pada *Aspergillus niger* kurang sensitif terhadap inhibisi oleh produk akhir bila dibandingkan dengan *Trichoderma reesei* (Linko, 1983). Sintesis dan sekresi enzim β -1,3-glukanase ditandai dengan tersedianya

sumber karbon yang sangat rendah (Fierbe dan Holdorf, 1975). Komponen selulase dalam *Fusarium solani* dan *Trichoderma kongnii* terhadap kelarutan kapas, apabila selobiohidrolase dan endoglukanase ditambahkan sendiri-sendiri hanya berpengaruh 1% terhadap kelarutan kapas, tetapi apabila selobiohidrolase, endoglukanase, dan β -glukosidase ditambahkan bersama-sama ternyata kelarutan kapas menjadi 50% (Wood dan McCray, 1979).

Fenomena ini menunjukkan bahwa *Trichoderma viride* mempunyai kespesifikan terhadap substrat jerami padi lebih baik dibandingkan kapang lainnya. *Aspergillus niger* lebih spesifik terhadap dedak padi dan *Aspergillus luchuensis* mempunyai kespesifikan terhadap substrat onggok. Kespesifikan tersebut dapat ditinjau, baik dari kemampuan menghasilkan gula reduksi, degradasi selulosa, maupun peningkatan protein biomassa. Berdasarkan kriteria tersebut, maka keempat kapang lainnya kurang spesifik baik terhadap jerami padi, dedak padi, maupun onggok.

Berdasarkan hasil uji aktivitas enzim dengan substrat CMC 1%, rata-rata aktivitas CMC-ase selama duabelas hari fermentasi, maka *Aspergillus niger* menunjukkan aktivitas paling tinggi (1,11 unit/g menit), kemudian *Aspergillus luchuensis* (0,88 unit/g menit), dan yang relatif rendah adalah *Trichoderma viride* (0,17 unit/g menit). Ditinjau dari rata-rata jumlah unit enzim yang diproduksi berturut-turut adalah *Aspergillus luchuensis* paling tinggi (6,7 unit/g), kemudian *Aspergillus niger* (2,84 unit/g), dan *Trichoderma*

viride (1,09 unit/g). Rata-rata aktivitas relatif tertinggi *Aspergillus niger* (39,50%), *Trichoderma viride* (35,11%) dan *Aspergillus luchuensis* (23%).

Ditinjau dari kemampuan mendegradasi selulosa dan menghasilkan gula reduksi terutama pada media jerami padi dan dedak padi kasar, diduga *Trichoderma viride* dan *Aspergillus niger* menghasilkan enzim selulase kompleks, karena berdasarkan akumulasi gula reduksi yang tinggi, menggambarkan selulosa dapat didegradasi sampai menjadi glukosa. Pemecahan tersebut merupakan hasil kerja sinergistik endoglukanase, eksoglukanase, dan selobiosa, sedangkan *Aspergillus luchuensis* diduga lebih banyak memproduksi CMC-ase, β -glukosidase, atau glukamilase. Kemampuannya untuk menghasilkan gula yang tinggi hanya terjadi pada substrat onggok karena komponen polisakarida onggok lebih sederhana dibandingkan jerami padi dan dedak padi.

4.4 Kandungan Asam Amino

Total asam amino pada jerami padi yang difermentasi dengan *Trichoderma viride* selama tiga hari, meningkat dari 3,82% menjadi 4,47%. Beberapa asam amino mengalami peningkatan seperti histidin, trosin, metionin, valin, dan lisin, tetapi asam amino lainnya mengalami penurunan seperti asam aspartat, asam glutamat, serin, glisin, treonin, arginin, alanin, fenil alanin, isoleusin, dan leusin. Dibandingkan jerami yang tidak difermentasi, fermentasi jerami padi dengan *Trichoderma viride* meningkat kandungan asam amino. Peningkatan yang relatif besar

terjadi pada asam amino valin, lisin, dan metionin. Fermentasi dedak padi dengan *Aspergillus niger* selama enam hari dapat meningkatkan kandungan total asam amino dari 4,86% menjadi 7,23%. Peningkatan asam amino tertinggi berturut-turut adalah metionin, lisin, alanin, glisin, valin, dan tirosin, sedangkan penurunan terjadi pada aspartat, glutamat, serin, histidin, treonin, argini, fenil alanin, dan isoleusin.

Fermentasi onggok dengan *Aspergillus luchuensis* selama empat hari dapat meningkatkan kandungan total asam amino dari 2,26% menjadi 3,38%. Asam glutamat, histidin, alanin, tirosin, metionin, alanin, leusin, dan lisin mengalami peningkatan, sedangkan 7 macam asam amino lainnya mengalami penurunan. Peningkatan terbesar berturut-turut pada metionin, alanin, histidin, lisin, dan isoleusin.

Peningkatan asam amino pada bahan yang difermentasi dapat berasal dari penambahan asam amino protein sel kapang yang dikulturkan dalam medium fermentasi atau dapat juga berasal dari protein yang disekresikan oleh kapang selama proses fermentasi.

4.5 Kandungan Energi dan Mineral

Jerami padi, dedak padi, dan onggok setelah difermentasi dengan kapang mengalami penurunan energi 366,4 kkal sampai dengan 36,4 kkal atau 10,01% sampai dengan 17,48%.

Jerami padi setelah difermentasi dengan *Trichoderma viride* selama tiga hari mengalami peningkatan unsur Mg, Mn, Fe, Zn, dan P, namun mineral Ca, Na, dan K mengalami penurunan. Dedak padi yang difermentasi dengan *Aspergillus niger* selama enam hari mengalami peningkatan unsur Ca, Mg, Na, K, Zn, Fe, Mn, dan P, sedangkan unsur S mengalami penurunan. Pada onggok yang difermentasi dengan *Aspergillus luchuensis* selama enam hari mengalami peningkatan unsur Na, Zn, P, S, dan Mn, sedangkan enam unsur mineral esensial lainnya menurun.

4.6 Peningkatan Protein dengan Yeast

Jerami padi, dedak padi, dan onggok yang difermentasi berturut-turut dengan *Trichoderma viride* selama tiga hari (jerami), *Aspergillus niger* selama enam hari (dedak padi), *Aspergillus luchuensis* selama enam hari (onggok), bila kemudian difermentasi lagi dengan *Candida utilis* dan *Sacharomyces cereviseae* selama lima hari cenderung meningkat kandungan proteinnya (Gambar 22).

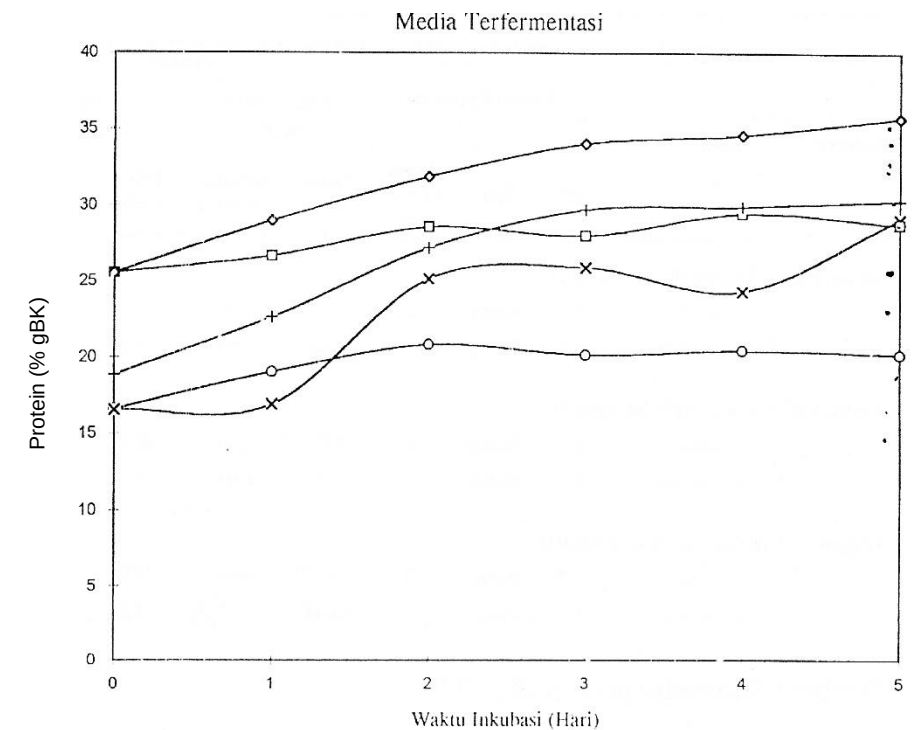
Peningkatan protein yang relatif tinggi dihasilkan dari fermentasi jerami padi, dedak padi, dan onggok dengan *Sacharomyces cereviseae* selama dua hari sampai dengan tiga hari inkubasi, sedangkan yang difermentasi dengan *Candida utilis* pada waktu inkubasi yang sama lebih rendah.

Tabel 9. Peningkatan Protein Substrat dengan Fermentasi Yeast

Substrat	Yeast	Kondisi Optimum			Produk			
					Gula Reduksi (% BK)		Protein (% BK)	
		pH	Suhu	Waktu Ferm. (Hari)	Tanpa Perl.	Kondisi Optimum	Tanpa Perl.	Kondisi Optimum
Jerami Padi + <i>T. viride</i> (Produk tahap I)								
	<i>C. utilis</i>	4,5	Ruang	2	9,68	1,49	16,57	20,74
	<i>S. cerevisiae</i>	4,5	Ruang	2	9,68	4,33	16,57	25,10
Dedak Padi + <i>A. niger</i> (Produk tahap I)								
	<i>C. utilis</i>	6,0	Ruang	2	8,95	2,46	25,51	28,53
	<i>S. cerevisiae</i>	4,5	Ruang	2	8,95	4,04	25,51	31,85
Onggok + <i>A. luchuensis</i> (Produk tahap I)								
	<i>C. utilis</i>	5,5	Ruang	2	44,48	30,66	18,81	23,30
	<i>S. cerevisiae</i>	5,5	Ruang	2	44,48	27,71	18,81	27,13

Sumber : Suwandiyastuti, *et al.*, 1996

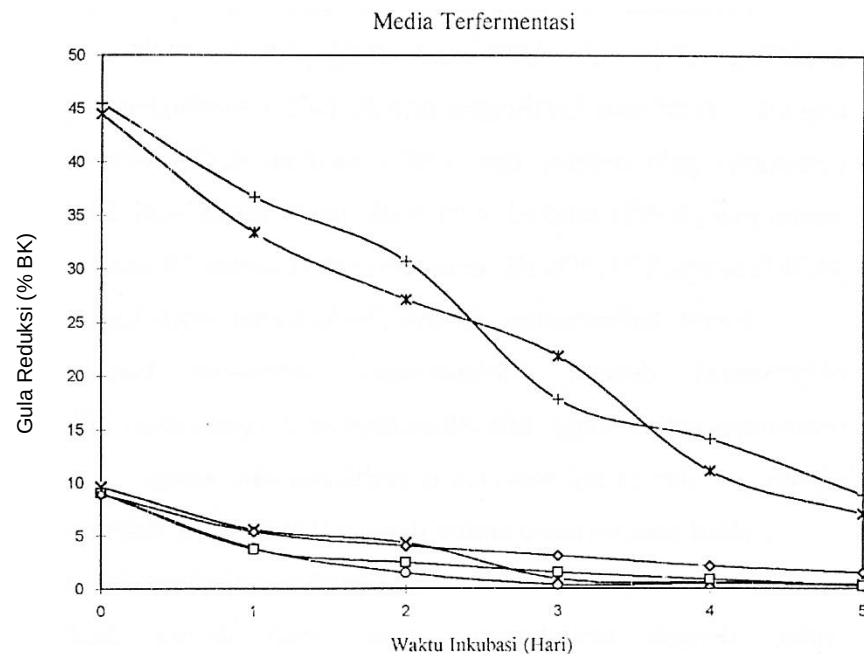
Pada Tabel 9 dapat di lihat bahwa, jerami padi yang difermentasi dengan *S. cerevisiae* menghasilkan protein 25,10%, dedak padi dengan *S. cerevisiae* 31,85%, dan onggok dengan *S. cerevisiae* 27,13%. Dengan demikian, *S. cerevisiae* dapat dipergunakan untuk meningkatkan protein pada ketiga substrat yang diuji.



Keterangan :

- o— = Jerami padi berfermentasi dengan *T. viride* tiga hari, difermentasi lagi dengan *C. utilis*
- x— = Jerami padi berfermentasi dengan *T. viride* tiga hari, difermentasi lagi dengan *S. cerevisiae*
- = Dedak padi berfermentasi dengan *A. niger* enam hari, difermentasi lagi dengan *C. utilis*
- ◇— = Onggok difermentasi dengan *A. luchuensis* enam hari, difermentasi dengan *C. utilis*
- +— = Onggok difermentasi dengan *A. luchuensis*, difermentasi lagi dengan *S. cerevisiae*

Gambar 21. Hubungan lama fermentasi dengan peningkatan protein biomassa sel dari bahan terfermentasi (sesuai kondisi optimumnya) dengan kapang terpilih kemudian difermentasi lagi dengan yeast selama lima hari (Suwandiyastuti, *et al.*, 1996)



Keterangan :

- o- = Jerami padi berfermentasi dengan *T. viride* tiga hari, difermentasi lagi dengan *C. utilis*
- x- = Jerami padi berfermentasi dengan *T. viride* tiga hari, difermentasi lagi dengan *S. cerevisiae*
- = Dedak padi berfermentasi dengan *A. niger* enam hari, difermentasi lagi dengan *C. utilis*
- ◇- = Dedak difermentasi dengan *A. niger* enam hari, difermentasi lagi dengan *S. cerevisiae*
- |- = Onggok difermentasi dengan *A. luchuensis* enam hari, difermentasi lagi dengan *C. utilis*
- *- = Onggok difermentasi dengan *A. luchuensis*, difermentasi lagi dengan *S. cerevisiae*

Gambar 22. Hubungan lama fermentasi dengan penurunan gula reduksi dari bahan terfermentasi (sesuai kondisi optimumnya) dengan kapang terpilih kemudian difermentasi lagi dengan yeast selama lima hari (Suwandiyastuti, *et al.*, 1996)

Peningkatan protein oleh *Sacharomyces cerevisiae* sebesar 51,75% untuk jerami, 24,8% untuk dedak padi, dan 44,25% untuk onggok. Pada saat kandungan protein bahan meningkat, terjadi penurunan gula reduksi dari 9,68% menjadi 4,33% BK untuk jerami padi, 8,95% menjadi 4,04% BK untuk dedak padi, dan dari 44,38% menjadi 27,31% BK untuk onggok (Gambar 21 dan 22).

Kandungan protein jerami terfermentasi dengan *Trichoderma viride* kemudian difermentasi dengan *Sacharomyces cerevisiae* paling tinggi bila dibandingkan dengan bahan lainnya (dedak padi dan jerami padi) untuk perlakuan yang sama. Hasil analisis asam amino dengan HPLC untuk jerami yang difermentasi dengan *Sacharomyces cerevisiae* terdapat limabelas asam amino dengan peningkatan total asam amino 25,23%. Peningkatan asam amino tertinggi berturut-turut lisin, histidin, dan valin, sedangkan tigabelas asam amino lainnya rata-rata mengalami penurunan 8% sampai dengan 70%.

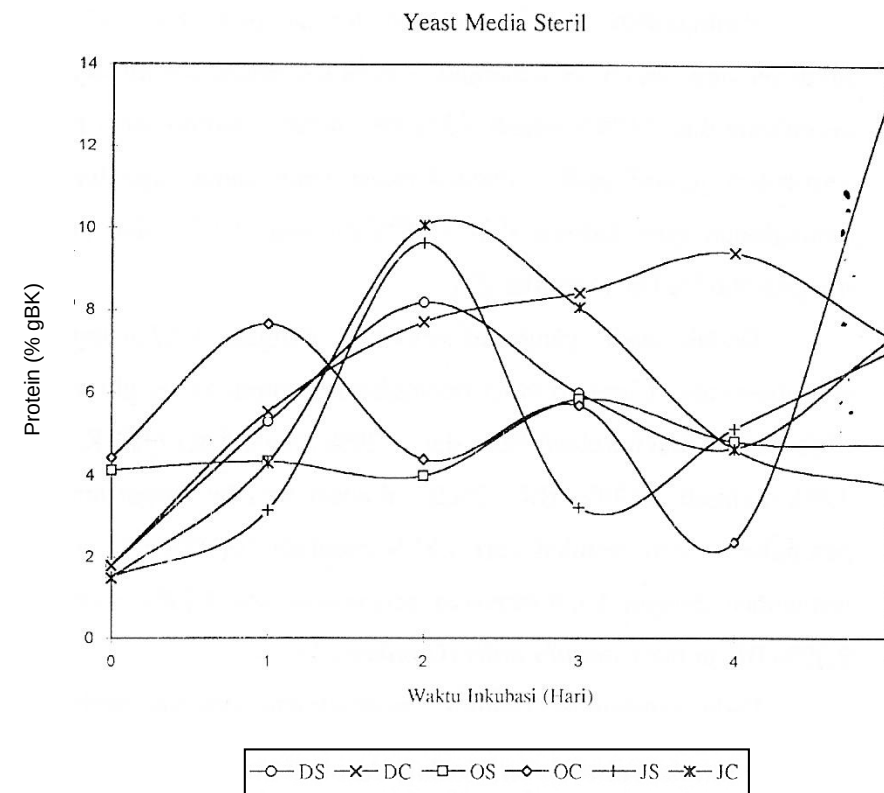
Hasil analisis mineral dengan AAS dan Spektrometer untuk bahan yang sama, unsur Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, Co, dan P mengalami peningkatan, sedangkan Ca, Na, K, dan S mengalami penurunan bila dibandingkan jerami tanpa perlakuan.

Jerami padi, dedak padi, dan onggok bila langsung difermentasi masing-masing dengan *Candida utilis* atau *Sacharomyces cerevisiae* protein dan gula reduksi dapat meningkat, namun lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan yang difermentasi terlebih dahulu dengan kapang (Gambar 22 dan 23).

Peningkatan protein tertinggi terjadi pada hari kedua inkubasi, yaitu dari 4,69% menjadi 9,17% BK untuk *Sacharomyces cerevisiae* dan 4,8% menjadi 7,3% BK untuk *Candida utilis* pada fermentasi jerami padi. Pada kondisi yang sama juga terjadi peningkatan gula reduksi dari 1,48% menjadi 10,6% dan 1,49% menjadi 9,62% BK (Gambar 24).

Dedak padi yang difermentasi dengan *Sacharomyces cerevisiae* atau *Candida utilis* peningkatan protein tertinggi terjadi pada hari kedua inkubasi, yaitu dari 1,79% menjadi 8,17% BK dan 3,8% menjadi 10,99% BK. Pada inkubasi hari keempat terjadi peningkatan gula reduksi dari 3,85% menjadi 10,19% BK untuk fermentasi dengan *Sacharomyces cerevisiae* dan 1,79% menjadi 9,39% BK untuk *Candida utilis* (Gambar 23).

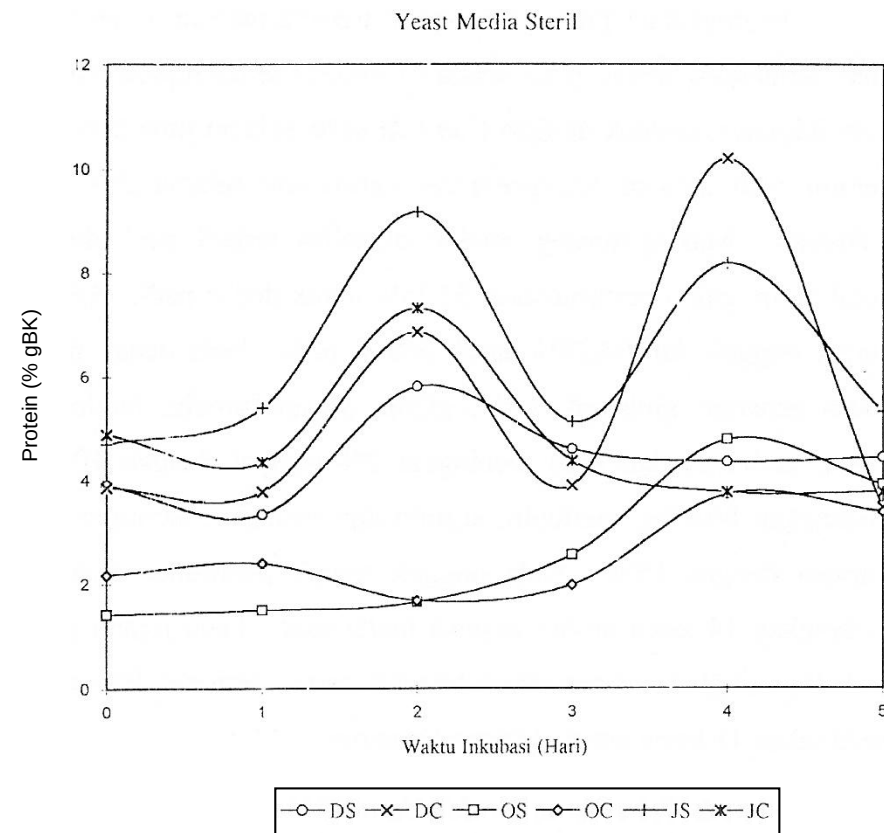
Pada fermentasi onggok, peningkatan protein tertinggi terjadi pada inkubasi hari keempat, yaitu dari 2,17% menjadi 3,37% BK untuk *Candida utilis* dan dari 1,41% menjadi 4,77% untuk *Sacharomyces cerevisiae*. Peningkatan gula reduksi tertinggi terjadi pada inkubasi hari kelima, yaitu dari 4,42% menjadi 13,47% BK untuk *Candida utilis* dan dari 4,11% menjadi 4,79% untuk *Sacharomyces cerevisiae* (Gambar 23).



Keterangan :

D = dedak padi; O = onggok; J = jerami padi;
 S = *Sacharomyces cerevisiae*
 C = *Candida utilis*

Gambar 23. Hubungan lama fermentasi dengan produksi gula reduksi (Suwandiyastuti, *et al.*, 1996)



Keterangan :

- D = dedak padi; O = onggok; J = jerami padi
 S = *Sacharomyces cereviseae*
 C = *Candida utilis*

Gambar 24. Hubungan lama fermentasi dengan protein biomassa sel dari kontrol yang hanya difermentasi dengan yeast (Suwandiyastuti, *et al.*, 1996)

Peningkatan protein tertinggi masing-masing dihasilkan dari fermentasi dedak padi dengan *Candida utilis* selama 4 hari inkubasi, onggok dengan *Candida utilis* selama 5 hari, dan jerami padi dengan *Sacharomyces cereviseae* selama 2 hari inkubasi. Setelah dianalisis terjadi peningkatan total asam amino berturut-turut 52,25% untuk dedak padi, 73,91% untuk onggok, dan 94,24% untuk jerami padi. Pada dedak padi, asam aspartat, glutamat, serin, glisin, alanin, tirosin, metionin, valin, isoleusin, dan lisin meningkat 2% sampai dengan 100%, sedangkan histidin, metionin, arginin dan isoleusin menurun 6% sampai dengan 16%. Pada onggok terjadi penurunan treonin, sedangkan empat belas asam amino lainnya meningkat. Pada jerami padi terjadi peningkatan asam amino histidin, serin, metionin, dan valin, sedangkan sebelas asam amino lainnya menurun.

Hasil analisis energi dengan Bom Calorimetri, untuk bahan yang sama menunjukkan adanya penurunan sebesar 6% sampai dengan 17%.

Kandungan mineral esensial rata-rata mengalami peningkatan, kecuali unsur S pada dedak padi menurun. Pada onggok terjadi penurunan unsur Ca dan Mg, sedangkan pada jerami padi terjadi penurunan unsur Ca, Na, dan K.

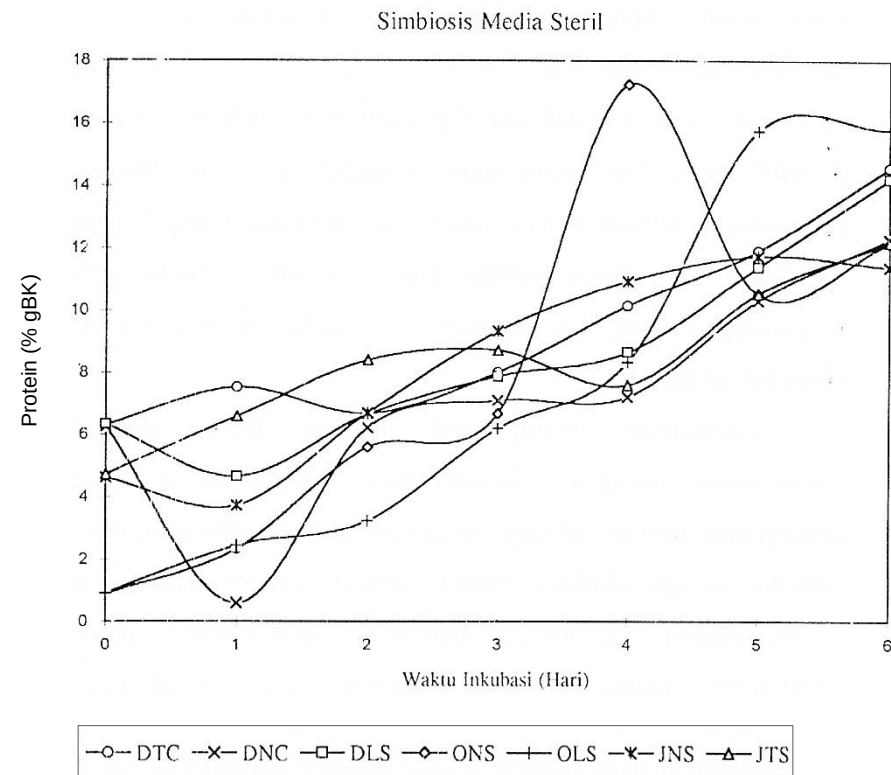
4.7 Fermentasi dengan Kultur Campuran Kapang dan Yeast

Fermentasi jerami padi dengan kultur campuran (*Mixed Culture*) kapang dan yeast, peningkatan protein dan gula reduksi yang relatif tinggi dihasilkan dari *Trichoderma viride* -

Sacharomyces cereviseae dan *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae*. Untuk dedak padi dihasilkan dari kultur campuran *Trichoderma viride* - *Candida utilis*, *Aspergillus niger* - *Candida utilis*, dan *Aspergillus luchuensis* - *Sacharomyces cereviseae*, sedangkan untuk onggok dihasilkan dari kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae*, *Aspergillus luchuensis* - *Sacharomyces cereviseae* (Gambar 24 dan 25).

Fermentasi jerami padi dengan kultur campuran *Trichoderma viride* - *Sacharomyces cereviseae* mengalami peningkatan protein tertinggi pada hari keenam dan gula reduksi pada hari ketiga inkubasi. Pada kondisi ini protein meningkat dari 4,71% menjadi 12,16% BK dan gula reduksi 0,41% menjadi 42,81% BK. Kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae* menghasilkan protein tertinggi pada hari keempat dan gula reduksi pada hari kedua inkubasi (Gambar 24 dan 25).

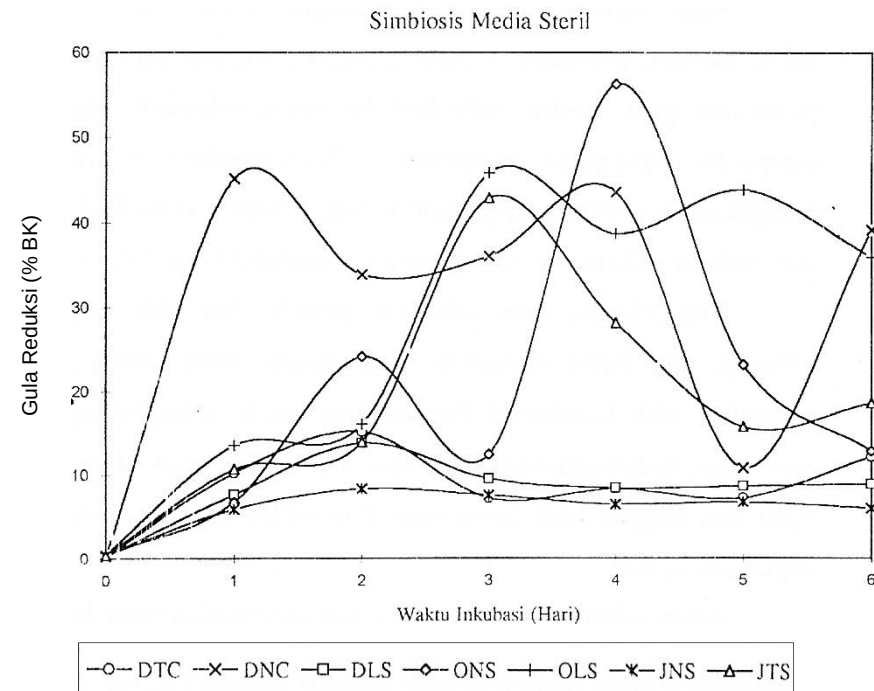
Fermentasi dedak padi dengan kultur campuran *Trichoderma viride* - *Candida utilis* menghasilkan peningkatan protein tertinggi pada hari keenam dan gula reduksi pada hari kedua inkubasi. Kultur campuran *Aspergillus luchuensis* - *Sacharomyces cereviseae* menghasilkan protein tertinggi pada hari keenam dan gula reduksi pada hari kedua inkubasi, sedangkan untuk *Aspergillus niger* - *Candida utilis* menghasilkan protein tertinggi pada hari keenam dan gula reduksi pada hari kesatu inkubasi (Gambar 25 dan 26).



Keterangan :

D = dedak padi; O = onggok; J = jerami padi
 N = *Aspergillus niger*
 L = *Aspergillus luchuensis*
 S = *Sacharomyces cereviseae*
 C = *Candida utilis*

Gambar 25. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan protein biomassa sel pada substrat steril (Suwandastyuti, *et al.*, 1994)



Keterangan :

D = dedak padi; O = onggok; J = jerami padi;
 N = *Aspergillus niger*;
 L = *Aspergillus luchuensis*;
 T = *Trichoderma viride*;
 S = *Sacharomyces cerevisiae*
 C = *Candida utilis*

Gambar 26. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan gula reduksi pada substrat steril (Suwandastyuti, *et al.*, 1996)

Pada fermentasi onggok dengan *Aspergillus niger*-*Sacharomyces cerevisiae*, protein tertinggi dihasilkan pada hari keenam dan gula reduksi pada hari keempat inkubasi. Kultur campuran *Aspergillus luchuensis* - *Sacharomyces cerevisiae* menghasilkan peningkatan protein tertinggi pada hari kelima dan gula reduksi pada hari ketiga inkubasi (Gambar 25 dan 26).

Bila ditinjau dari kenaikan protein dan gula reduksi tertinggi, dari kultur campuran yang dicoba pada jerami padi dihasilkan oleh kombinasi *Trichoderma viride* - *Sacharomyces cerevisiae*, dedak padi oleh kombinasi *Aspergillus niger* - *Candida utilis*, dan onggok oleh kombinasi *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cerevisiae*.

Asam amino dari dedak padi terfermentasi dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Candida utilis* selama enam hari inkubasi mengalami kenaikan 39,39%, berturut-turut metionin, aspartat, treonin, lisin, glutamat, serin, fenil alanin, valin, dan leusin, sedangkan arginin, tirosin, alanin, dan glisin mengalami penurunan.

Dedak padi yang hanya difermentasi dengan *Aspergillus niger*, kandungan total asam aminonya lebih rendah walaupun aspartat, glutamat, serin, treonin, metionin, valin, fenil alanin, isoleusin, dan leusin lebih tinggi, sedangkan glisin, arginin, dan lisin lebih rendah. Pada bahan yang sama, kandungan total asam aminonya lebih rendah bila dibandingkan dengan dedak padi hasil fermentasi dengan *Candida utilis*. Komposisi aspartat, serin,

treonin, metionin serta isoleusin lebih tinggi, sedangkan sepuluh asam amino lainnya lebih rendah.

Hasil analisis energi untuk bahan yang sama menunjukkan adanya penurunan 13,39% bila dibandingkan dengan dedak padi tanpa perlakuan; lebih rendah dari dedak padi hasil fermentasi dengan *Aspergillus niger* maupun fermentasi dengan kultur campuran *Trichoderma viride* - *Candida utilis*, tetapi lebih tinggi daripada dedak padi hasil fermentasi dengan *Candida utilis*.

Kandungan unsur esensial untuk bahan yang sama rata-rata terjadi peningkatan, kecuali unsur S mengalami penurunan dibandingkan dengan dedak padi tanpa perlakuan. Dedak padi yang difermentasi dengan *Candida utilis*, unsur Na, K, dan Zn lebih tinggi, tetapi unsur Ca, Mg, Fe, Mn, P, dan S lebih rendah dibandingkan dengan hasil fermentasi dengan kultur campuran *Trichoderma viride* - *Candida utilis*; unsur Na, K, Zn, Fe, dan Mn lebih tinggi, tetapi unsur Ca, Mg, Na, P, dan S lebih rendah.

Pada fermentasi onggok dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae* selama 6 hari inkubasi terjadi peningkatan total asam amino 46,22%. Terjadi peningkatan pada semua asam amino, kecuali glisin dan lisin. Pada bahan yang sama tidak berbeda dengan hasil fermentasi *Aspergillus luchuensis*, tetapi aspartat, glutamat, serin, treonin, arginin, tirosin, valin, fenil alanin, dan isoleusinnnya lebih tinggi, sedangkan asam glutamat, histidin, glisin, alanin, leusin, dan lisin lebih rendah.

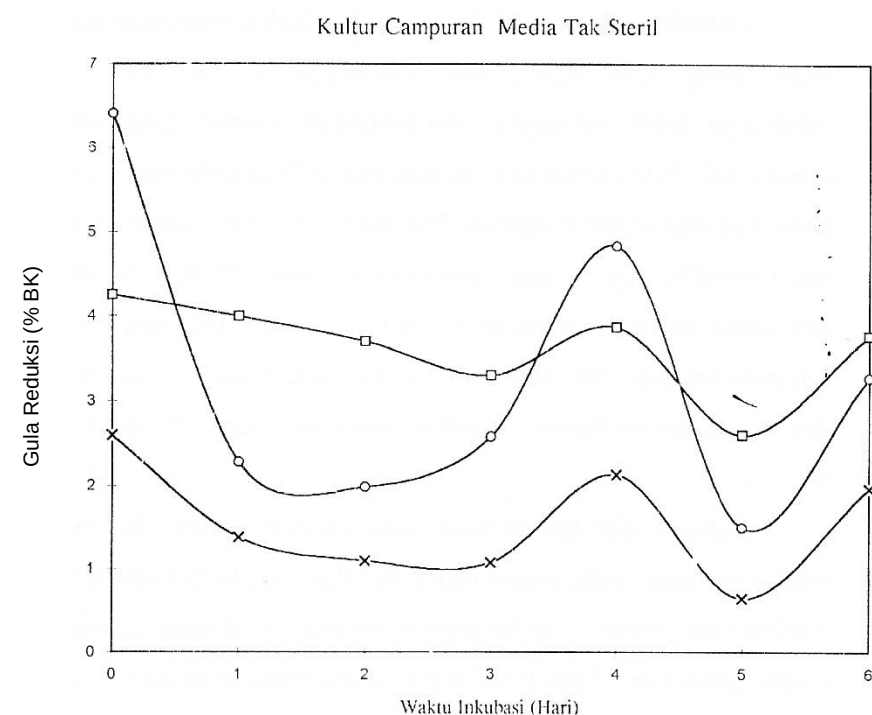
Hasil fermentasi dengan *Candida utilis*, kandungan total asam aminonya lebih rendah daripada hasil fermentasi dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae*; aspartat, glutamat, serin, treonin, argini, serta alanin lebih tinggi, sedangkan glisin, metionin, glisin, valin, fenil alanin, leusin, dan lisin lebih rendah. Hasil fermentasi onggok dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Candida utilis*, kandungan total serta rata-rata komposisi asam amino lebih rendah, kecuali glisin dan tirosin lebih tinggi.

Kandungan energi hasil fermentasi onggok dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae* lebih tinggi daripada hasil fermentasi dengan *Aspergillus luchuensis* dan *Candida utilis* maupun dengan kultur campuran *Aspergillus luchuensis* - *Candida utilis*.

Mineral hasil fermentasi onggok dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae*, rata-rata kandungan unsur mineral esensialnya lebih tinggi daripada hasil fermentasi dengan *Aspergillus luchuensis*. Dibandingkan dengan hasil fermentasi dengan *Candida utilis*, kandungan unsur Ca, Mg, K, Zn, dan P lebih tinggi, sedangkan unsur Na, Cu, Fe, Mn, dan S lebih rendah. Apabila dibandingkan dengan hasil fermentasi onggok dengan kultur campuran *Aspergillus luchuensis* - *Candida utilis*, maka hasil fermentasi onggok dengan *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae* kandungan unsur Mg, Na, K, Zn, Fe, serta P lebih tinggi dan unsur Ca, Cu, Co, serta S lebih rendah.

Percobaan fermentasi dengan menggunakan kultur campuran pada bahan yang tidak disterilisasi, kandungan protein dan gula reduksinya lebih meningkat dibandingkan dengan kontrol yang tidak diinokulasi. Peningkatan protein dan gula reduksi pada jerami padi dihasilkan oleh kultur campuran *Trichoderma viride*-*Candida utilis* dan *Aspergillus niger* - *Sacharomyces vereviseae*; pada dedak padi oleh kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae*; pada onggok oleh *Aspergillus niger*-*Sacharomyces cereviseae* dan *Aspergillus luchuensis* - *Sacharomyces cereviseae* (Gambar 26 dan 27).

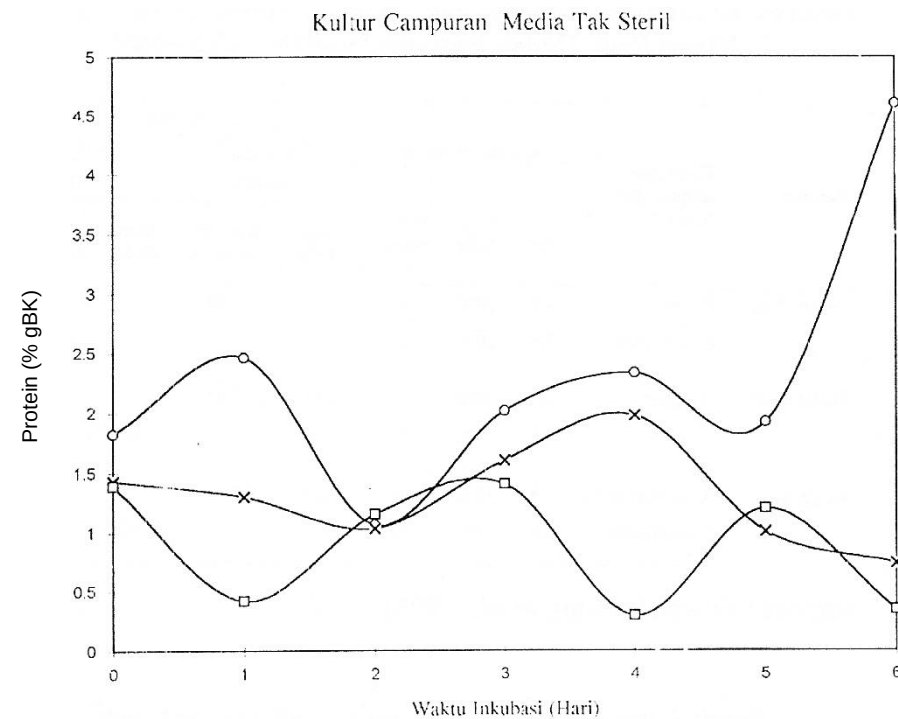
Ditinjau dari kemampuan meningkatkan protein dan gula reduksi tertinggi, pada jerami padi dihasilkan dari kultur campuran *Trichoderma viride* - *Sacharomyces cereviseae* dengan inkubasi selama enam hari. Pada kondisi ini, protein meningkat dari 3,21% menjadi 29,83% BK dan gula reduksi 1,39% menjadi 13,59% BK.



Keterangan :

- = Dedak padi
- = Jerami padi
- ×— = Onggok

Gambar 27. Hubungan lama fermentasi dengan gula reduksi dari kontrol (jerami padi, dedak padi, dan onggok) tanpa diinokulasi dengan kapang maupun yeast (Suwandyastuti, *et al.*, 1996)



Keterangan :

- = Dedak padi
- ×— = Onggok
- = Jerami padi

Gambar 28. Hubungan lama fermentasi dengan protein biomassa sel dari kontrol (jerami padi, dedak padi, dan onggok) tanpa diinokulasi dengan kapang maupun yeast (Suwandastyuti, *et al.*, 1996)

Tabel 10. Kombinasi Kapang dan Yeast Terpilih untuk Substrat Jerami Padi, Dedak Padi, dan Onggok Tidak Steril

Substrat	Kombinasi Kapang dan Yeast	Kondisi Optimum		Produk				
				Gula Reduksi (% BK)		Protein (% BK)		
		pH	Suhu	Waktu Ferm. (Hari)	Tanpa Perlk.	Kondisi Optimum	Tanpa Perlk.	Kondisi Optimum
Jerami Padi	<i>T. viride</i> +	4,5	30°C	6	1,35	32,08		
	<i>S. cereviseae</i>	4,5	30°C	6			3,21	17,33
Dedak Padi	<i>A. niger</i> +	6,0	35°C	2	1,85	23,41		
	<i>C. utilis</i>	6,0	35°C	6			6,38	17,33
Onggok	<i>A. luchuensis</i> +	5,5	35°C	6	1,14	34,63		
	<i>S. cereviseae</i>	5,5	35°C	6			2,57	18,29

Sumber : Suwandastyuti, *et al.*, 1996)

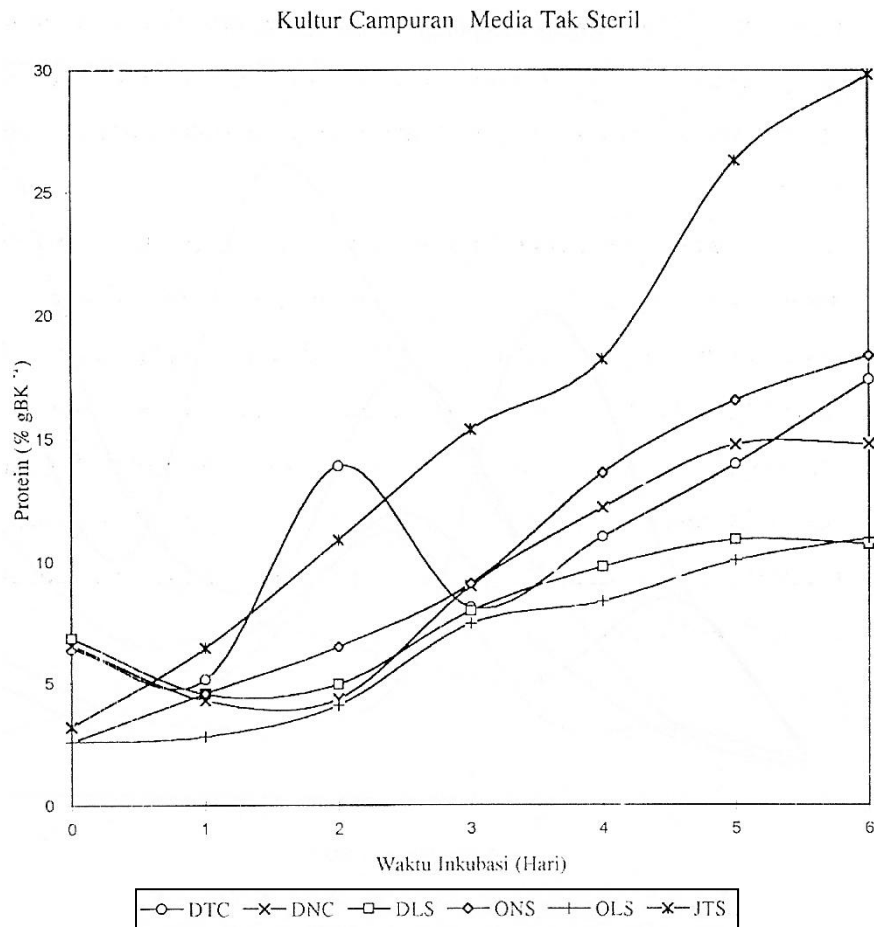
Peningkatan protein dan gula reduksi tertinggi pada fermentasi dedak padi dihasilkan dari kultur campuran *Trichoderma viride* - *Candida utilis* pada hari keenam inkubasi dan hari kedua untuk gula reduksinya. Pada kondisi tersebut terjadi peningkatan protein dari 6,38% menjadi 17,33% BK dan gula reduksi 1,85% menjadi 23,41% BK.

Pada fermentasi onggok, kemampuan meningkatkan protein dan gula reduksi tertinggi dihasilkan dari kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae* pada inkubasi hari keenam peningkatan proteinnya adalah 2,57% menjadi 18,29% BK dan gula reduksi dari 1,44% menjadi 34,63% BK. Berdasarkan kemampuan meningkatkan protein tertinggi, dihasilkan pada

fermentasi jerami padi dengan kultur campuran *Trichoderma viride* - *Sacharomyces cereviseae* selama enam hari inkubasi. Gula reduksi tertinggi dihasilkan pada fermentasi onggok dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae* selama enam hari inkubasi. Bila ditinjau dari kenaikan protein dan gula reduksi tertinggi, maka dari kultur campuran yang dicoba dihasilkan dari fermentasi dedak padi dengan kultur campuran *Trichoderma viride* - *Sacharomyces cereviseae* dan fermentasi onggok dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae* (Gambar 28 dan 29). Hasil analisis asam amino dari dedak padi terfermentasi dengan kultur campuran *Trichoderma viride* - *Candida utilis* selama 4 hari inkubasi, tidak terjadi perubahan kandungan total asam amino. Rata-rata komposisi dari limabelas macam asam aminonya terjadi penurunan kecuali tirosin, metionin, dan asam aspartat terjadi peningkatan bila dibandingkan dedak padi tanpa perlakuan. Bila dibandingkan dengan dedak padi yang difermentasi dengan *Aspergillus niger* saja, kandungan total asam aminonya lebih rendah. Komposisi asam aspartat, glutamat, arginin, alanin lebih tinggi, sedangkan 10 macam asam amino lainnya lebih rendah dan lisinnya sama. Pada bahan yang sama, kandungan total asam aminonya lebih rendah bila dibandingkan dengan dedak padi hasil fermentasi dengan *Candida utilis* saja. Rata-rata komposisi asam aminonya juga lebih rendah, kecuali asam aspartat lebih tinggi. Untuk bahan yang sama, kandungan total asam aminonya juga lebih rendah bila dibandingkan dengan

dedak padi hasil fermentasi dengan kultur *Aspergillus niger* - *Candida utilis* dengan komposisi asal glutamat, arginin, alanin, serta tirosin lebih tinggi, sedangkan sebelas macam asam amino lainnya lebih rendah.

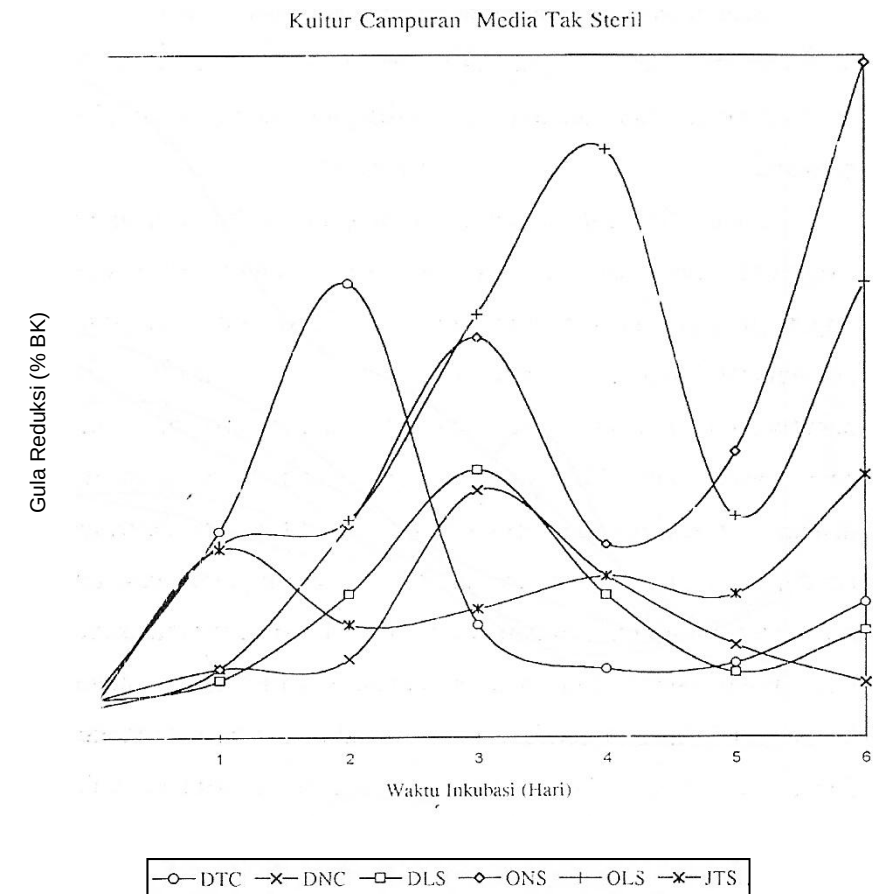
Hasil analisis energi untuk bahan yang sama menunjukkan adanya peningkatan 2,66% bila dibandingkan dengan dedak padi tanpa perlakuan. Bila dibandingkan dengan dedak padi hasil fermentasi dengan *Aspergillus niger* saja, kandungan energinya lebih tinggi. Demikian juga bila dibandingkan dengan dedak padi hasil fermentasi dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Candida utilis*, maupun dedak padi hasil fermentasi dengan *Candida utilis* saja.



Keterangan :

D = dedak padi; O = onggok; J = jerami padi;
 N = *Aspergillus niger*; L = *Aspergillus luchuensis*;
 T = *Trichoderma viride*; S = *Sacharomyces cereviseae*
 C = *Candida utilis*

Gambar 29. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan protein biomassa sel pada substrat tidak steril (Suwandiyastuti, *et al.*, 1996)



Keterangan :

D = dedak padi; O = onggok; J = jerami padi;
 N = *Aspergillus niger*; L = *Aspergillus luchuensis*;
 T = *Trichoderma viride*; S = *Sacharomyces cereviseae*
 C = *Candida utilis*

Gambar 30. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan produk gula reduksi pada substrat tidak steril (Suwandiyastuti, *et al.*, 1996)

Kandungan mineral untuk bahan yang sama, unsur Ca, Mg, K, Ca, P, dan S lebih tinggi, sedangkan unsur Na, Zn, Fe, dan Mn lebih rendah bila dibandingkan dengan dedak padi tanpa perlakuan.

Pada fermentasi onggok dengan kultur campuran *Aspergillus luchuensis* - *Candida utilis* selama 6 hari inkubasi, terjadi peningkatan total asam amino 11,50%. Rata-rata terjadi peningkatan komposisi asam amino, kecuali glisin dan lisin terjadi penurunan bila dibandingkan onggok tanpa perlakuan. Untuk bahan yang sama bila dibandingkan dengan dengan hasil fermentasi dengan *Aspergillus luchuensis* saja, tidak terdapat perbedaan kandungan total asam aminonya, namun asam aspartat, glutamat, serin, treonin, arginin, tirosin, valin, fenil alanin, dan isoleusinnya lebih tinggi, sedangkan asam glutamat, histidin, glisin, alanin, leusin, dan lisin lebih rendah. Bila dibandingkan hasil fermentasi dengan *Candida utilis* saja, hasil fermentasi dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cerevisiae*, kandungan total asam aminonya lebih rendah dengan komposisi asam aspartat, glutamat, serin, treonin, arginin, serta alanin lebih tinggi, sedangkan glisin, metionin, valin, fenil alanin, leusin, dan lisin lebih rendah. Bila dibandingkan dengan hasil fermentasi onggok dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Candida utilis*, kandungan total serta rata-rata komposisi asam aminonya lebih tinggi kecuali glisin dan tirosin lebih rendah.

Hasil analisis energi untuk bahan yang sama menunjukkan adanya penurunan 2,66% bila dibandingkan dengan onggok tanpa perlakuan. Hasil fermentasi onggok dengan kultur campuran

Aspergillus niger-*Sacharomyces cerevisiae*, kandungan energinya lebih tinggi bila dibandingkan dengan hasil fermentasi dengan *Aspergillus luchuensis*, hasil fermentasi dengan *Candida utilis*, atau hasil fermentasi kultur campuran *Aspergillus luchuensis* - *Candida utilis*.

Analisis mineral hasil fermentasi onggok dengan kultur campuran *Aspergillus luchuensis* - *Candida utilis* terjadi peningkatan mineral esensial bila dibandingkan dengan onggok tanpa perlakuan. Bila dibandingkan hasil fermentasi onggok dengan *Aspergillus luchuensis* saja, unsur Mg, K, Zn, Cu, Fe, Mn, Co, P, dan S lebih tinggi, sedangkan unsur Ca dan Na lebih rendah. Bila dibandingkan hasil fermentasi onggok dengan *Candida utilis* saja, rata-rata kandungan mineral esensialnya lebih rendah, kecuali unsur Ca dan S lebih tinggi.

Fermentasi pada bahan campuran adalah dengan perbandingan mulai 10% dedak padi : 90% onggok sampai dengan 50% dedak padi : 50% onggok. Fermentasi kombinasi bahan ini dengan kultur campuran kapang dan yeast, peningkatan protein dan gula reduksi yang relatif tinggi adalah pada perbandingan 50% dedak padi dan 50% onggok. Pada perbandingan tersebut, kemampuan meningkatkan protein dan gula reduksi tertinggi dihasilkan dari fermentasi dengan kultur campuran *Aspergillus niger*-*Candida utilis*, *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cerevisiae*, *Aspergillus niger* - *Candida utilis*, dan *Aspergillus luchuensis* - *Sacahromyces cerevisiae* (Gambar 30 dan 31).

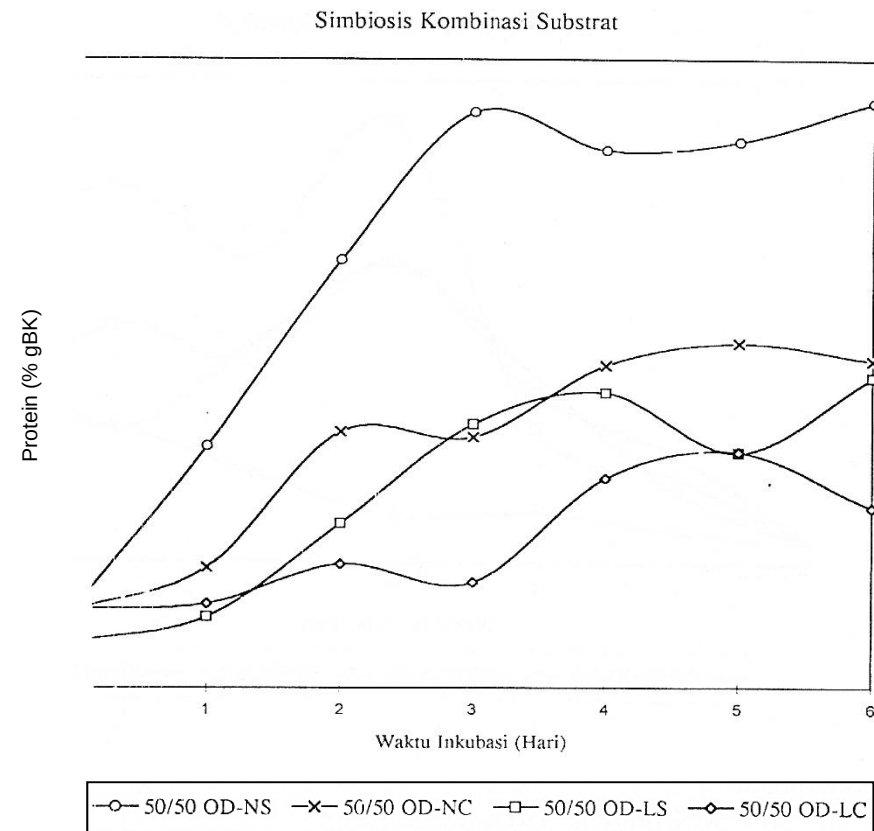
Bila dibandingkan dengan kemampuan kultur campuran lainnya, untuk kombinasi 50% dedak padi : 50% onggok, ternyata kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae* mampu meningkatkan protein dan gula reduksi relatif tinggi daripada kultur campuran lainnya. Pada kondisi tersebut selama tiga hari inkubasi, terjadi peningkatan protein dari 3,8% menjadi 27,44% BK dan gula reduksi 1,35% menjadi 32,08% BK.

Hasil analisis asam amino pada bahan campuran 50% dedak padi : 50% onggok setelah difermentasi dengan kultur campuran *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae* selama 3 hari, ternyata dapat meningkatkan kandungan total asam amino (limabelas macam asam amino) sebesar 52,8%. Bila dibandingkan dengan kandungan asam amino, baik pada dedak maupun onggok tanpa perlakuan, terjadi peningkatan asam amino khususnya glisin, tirosin, metionin, dan valin yang relatif besar. Kandungan asam aspartat, serin, histidin, treonin, valin, fenil alanin, isoleusin, leusin, dan lisin lebih tinggi bila dibandingkan dengan onggok tanpa perlakuan, namun lebih rendah bila dibandingkan dengan dedak padi tanpa perlakuan, sedangkan asam glutamat lebih rendah bila dibanding dengan dedak padi ataupun onggok tanpa perlakuan.

Tabel 11. Produk Fermentasi pada Berbagai Kombinasi Substrat Kapang dan Yeast

Kombinasi Substrat (Onggok : Dedak)	Kombinasi Kapang dan Yeast	Kondisi Optimum			Produk			
		pH	Suhu	Waktu Ferm. (Hari)	Gula Reduksi (% BK)		Protein (% BK)	
					Tanpa Perlk.	Kondisi Optimum	Tanpa Perlk.	Kondisi Optimum
50% : 50%	<i>A. niger</i> + <i>S. cereviseae</i>	5,5	35°C	3	1,35	32,08	3,80	27,44
50% : 50%	<i>A. niger</i> + <i>C. utilis</i>	5,5	35°C	5	1,31	9,92	3,75	16,33
40% : 60%	<i>A. luchuensis</i> + <i>S. cereviseae</i>	5,5	Ruang	6	1,22	9,14	2,23	14,67
50% : 50%	<i>A. luchuensis</i> + <i>C. utilis</i>	5,5	Ruang	5	1,35	9,94	3,82	11,17

Sumber : Suwandiyastuti, *et al.*, 1996).



Keterangan :

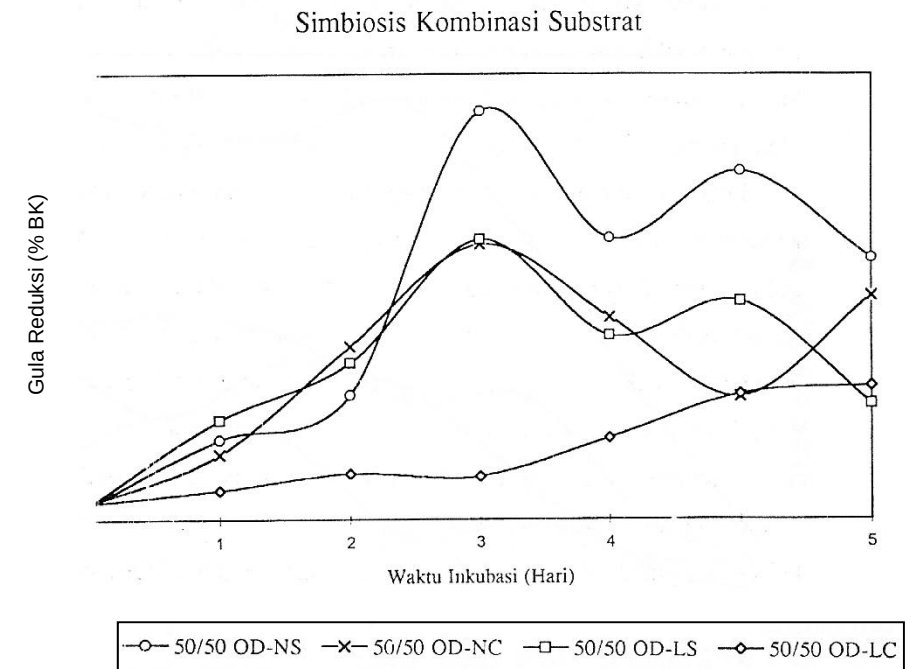
50 : 50 = 50% onggok : 50% dedak padi;

40 : 60 = 40% onggok : 60% dedak padi;

N = *Aspergillus niger*; L = *Aspergillus luchuensis*;

S = *Sacharomyces cereviseae*; C = *Candida utilis*

Gambar 31. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan protein biomassa sel pada kombinasi substrat dedak padi dan onggok (Suwandastyuti, *et al.*, 1996)



Keterangan :

50 : 50 = 50% onggok : 50% dedak padi;

40 : 60 = 40% onggok : 60% dedak padi;

N = *Aspergillus niger*; L = *Aspergillus luchuensis*;

S = *Sacharomyces cereviseae*; C = *Candida utilis*

Gambar 32. Hubungan lama fermentasi menggunakan kultur campuran dengan produk gula reduksi pada kombinasi substrat dedak padi dan onggok. (Suwandastyuti, *et al.*, 1996)

Berdasarkan hasil fermentasi, baik pada media setril maupun tidak steril dengan kultur tunggal (*Single Culture*) ataupun kultur campuran (*Mixed Culture*), rata-rata cenderung lebih meningkatkan kualitas bahan bila dibandingkan dengan bahan asal tanpa perlakuan. Ditinjau dari kemampuan meningkatkan gula reduksi, protein, asam amino, dan mineral, serta menurunkan selulosa, maka kultur tunggal yang dimungkinkan untuk memperbaiki kualitas jerami padi adalah *Trichoderma viride*, sedangkan untuk kultur campuran, baik pada bahan steril ataupun yang tidak, adalah kombinasi *Trichoderma viride* - *Sacharomyces cereviseae*.

Kultur tunggal yang dimungkinkan untuk memperbaiki kualitas dedak padi kasar adalah *Aspergillus niger*, sedangkan kultur campuran, baik untuk bahan steril atau tanpa disterilisasi serta kombinasi onggok dan dedak padi, berturut-turut adalah *Aspergillus niger* - *Candida utilis*, *Trichoderma viride* - *Candida utilis*, dan *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae*.

Pada onggok, kultur tunggal yang dimungkinkan untuk memperbaiki kualitas onggok steril adalah *Aspergillus luchuensis*. Untuk kultur campuran, baik pada onggok steril maupun tidak disterilisasi, adalah kombinasi *Aspergillus niger* - *Sacharomyces cereviseae* dan *Aspergillus luchuensis* - *Candida utilis*.

V | PENGGUNAAN LIMBAH BERSERAT UNTUK PAKAN TERNAK SAPI

Untuk mengetahui nilai nutrisi limbah berserat yang telah difermentasi dengan mikroba selulolitik, yaitu *A. niger*, *S. cerevisiae*, *C. utilis*, *T. viride*, dan *A. luchuensis* maupun kombinasinya, maka dilakukan beberapa percobaan berikut ini (Suwandiyastuti et al., 1997; Suwandiyastuti et al., 1998; Suwandiyastuti, Rimbawanto dan Ning Iriyanti, 2010; Suwandiyastuti dan Rimbawanto, 2011; Suwandiyastuti, Rimbawanto dan Prayitno, 2012; Suwandiyastuti, 2013).

- 1). *In Sacco* : untuk mengetahui pencernaan bahan kering dan pencernaan protein kasar.
- 2). *In Vitro* : (1) untuk mengetahui kelarutan protein dalam pepsin.
(2) untuk mengetahui pencernaan bahan organik (KBO), pencernaan bahan kering (KBK) dan produk metabolisme rumen (VFA dan N-NH₃) dari berbagai kombinasi bahan limbah berserat.
- 3). *In Vivo* : untuk mengkaji hasil percobaan *in vitro* pada sapi jantan.

Nilai pencernaan bahan kering dan protein kasar secara *in sacco* dan kelarutan protein dalam pepsin secara *in vitro* disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Rataan Kecernaan Bahan Kering dan Protein Kasar Limbah Berserat Terfermentasi secara *in sacco* dan Kelarutan Protein dalam Pepsin secara *in vitro*

Bahan Limbah	Mikroba	Kecernaan <i>in sacco</i>		Kelarutan Protein <i>in vitro</i> %
		BK, %	PK, %	
Dedak Padi	(<i>A. niger</i>)	69,71	89,64	34,73
Dedak Padi	(<i>A. niger</i> <i>S. cerevisiae</i>)	70,48	91,52	28,53
Dedak Padi	(<i>A. niger</i> <i>C. utilis</i>)	73,20	87,03	34,33
Jerami Padi	(<i>T. viride</i>)	37,33	76,27	27,60
Jerami Padi (2 hari)	(<i>T. viride</i> <i>S. cerevisiae</i>)	42,40	80,33	28,18
Jerami Padi (6 hari)	(<i>T. viride</i> <i>S. cerevisiae</i>)	36,53	74,78	30,15
Onggok	(<i>A. luchuensis</i>)	83,42	91,78	17,24
Onggok (2 hari)	(<i>A. luchuensis</i> <i>S. cerevisiae</i>)	82,00	91,46	24,66
Onggok (6 hari)	(<i>A. luchuensis</i> <i>S. cerevisiae</i>)	83,26	91,98	41,09

Sumber : Suwandiyastuti et al., 1997

Sebagian besar protein jerami padi terfermentasi ($79,68 \pm 3,44\%$) terdegradasi dalam rumen sehingga ketersediaan pascarumen (untuk ternak) relatif rendah ($30,80 \pm 2,23\%$). Namun demikian, apabila dibandingkan dengan jerami padi tanpa

fermentasi, terjadi peningkatan protein kasar sebesar $17,99 \pm 2,23\%$.

Fermentasi dengan mikroba pada dedak padi berhasil meningkatkan pencernaan bahan kering ($27,89 \pm 1,06\%$), protein kasar ($41,26 \pm 1,30\%$), dan ketersediaan protein pascarumen ($17,26 \pm 2,00\%$). Ditinjau dari nilai pencernaan bahan kering, fermentasi dedak padi dengan mikroba bikultur satu tahap (*A. niger* + *C. utilis*) lebih mampu mencerna selulosa, tetapi tidak berhasil meningkatkan pencernaan protein maupun ketersediaan protein pascarumen.

Kecernaan bahan kering, pencernaan protein, dan kelarutan protein dalam pepsin pada onggok yang difermentasi cenderung meningkat. Hasil tertinggi, pencernaan bahan kering (83,26%), pencernaan protein (91,98%), dan kelarutan protein dalam pepsin (41,09%) dicapai dengan fermentasi bikultur satu tahap, yaitu dengan menggunakan mikroba *A. luchuensis* dan *S. cereviceae*.

Hasil percobaan *in vitro* untuk menguji berbagai imbalan jerami padi, dedak padi, dan onggok terhadap pencernaan bobot kering (KBK), pencernaan bahan organik (KBO), produksi asam lemak atsiri (*Volatile Fatty Acid*, VFA), dan Nitrogen amonia (N-NH₃), disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Nilai Rataan KBK, KBO, VFA, dan N-NH₃

Peubah Respon	Substrat				
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
KBK, %	29,49	31,27	32,33	33,71	34,82
KBO, %	30,82	31,27	32,73	34,94	34,92
VFA, mM/L	95,19	91,77	87,21	104,31	106,59
N-NH ₃ , mM/L	0,97	0,93	0,93	1,00	1,04

Keterangan : K₁, K₂, K₃, K₄, dan K₅ : substrat percobaan sebagai bahan konsentrat untuk sapi, dengan imbalan jerami padi : dedak padi : onggok terfermentasi berturut-turut K₁ = 70 : 15 : 15; K₂ = 60 : 20 : 20; K₃ = 50 : 25 : 25; K₄ = 40 : 30 : 30 dan K₅ = 30 : 35 : 35

Sumber : Suwandastyuti *et al.* (1997); Suwandastyuti, Rimbawanto dan Ning Iriyanti (2010)

Pada Tabel 13 terlihat bahwa KBK dan KBO cenderung meningkat sejalan dengan penurunan taraf jerami padi atau sejalan dengan peningkatan taraf dedak padi dan onggok dalam substrat, serta sejalan dengan meningkatnya nilai nutrisi substrat pada Tabel 14.

Tabel 14. Komposisi Nutrien Substrat

Nutrien	Substrat				
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
PK, % BK	18,25	18,81	19,37	19,93	20,49
PTR, %	80,63	82,09	83,54	85,00	86,44
PTP, %	30,69	31,72	32,76	33,79	34,82
AA, %	5,01	5,19	5,37	5,55	5,73
GR, %	13,30	13,59	13,89	14,18	14,47
SL, %	15,26	14,51	13,77	13,02	12,27
EB, kkal/gr	2950,70	3054,28	3157,85	3261,42	3365,00

Keterangan : PK = Protein Kasar; BK = Bahan Kering; PTR = Protein Tercerna dalam Rumen; PTP = Protein Terlarut dalam Pepsin; AA = Asam Amino total; GR = Gula Reduksi; SL = Selulosa; EB = Energi Bruto

Sumber : Suwandiyastuti *et al.* (1997); Suwandiyastuti, Rimbawanto, dan Ning Iriyanti (2010); Suwandiyastuti (2013).

Berbeda dengan KBK dan KBO, masing-masing substrat percobaan menghasilkan produk fermentasi rumen yang berbeda-beda (Suwandiyastuti *et al.*, 1997; Suwandiyastuti, Rimbawanto dan Ning Iriyanti, 2010), karena banyak faktor yang berinteraksi memengaruhi dan menentukan produk fermentasi rumen. Produksi VFA total maupun masing-masing komponennya sangat

dipengaruhi oleh sifat dan komposisi kimia substrat serta bentuk fisiknya. Hal yang sama terjadi juga pada produksi/konsentrasi N-NH₃.

Tabel 13 menunjukkan bahwa produksi VFA total ($97,01 \pm 9,58$ mM/L) masih dalam kisaran normal walaupun N-NH₃ ($0,97 \pm 0,04$ mM/L) sangat rendah. Untuk pertumbuhan dan sintesis protein mikroba rumen, dibutuhkan N-NH₃ sebesar 3,65 - 7,30 mM/L cairan rumen. Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan menambahkan sumber Nitrogen Bukan Protein (Nonprotein Nitrogen = NPN) ke dalam substrat agar efisiensi proses fermentasi dalam rumen dapat tercapai.

Berdasarkan nilai rata-rata KBK, KBO, VFA total, dan N-NH₃, dapat ditetapkan bahwa substrat percobaan yang dapat digunakan sebagai dasar penyusunan konsentrat untuk sapi potong adalah K₅, yaitu dengan komposisi 30% jerami padi terfermentasi (*T. viride*), 35% dedak padi terfermentasi (*A. niger*), dan 35% onggok terfermentasi (*A. luchuensis* + *S. cerevisiae*).

Kecernaan dan fermentabilitas suatu bahan atau ransum sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia bahan atau ransum, cara pengolahan, bentuk fisik, taraf dan cara pemberian pakan atau ransum, serta faktor hewan percobaan yang digunakan (Suwandiyastuti *et al.*, 1998; Suwandiyastuti dan Rimbawanto, 2011).

Oleh karena itu, untuk mengkaji nilai dan manfaat substrat hasil percobaan *in vitro* sebagai konsentrat untuk sapi potong, perlu dilakukan percobaan *in vivo* pada sapi potong jantan umur satu tahun (Suwandyastuti *et al.*, 1998; Suwandyastuti dan Rimbawanto, 2011; Suwandyastuti, Rimbawanto, dan Prayitno, 2012, Suwandyastuti, 2013). Ransum percobaan disusun dari rumput gajah (50% BK), jerami padi (15% BK), dedak padi (17,5% BK) dan onggok (17,5% BK); R₀ = konsentrat "*mesh*", bahan tidak difermentasi; R₁ = konsentrat "*mesh*", bahan difermentasi, dan R₂ = konsentrat "*pellet*", bahan difermentasi.

Sebagai indikator nilai dan manfaat konsentrat, adalah : Konsumsi Bahan Kering (KsBK), Kecernaan Energi (KE), Kecernaan Protein (KP), Neraca Nitrogen (NN), produksi VFA (T-VFA), Nitrogen Amonia (N-NH₃) dan Pertambahan Bobot Badan Harian (PBBH). Hasil percobaan *in vivo* selengkapnya disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15. Nilai Rataan KsBK, KE, KP, NN, T-VFA, N-NH₃ dan PBBH

Peubah	Ransum Percobaan		
	R ₀	R ₁	R ₂
KsBK, kg/ek/hr	5,68 ± 1,32	6,20 ± 0,85	6,11 ± 0,98
KE, %	49,03 ± 2,94	58,35 ± 2,64	65,42 ± 2,28
KP, %	46,02 ± 3,07	56,34 ± 2,73	63,92 ± 3,50
NN, gr	14,85 ± 2,71	20,93 ± 1,42	27,11 ± 3,20
T-VFA, mM/L	82,22 ± 2,69	96,62 ± 5,66	112,43 ± 1,20
N-NH ₃ , mM/L	2,27 ± 0,48	2,59 ± 0,58	4,06 ± 0,69
PBBH, kg/ek	0,568 ± 0,213	0,643 ± 0,078	0,899 ± 0,035

Keterangan : KsBK = Konsumsi BK; KE = Kecernaan Energi; KP = Kecernaan Protein; NN = Neraca Nitrogen; T-VFA = total VFA; N-NH₃ = Nitrogen Amonia; R₀ = konsentrat bentuk "*mesh*" tanpa fermentasi; R₁ = konsentrat bentuk "*mesh*" terfermentasi; R₂ = konsentrat bentuk "*pellet*" terfermentasi.

Sumber : Suwandyastuti *et al.* (1998); Suwandyastuti dan Rimbawanto (2011); Suwandyastuti, Rimbawanto, dan Prayitno (2012,); Suwandyastuti (2013).

VI | KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan semua percobaan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Fermentasi mikroba selulolitik berhasil meningkatkan kandungan gula reduksi, protein kasar, dan asam amino secara optimal :
 - 1) *T. viride* - *S. cerevisiae* untuk jerami padi;
 - 2) *A. niger* - *S. cerevisiae* untuk dedak padi;
 - 3) *A. niger* - *S. cerevisiae* atau *A. luchuensis* - *C. utilis* untuk onggok.
2. Ditinjau dari KBK, KP, dan kelarutan protein dalam pepsin, serta komposisi nutrien, mikroba yang terpilih adalah *T. viride* untuk jerami padi, *A. niger* untuk dedak padi, dan *A. luchuensis* - *S. cerevisiae* untuk onggok.
3. Berdasarkan percobaan *in vitro* ditinjau dari KBK, KBO, T-VFA, dan N-NH₃, imbalanced (kombinasi) terbaik adalah 30% jerami padi, 35% dedak padi, dan 35% onggok yang sudah difermentasi.
4. Dari semua peubah respons yang diukur pada percobaan *in vivo* (KE, KP, T-VFA, N-NH₃, Neraca Nitrogen, dan PBBH), hasil tertinggi dicapai dengan ransum R₂ (konsentrat tersusun dari 30% jerami padi, 35% dedak padi, dan 35% onggok terfermentasi, berbentuk pellet).

5. Penggunaan ransum R₂ mampu menghasilkan PBBH $0,899 \pm 0,035$ kg, melebihi target yang diharapkan (0,5 kg), tanpa menimbulkan gangguan faali pada sapi jantan umur satu tahun.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih "Conclussive" perlu dilakukan "Scale up" fermentasi, meliputi optimasi, desain (formula) bahan dasar, dan model fermentasi yang sesuai untuk fermentasi semipadat.

INDEKS

A

<i>A. aculeatus</i>	27, 28, 30, 31, 32, 33, 37
<i>A. luchuensis</i>	3, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 58
<i>A. niger</i>	3, 15, 24, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 50, 51, 52, 53, 58
<i>A. oryzae</i>	15, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 35
<i>A. terreus</i>	27, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 47, 48, 49
aktivitas	7, 8, 12, 16, 19, 20, 23, 29, 31, 33, 54, 57, 59, 60, 61, 62, 64, 65
Aktivitas CMC-ase	54
aktivitas mikroba rumen	7
Aktivitas selulase	54, 64
alternatif	2, 36
amorf	1, 6
analisis asam amino	72, 87, 93
<i>Aspergillus sp</i>	2, 3, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 42, 46, 59, 114

B

bagase	1, 5, 13
bahan makanan ternak	1
bakteri	9, 11
biodegradasi	22
biologis	2, 8, 29
Biomassa	1, 5
biomembran	17

D

dedak padi	2, 3, 12, 29, 31, 33, 35, 36, 37, 42, 50, 51, 52, 53, 54, 59, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 99
degradasi	24, 34, 59, 60, 61, 63, 65
degradasi selulosa	8, 61
dinding sel	5, 6, 13

E

efisien	2
energi	2, 24, 67, 76, 81, 82, 88, 92

enzim	1, 6, 8, 11, 12, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 29, 31, 33, 54, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66
enzim hidrolitik	9
enzim proteolitik	17
enzim selulase	12, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 60, 61, 62, 63, 66
enzim selulase kompleks	20
Enzim selulase kompleks	11
Enzim selulosa	9
Enzim selulosa ekstraseluler	11
enzimatis	5, 8, 13, 19, 59, 60

F

faali	7
Faktor	1, 6, 23
Faktor penghambat utama	6
fase translasi	17
fermentasi	2, 6, 13, 27, 29, 31, 33, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 95, 96, 97, 99, 100
fermentasi jerami padi	31, 33, 37, 38, 66, 68, 73, 87, 99
fungi	9, 11, 13, 16, 24, 60

G

glukosa	1, 5, 11, 17, 18, 19, 21, 22, 61, 62, 64, 66
gula-gula sederhana	5, 13, 16, 34, 37

H

hemiselulosa	5
Hidrolisis	8

I

inducible	33
induser aktif	17
inhibitor	1, 34, 60

J

jerami padi 2, 3, 5, 6, 7, 12, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 50, 51, 52, 53, 59, 63, 65, 66, 69, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84, 85, 89, 90, 97, 99

K

kandungan1, 2, 3, 13, 14, 15, 34, 66, 67, 68, 72, 80, 81, 82, 83, 87, 88, 91, 92, 93, 99, 100
 kapang 2, 16, 17, 20, 23, 24, 25, 27, 29, 31, 33, 37, 38, 42, 46, 50, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 62, 63, 65, 67, 70, 71, 72, 76, 84, 85, 92, 99, 100
 kapang dan yeast 76, 100
 karbohidrat 6, 13, 24
 pencernaan 1, 8, 13, 14, 16, 100
 kimia 1, 5, 6, 13, 14
 kimiawi 1
 koefisien cerna 2, 6
 Kondisi optimum 27, 29, 31, 37, 42, 46
 kualitas2, 97, 100
 kultur campuran76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 97

L

lapisan silikat 6
 lignin 5, 6
 limbah 1, 2, 3, 5, 6, 8, 12, 13, 14
 limbah berserat 1, 2, 3, 8, 13
 limbah hasil penggilingan pabrik 2, 12
 limbah kayu 1, 5, 13
 limbah penggilingan 1
 limbah pertanian 1, 2, 5, 6, 12, 13

M

Mekanisme induksi 17
 Mekanisme Sintesis Enzim Selulase 16
 Mekanisme sintesis enzim selulase pada kapang 16
 meningkat 66
 metode 2
 mikroba 1, 2, 8, 13, 19, 24, 33
 mikroba rumen 6

N

nilai nutrien 1, 6

O

onggok 2, 3, 12, 27, 29, 33, 35, 36, 37, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 59, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 89, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 99, 100

P

palatabilitas 1, 2
 pencemaran lingkungan 2, 7, 8
 penggilingan pabrik 5
 penghambat 1, 6, 34
 perkebunan 1
 perlakuan 1, 2, 5, 6, 8, 13, 72, 81, 87, 88, 91, 92, 93, 97
 Perlakuan 8, 50
 Perlakuan biologis 8
 perlakuan fisik 1, 6
 pertanian 1, 2, 5
 pH 7, 17, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 42, 46, 50, 62
 pH optimum 23
 pH rumen 7
 produksi protein sel tunggal 13
 proses lignifikasi 1, 6
 Proses sintesis enzim 16
 proses translokasi 17
 protein 2, 3, 13, 14, 15, 17, 24, 29, 37, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 51, 54, 55, 59, 65, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 80, 83, 85, 86, 89, 92, 93, 95, 97, 99, 100
 protein represor 17
 protein sel tunggal 13, 14, 15
 proteinnya 68, 72, 86

R

rendah 1, 6, 17, 20, 21, 34, 60, 63, 64, 65, 68, 72, 80, 81, 82, 87, 91, 92, 93
 represi 16, 17, 18, 19, 20, 60
 ruminansia 2, 13, 16

S

secara fisik	1, 5
selobiosa	9, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 62, 64, 66
selulase	11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 57, 60, 61, 62, 63, 64
selulolitik	3, 8, 33, 60, 62
selulosa	3, 5, 6, 8, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 37, 38, 41, 42, 45, 46, 49, 50, 53, 54, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 97, 99
selulosa amorf	11, 20, 22
selulosa kristalin	9, 11, 20, 21, 22
selulosa murni	12, 21
selulosa secara enzimatis	22, 23
Silikat	1
sisia	5, 8
Sistem selulase	11
struktur selulosa	1
struktur selulosanya	6
substrat	2, 16, 19, 21, 23, 24, 25, 27, 29, 34, 37, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 59, 60, 61, 63, 65, 66, 69, 78, 79, 89, 90, 95, 96
Substrat	13, 50, 69, 86, 94, 115

T

<i>T. reesei</i>	27, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 47, 48, 49
<i>T. viride</i>	3, 24, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 50, 51, 52, 53
tekanan osmotik rumen	7
teknologi	2
ternak	1, 2, 5, 6, 8, 13, 14, 16
total asam amino	66, 67, 72, 76, 81, 87, 91, 93
transport aktif	17
<i>Trichoderma sp</i>	2, 3, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 42, 46, 59, 114

W

waktu inkubasi	23, 37, 42, 46, 68
----------------	--------------------

Y

yeast	2, 13, 14, 16, 70, 71, 75, 84, 85, 92, 99, 100
-------	--

DAFTAR PUSTAKA

- Annstrop, K. 1979. *Production, Isolation and Economic of Extracellular Enzymes*. dalam M. Arwini, 1986. *Mempelajari Produksi Enzim Selulase dari Aspergillus niger L-51/NRRL-A11 dan Trichoderma viride*. IPB. Bogor.
- AOAC. 1995. *Official Methods of the Analysis of the Association of the Official Agricultural Chemists*. 16th. ed. Washington.
- Bath, M.K., J.S. Gailward, R. Maheshwari. 1993. "Purification and Characterisation of Extracellular β -glucosidase from Thermophilic Fungus and its Influence on Cellulase Activity". *J.of.General Microbiology*. 13:2825-2832.
- Bath, M.K. and G.P. Hazlewood. 2001. *Enzymology and Other Characteristics of Cellulases and Xylanases*. in: M.R. Bedford and G.G. Dastridge.Ed. *Enzymes in Farm Animal Nutrition*. CABI Publs., New York, USA.
- Bergner, H. 1981. *Chemical Treatment of Straw*. *Plant Research*, 5: 61-81.
- Bilgramy, K.S. and R.N. Verma. 1981. *Physiology of Fungy*. Vikas Publishing House PVT. Ltd. 2nd. New Delhi.
- Boyer, R.F. and M.A. Redmond. 1983. *Effect of Chemical on the Activity of a Cellulase from Aspergillus niger*. *Biotechnol. Bioengineering*. 15 : 1311-1319.
- Cole, H.H. and M. Ronning. 1974. *Animal Agricultural*. The Biology of Domestic Animal and Their Use by Man W.H. Freeman & Co. San Feancisco.

- Coutts, A.D. and R.E. Smith. 1976. *Appl. Environ. Microbiol.* 30: 276.
- Coombe, J.B. D.A. Dinius and W.E. Wheeler. 1979. "Effect of Alkali Treatment on Intake and Digestion of Barley Straw by Beef Steers". *J.Anim.Sci.* 49(1) : 169-176.
- Crueger, W. and A. Crueger. 1984. *Biotechnology : A Textbook of Industrial Microbiology*. Sci.Tech.Inc. Madison. Wisconsin
- Dashtban, M., H. Schraft and W. Gin. 2009. "Fungal Bioconversion of Lignocellulosic Residues" : Opportunities and Prospectives International. *J.Biol.* 6: 578-595.
- Dunlop, G.E. and L.C. Chiang. 1980. *Cellulose Degradation. Acommonlink*. In : M.I. Shiler (ed). *Utilization and Recycle of Agricultural Waste and Residue*. CRC Press Inc. Bosco Roton. Florida.
- Emtiazi, G., N. Naghavi and A. Bordbar. 2001. *Biodegradation of Lignocellulosic Waste by Aspergillus terreus*. *Bio-degradation*. 12: 157-161.
- Enari, T.M. 1983. *Microbial Cellulase*. In : W.M. Vorgaty (ed). *Microbioal Enzymes and Biotechnology*. Applied Science Publisher. New York.
- Feerchak, J.D. and E.K. Pye. 1983. In : F. Stutzenberger. 1985. *Regulation of Cellulolytic Activity*. *Annual Report On Fermentation Process*. G.T. Tsao (ed). 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.
- Fennington, G.D., Lupo and F. Stutzenberger. 1982. In : Stutzenberger. 1985. *Regulation of Cellulolytic Activity. Annual Report On Fermentation Process*. G.T. Tsao (ed). 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.

- Fierbe, B. and A.W. Halldorf. 1975. In : Stutzenberger. 1985. *Regulation of Cellulolytic Activity*. Annual Report On Fermentation Process. G.T. Tsao (ed). 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.
- Flaschel, E., E. Raetz and A. Renken. 1982. *The Kinetics of Lactose Hydrolysis for the β -galactosidase from Aspergillus niger*. Biotechnol. Bioeng. 14: 2499-2518.
- Garg, S.K. and S. Neelakantan. 1982. *Effect on Nutritional Factors on Cellulase Enzyme and Microbial Protein*. Production by *Aspergillus terreus* and Its Evaluation. Biotechnol. Bioeng. 24: 2401-2406.
- Garg, S.K. and S. Neelakantan. 1982^a. *Production of Single Cell Protein and Cellulase by Aspergillus terreus from Bagasse Substrate*. Biotechnol. Bioeng. 24: 2407-2417.
- Glymp, J.L. and F.J. Stutzenberger. 1977. In : Stutzenberger. 1985. *"Regulation of Cellulolytic Activity"*. Annual Report On Fermentation Process. G.T. Tsao (ed). 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.
- Gomez-Alarcorn, R.A., J.T. Huber, G.E. Higgin Gotham, F. Wiersma, D. Ammon and B. Taylor. 1991. *"Influence of Feeding Aspergillus oryzae Fermentation Extract on the Milk Yields, Eating Patterns, and Body Temperatures of Lactating Cows"*. J.Anim.Sci. 69:1733-1740.
- Gong, C.S. and G.T. Tsao. 1979. *Cellulase and Biosynthesis Regulation*. In : Pearlman (ed). Annual Report on Fermentation Process. Academic Press. New York. Production by *Aspergillus terreus* and Its Evaluation. Biotechnol. Bioeng. 24 : 2407-2417.
- Gordon, H. Ellis. 1949. *Report on Lignin and Cellulose in Plant*. Association of Official Agricultural Chemists. Vol. 32. No. 2. p 287-291.

- Gray, W.R. and J.P. Ryan. 1988. *A Study of the Effect of Yeast Culture on Ruminal Fermentation in Sheep*. In : T.P. Lyons. Biotechnology in the Feed Industry. Alltech Publication. Nicholas-Ville. Kentucky. p 129-150.
- Grous, W., A. Converse, H. Grethlein and L. Lynd. 1984. *Kinetics of Cellobiose Hydrolysis using Cellobiose Composites from Trichoderma reesei and Aspergillus niger*. Biotechnol. Bioeng. 17:463-470.
- Hogan, J.P. and T.F. Leche. 1983. *Types of Fibrous Residues and Their Characteristics*. in : G.R. Pearce.Ed. The Utilization of Fibrous Agricultural Residues. Aust. Govern. Publs. Service, Canberra.
- Jackson, M.G. 1977. *The Alkali Treatment of Straw*. Anim. Feed. Sci. and Tech. 2: 105-130.
- Jahromi, M.F., J.B. Liang, M. Rostarizan, Y.M. Goh, P. Shokryazdan and Y.W. Ho. 2010. *"Effects of Aspergillus niger (K8) on Nutritive Value of Rice Straw"*. African.J. of Microbiol 9(42): 7043-7047.
- Khan, M.A., M. Sarwar, M. Nisa, M.S. Khan, S.A. Bhatti, Z. Iqbal, W.S. Lee, H.J. Lee, H.S. Kim and K.S. Ki. 2006. *"Feeding Value of Urea Treated Wheat Straw Enticed with Acidified"*. Asian-Aust. J.Anim.Sci. 19: 645-650.
- Kirch Gissner, M. and F.X. Rath. 1973. *The Use of Yeast Grown on Paraffin in Calf Fattening*. In : Zuchtungskunde 46 (1974). pp 56-72; 139-156.
- Lehninger, A.J. 1982. *Principle of Biochemistry*. Worth Publs.Ins. Philippines.
- Leng, R. 1984. *Description of the Nylon Bag Technique to Assess Value of Animal Feds*. International Fondation for Science Stockholm. Sweden.

- Lillehoj, E.B. and Y.W. Han. 1983. *Chemical and Gamma-Ray-Modified Bagasse as Substrates for Bioproduction of Cellulases and Protein*. Biotechnol. Bioeng. 25: 2077-2084.
- Linko, M. 1983. *Progress and Problem in the Utilization of Cellulosic Material*. In : M.P. Ferranti and A. Fiechler ed. Production and Feeding Single Cell Protein. Proc. A Cost Workshop. Zurich. Switzerland.
- Loborzewski, J. and A. Paszczynski. 1983. *Catalytic Properties of Immobilized Crude and Pure Glucoamylase from Aspergillus niger*. Biotechnol. Bioeng. 15: 3207-3212.
- MacDonald, D.G., N.N. Bakhshi, J.F. Mathews, Roychowdhury and P. Bajpai. 1983. *Alkali Treatment of Corn Stover to Improve Sugar Production by Enzymatic Hydrolysis*. Biotechnol. Bioeng. 25: 2076-2607.
- Martin, S.A. and D.J. Nisbet. 1990. "Effect of *Aspergillus oryzae* Fermentation Extract on Fermentation of Amino Acids, Bermudagra and Strach by Mixed Ruminant Micro-organism in vitro". J.Anim.Sc. 68: 3392-3398.
- Mathew, G.M., R.K. Sukumaran, R.R. Sighania and A. Pandeg. 2008. "Progress in Research on Fungal Celluloses for Lignocellose Degradation". J. of Scientific and Industrial. Aust. 67: 898-901.
- Mc Manur. 1983. *Structure of The Plant Cell Wall in Relation to its Biodegradability*. in : G.R. Pearce.Ed. The Utilization of Fibrous Agricultural Residues. Aust.Govern.Publs.Service, Canberra.
- Mendel, M. and E.T. Reese. 1960. In : F. Stutzenberger. 1985. *Regulation of Cellulolytic Activity*. Annual Report on Fermentation Process. G.T. Tsao ed. 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.

- Mendel, M. and E.T. Reese. 1964. In : *Topics in Enzyme and Fermentation Biotechnology*. Alan Wesemea. eds. 19779. John Willey and Sons. New York.
- Mendel, M. and F. Weber. 1969. In : *Haeny, G.F. and Reese, E.T.* eds. Cellulase and Their Application. Am.Chem.Soc. Washington DC. pp 391-414.
- Mendel, M., L. Hantz, J. Nystron. 1974. *Enzymatic Hidrolysis of Waste Cellulose*. Biotech. and Bioeng. 16: 1471-1484.
- Mendel, M., D. Sternberg and R.E. Andreoti. 1975. In : F. Stutzenberger. 1985. *Regulation of Cellulolytic Activity*. Annual Report On Fermentation Process. G.T. Tsao (ed). 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.
- Mendel, M., D. Sternberg and R.E. Anreoti. 1975. Sym. *Enzym. Hidrol. of Cellulose* (Linko M. ed.). Linko, Aulanko. Finland. p 81.
- Mendel, M., R. Andreoti and C. Roche. 1976. "Measurement of Saccharifying". Biotech. and Bioeng. Symp. 6: 21-23.
- Milala, M.A., B.B. Sheha, H. Zanna and W.O. Omosioda. 2009. *Degradation of Agro-Waste by Cellulase from Aspergillus candidas*. Asian J.Biotech. 1:51-56.
- Miller, T.F. and V.R. Srinivasan. 1983. *Production of Single Cell Protein from Cellulose by Aspergillus terreus*. Biotechnol. Bioeng. 25: 1509-1519.
- Montonecourt, B.S. and D.E. Evelegh. 1979. *Technical Association of Pulp and paper Industries*. In : T.M. Enari. 1983. Microbial Cellulase Applied Science Publisher. London-New Tork.

- Montonecourt, B.S. 1983. *Strain Improvement for the Production of Microbial Enzyme for Biomass Conversion*. In : Production and Feeding of Single Cell Protein. M.P. Ferranti and A. Fiechler ed. Proc. of a Cost Workshop. Zurich. Switzerland.
- Moulin, G., F. Deschamp and P. Galzy. 1983. *Study of SCP Production from Starch*. In : M.P. Ferranti and A. Fiechler eds. Production and Feeding Single Cell Protein. Proc. of Cost Workshop. Zurich. Switzerland.
- Nizizawa, T., H. Suzuki and K. Nizizawa. 1972. In : F. Stutzenberger. 1985. *Regulation of Cellulolytic Activity*. Annual Report On Fermentation Process. G.T. Tsao (ed). 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.
- Ohmine, K., H. Ooshina and Y. Harano. 1983. *Kinetic Study on Enzymatic Hidrolysis of Cellulose by Cellulase from Trichoderma viride*. Biotechnol. Bioeng. 25: 2401-2053.
- Peres, J., J. Mundoz-Dorado, T. dela Rubia and J. Martinez. 2002. *Biodegradation and Biological Treatment of Cellulose, Hemicellulose and Lignin*. International Microbial. 5: 53-56.
- Petterson, L.G. 1975. In : *Topics in Enzyme and Fermentation Biotechnology*. Alan Wesemea. eds. 19779. John Willey and Sons. New York.
- Reed, G. 1975. *Enzymes in Food Processing*. Food Science and Technology. Academic Press. New York. San Francisco. London.
- Reese, E.T. 1972. "Enzyme Engineering". Biotechnol and Bioeng. Symp. No. 3(L.E. Wingard: Jr.ed.). Interscience Publisher. New York.

- Reese. 1975. In : Reed, G. 1975. *Enzymes in Food Processing*. Food Science and Technology. Academic Press. New York. San Francisco. London.
- Reese, E.T. 1977. In : F. Stutzenberger. 1985. *Regulation of Cellulolytic Activity*. Annual Report On Fermentation Process. G.T. Tsao (ed). 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.
- Rexen, F. and K.V. Thompsen. 1976. *The Effect on Digestibility of a New Technique for Alkali Treatment of Straw*. Anim.Feed Sci. and Tech. 1: 73-83.
- Rexen, F. 1983. *Principles for Pre-treatment of Cellulose Substanse*. In : M.P. Ferranti and A. Fiechler eds. Production and Feeding Single Cell Protein. Proc. of Cost Workshop. Zurich. Switzerland.
- Rodney, F.B. and M.A. Redmond. 1983. *Effect of Chemical Modification of Cellulose on the Activity of a Cellulase from Aspergillus niger*. Biotechnol. Bioeng. 25: 1311-1319.
- Rose, H.A. and J.S. Horrison. 1970. *The Yeast*. Volume 3. Teast Technology. Academic Press. London.
- Rustomo, B. dan Efka Aris, R., 2010. "Optimasi Produksi dan Kualitas Susu Kambing di Pedesaan Pesisir Melalui Aplikasi Teknologi Silase Complete Feed Berbasis Limbah Pertanian dan Perikanan Lokal". Pen.Stranas. (belum dipublikasikan).
- Saddler, J.N., H.H. Brownell, L.P. Clermont and N. Levitin. 1992. *Biotechnol. Bioeng.* 24: 1389-1402.
- Sagar, F.B. 1985. *Mechanism of Cellulase Action*. In : J.F. Kenedy and G.D. Philips. ed. Cellulose and Its Derivatives. Ellisa or Wood Limited. Hilted Press. John Willey and Sons. New York.

- Sarvar, M. M.A. Khan and M. Nisa. 2004. *Effect of Fermentabel Carbohydrat on Digestibility of Urea Treated Wheat Straw in Buffalo Bulls*. Aust.J.Agric.Res. 55: 223-228.
- Scheimann, R., K. Nehring, L. Hoffmann, W. Jentsch and A. Chudy. 1971. *Energy Feed Evaluation and Energy Norms*. Berlin : Dtsch. Landwrtshftsverlag.
- Screwmshaw, N.S. 1985. *Aceptance of Single Cell Protein for Human Food Application*. In : C.W. Robuton and J.A. Howell (eds.). *Comprehensive Biotechnology*. Vol. 4. pp 682.
- Seeley. 1951, Willey et al., 1951. In : Rose, H.A. and J.S. Horrison. 1970. *The Yeast*. Volume 3. Teast Technology Academic Press. London.
- Shiraiishi, F., K. Kawakami and K. Kusunoki. 1985. *Kinetics of Condensation of Glucosa into Maltose and Isomaltase in Hydrolysis of Starch by Glucoamylase*. *Biotechnol. Bioeng.* 17: 448-502.
- Shomaker, S.P. and R.D. Brown. 1978. In : F. Stutzenberger. 1985. *Regulation of Cellulolytic Activity*. *Annual Report On Fermentation Process*. G.T. Tsao (ed). 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.
- Sinitsyn, A.P., B. Nadzhemi and A.A. Klesov. 1985. *Effect of Components of the Cellulase Complex on the Kinetics of Cellulose Hydrolysis*. *Appl. Biochem. Microbiol.* 21: 257-261.
- Somogyi, M. 1952. *Notes on Sugar Determination*. *J.Biol.Chem.* 195: 19.
- Stenberg, D. and M. Mendel. 1979. *Induction Cellulotic Enzymes in Trichoderma reesei by Spores*. *J.Bacteriol.* 139: 761-769.

- Sudo, T., H. Nagayama and K. Tonori. 1976. In : F. Stutzenberger. 1985. *Regulation of Cellulolytic Activity*. *Annual Report On Fermentation Process*. G.T. Tsao (ed). 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.
- Suharto, M., 2004. *"Dukungan Teknologi Pakan dalam Usaha Sapi Potong Berbasis Sumberdaya Lokal"*. Lokakarya Nasional Sapi Potong, 2004.
- Suwandastyuti, SNO. 1982. *"Pengaruh Penambahan Energi, Sulfur dan Fosfor terhadap Inkorporasi Radio-Sulfur S-35 ke dalam Mikroba Rumen"*. *Tesis*. Fakultas Pascasarjana. IPB - Bogor.
- Suwandastyuti, SNO. 1986. *"Peningkatan Mutu Jerami Padi Ditinjau dari Neraca Mineral Esensial pada Sapi Perah"*. *Disertasi*. Fakultas Pascasarjana. IPB-Bogor.
- Suwandastyuti, SNO., E.A. Rimbawanto, B. Subardjo, Prayitno, S. Zubaedah dan I. Irawan. 1995. *"Pemanfaatan Limbah Berserat sebagai Pakan Ruminansia Melalui Peningkatan Kualitas Energi dan Protein dengan Mikroba : Sub Judul 1. Peningkatan Mutu Energi dengan Fermentasi Trichoderma sp. dan Aspergillus sp"*. *Laporan Penelitian Hibah Bersaing III/1*. DP2M., DIKTI. Fakultas Peternakan UNSOED. Purwokerto.
- Suwandastyuti, SNO., E.A. Rimbawanto, B.Subardjo, Prayitno, S. Zubaedah dan I. Irawan. 1996. *"Pemanfaatan Limbah Berserat sebagai Pakan Ruminansia Melalui Peningkatan Mutu Energi dan Protein dengan Mikroba : Sub Judul 2. Peningkatan Mutu Protein dengan Candida utilis dan Sacharomyces cereviseae"*. *Laporan Penelitian Hibah Bersaing III/2*. DP2M., DIKTI, Fakultas Peternakan UNSOED. Purwokerto.

Suwandiyastuti, SNO., B. Subardjo, E.A. Rimbawanto dan Prayitno. 1997. "*Pemanfaatan Limbah Berserat sebagai Pakan Ternak Ruminansia Melalui Peningkatan Kualitas Energi dan Protein dengan Mikroba*". Sub Judul 3. Sifat dan Kualitas Protein Hidrolisat Jerami Padi, Dedak Padi dan Onggok Terfermentasi". Laporan Penelitian Hibah Bersaing III/3 Perguruan Tinggi DP3M Ditjen Dikti Depdiknas. Fakultas Peternakan UNSOED. Purwokerto.

Suwandiyastuti, SNO., B. Subardjo, E.A. Rimbawanto dan Prayitno. 1998. "*Pemanfaatan Limbah Berserat sebagai Pakan Ternak Ruminansia Melalui Peningkatan Kualitas Energi dan Protein dengan Mikroba*". Sub Judul 4. Kecernaan Energi dan Protein pada Sapi Jantan P.O. Umur Satu Tahun. Laporan Penelitian Hibah Bersaing III/4 Perguruan Tinggi DP3M Ditjen Dikti Depdiknas. Fakultas Peternakan UNSOED. Purwokerto.

Suwandiyastuti, SNO., Rimbawanto dan Ning Iriyanti. 2010. "*Pengaruh Imbalance Jerami Padi, Dedak Padi dan Onggok Terfermentasi Terhadap Kecernaan dan Produk Fermentasi Secara in vitro*". J.Agripet. 10 (2) : 59-63.

Suwandiyastuti, SNO., and M. Batta. 2010. "*Improvement of Rice Straw for Ruminant Feed Through Unconventional Alkali Treatment and Supplementation of Various Protein Source*". J.Amin.Prod. 12(2): 82-85.

Suwandiyastuti, SNO. dan Rimbawanto. 2011. "*Pemanfaatan Limbah Berserat dalam Konsentrat untuk Sapi Jantan Umur Satu Tahun*". J.Agripet. 11 (1) : 1-4.

Suwandiyastuti, SNO., E.A. Rimbawanto, Prayitno. 2012. "*Peningkatan Mutu Jerami Padi, Dedak Padi dan Onggok dengan Fermentasi Fungi dan Yeast*". J.Agripet. 12(2) : 24-32.

Suwandiyastuti, SNO., 2013. "*Produk Metabolisme Rumen pada Sapi Peranakan Ongole Fase Tumbuh*". J.Agripet. 13 (1): 31-35.

Tavobilov, I.M., N.A. Radionova, D. Yu. Baltser, A.K. Aren and A.M. Bezborodov. 1985. *Immobilization of the Hemicellulose Complex of Aspergillus niger on Benzoquinone Silichrome*. Appl. Biochem. Microbiol. 21: 639-642.

Theader, O. and P. Aman. 1984. *Anatomical and Chemical Characteristics*. In : F. Sudstol and E. Owen (eds). Straw and Other Fibrous by Products as Feed. Elsevier. 45-78.

Thomke, S. 1983. *Economic Consideration Regarding SCP in Animal Feeding*. In : M.P. Ferranti and A. Fiechler eds. Production and Feeding Single Cell Protein. Proc. of Cost Workshop. Zurich. Switzerland.

Updegraf, M.D. 1969. *Semimicro Determination of Cellulose in Biological Material*. Analytical Biochemistry. 32: 420-424.

Veurs, U.E., S.V. Strikonska, M.P. Laite and A.J. Berzins. 1987. *Combined Submerged and Solid Substrat Fermentation for Bioconversion of Lignocellulose*. Biotech. and Bioeng. 30: 282-288.

Waiss, A.C., J. Gaggola, G.O. Kohler, H.G. Walker and W.H. Garret. 1972. "*Improving Digestibility of Straw for Ruminant Feed by Aqueous Ammonia*". J.Anim.Sci. 35(1): 109-112.

Wal, P.V.O. 1974. *New Source of Amino Acid for Pig and Poultry Nutrition*. World. Anim. Review. Vol. 9. pp 32.

Wang, D.I.C., C.L. Cooney, A.L. Demain, P. Dunhill, A.E. Humphrey and Lily. 1979. *Fermentation and Enzymes Technology*. John Willey and Son. New York.

- Wenk, C. 1983. *The Animal Nutrition Dream and New SCP*. In : M.P. Ferranti and A. Fiechler eds. *Production and Feeding Single Cell Protein*. Proc. of Cost Workshop. Zurich. Switzerland.
- Whitaker, J.R. and S.R. Tannenbourn. 1979. *Food Protein*. AVI Publishing Company. Inc. Westport. Connecticut.
- William, G., A. Converse, H. Grethlein and L. Lynd. 1985. *Kinetics of Cellobiose Hydrolysis using Cellobiose Composites from Trichoderma reesei and Aspergillus niger*. Biotechnol. Bioeng. 27:463-470.
- William, P.E.V. 1988. *Understanding the Biochemical Mode of Action of Yeast Culture*. In : T.P. Lyons. *Biotechnology in the Feed Industry*. Alltech Technical Publications. Nicholas-ville. Kentucky. p 79-99.
- William, P.E.V., C.A.G. Tait, G.M. Inners and G.J. Newbold. 1991. "Effect of the Inclusion of Yeast Culture (*Sacharomyces cerevisiae* Plus Growth Medium) in Diet of Dairy Cows on Milk Yield and Forage Degradation and Fermentation Patterns in the Rumen of Steers". J.Anim.Sci. 69: 3016-3026.
- Willis, C.M., O.T. Stallcup and D.L. Kreider. 1980. "Influence of Sodium Hydroxide and Enzym Addition on Nutritive Values of Rice Straw". J.Anim.Sci. 50: 303-308.
- Wood, T.M. 1972. In : *Fermentation Technology To Day*. Soc.Ferment.Technol. Osaka. pp 717.
- Wood, T.M. and S.I. McCray. 1972. In : *Topics in Enzyme and Fermentation Biotechnology*. Alan Wesemea eds. 19779. John Willey and Sons. New York.

- Wood, T.M. and S.I. McCray. 1979. In : F. Stutzenberger. 1985. *Regulation of Cellulolytic Activity*. Annual Report On Fermentation Process. G.T. Tsao (ed). 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.
- Yaname, K., H. Suzuki and K. Nizawa. 1970. In : F. Stutzenberger. 1985. *Regulation of Cellulolytic Activity*. Annual Report On Fermentation Process. G.T. Tsao (ed). 1985. Academic Press Inc. New York. pp 111-147.
- Yaziciogen, T. 1983. *Whey as a Source for Microorganism/Amino Acid Pattern*. In : M.P. Ferranti and A. Fiechler eds. *Production and Feeding Single Cell Protein*. Proc. of Cost Workshop. Zurich. Switzerland.

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan
Peningkatan Mutu Limbah Berserat Melalui Perlakuan Mikrobiologis Untuk
Pakan Ternak Ruminansia

© Universitas Jenderal Soedirman

Cetakan Pertama Tahun 2013
Hak Cipta dilindungi Undang-undang
All Right Reserved

Penulis

: S.N.O. Suwandastyuti,
Efika Aris Rimbawanto,

Prayitno,

Iwan Irawan,

Perancang Sampul : Tim UPT. Percetakan dan Penerbitan Unsoed
Penata Letak : Tim UPT. Percetakan dan Penerbitan Unsoed
Pracetak dan Produksi : Tim UPT. Percetakan dan Penerbitan Unsoed

Penerbit:



UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN

Jalan Prof. Dr. H.R. Boenjamin 708 Purwokerto
Kode Pos 53122 Kotak Pos 115

Telepon 635292 (Hunting) 638337, 638795

Faksimile 631802

www.unsoed.ac.id

ISBN: 978-979-9204-85-1
xii + 130 hal, 15,5 cm x 23 cm

Dilarang keras memfotocopy atau memperbanyak sebagian atau
seluruh buku ini tanpa seijin tertulis dari penerbit.