

F/TPG/1992/069

**MEMPELAJARI PEMBUATAN PROTEIN SEL TUNGGAL
DARI TEPUNG SAGU DENGAN METODE
FERMENTASI MEDIUM PADAT**

Oleh

TRESNA HANDAYANI

F 23. 0123



1 9 9 2

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

B O G O R

Tresna Handayani. F 23.0123. Mempelajari Pembuatan Protein Sel Tunggal dari Tepung Sagu dengan Metode Fermentasi Medium Padat. Di bawah bimbingan Dr. Ir. Rizal Syarif, DESS, Dr. Ir. Toga Silitonga, MSc. dan Dr. Ir. Budiartman Satiawihardja, MSc.

RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pembuatan protein sel tunggal dari tepung sagu dengan metode fermentasi medium padat.

Proses pembuatan protein sel tunggal dilakukan dengan skala kecil (di dalam erlenmeyer 500 ml) dan skala menengah (dengan inkubator beraerasi).

Aspergillus niger L51 dan *Aspergillus oryzae* TA₁ masing-masing ditumbuhkan pada media padat tepung sagu yang ditambah dengan air suling, sumber nitrogen : urea (1 %, 2 %, 3 %, 4 % dan 5 % (w/w)), amonium sulfat 9 % (w/w), KH₂PO₄ 4.5 % (w/w) dan larutan mineral yang mengandung MgSO₄.7H₂O, CaCl₂, FeSO₄.7H₂O, MnSO₄.7H₂O, ZnSO₄.7H₂O, CoCl₂ dan ekstrak khamir. Komposisi mineral tersebut dapat dilihat pada Lampiran 7. Setelah waktu inkubasi yang ditetapkan yaitu : 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 hari, protein sel tunggal yang dihasilkan dipanen dan dianalisa kadar air, kadar protein, pH, kadar abu, kadar pati dan efisiensi konversi pati menjadi protein.

Secara umum *Aspergillus niger* L51 menghasilkan protein sel tunggal yang lebih baik dibandingkan dengan



Aspergillus oryzae TA₁ dan *Aspergillus* sp. berspora hitam dan hijau yang diisolasi dari gabah.

Semakin tinggi konsentrasi urea yang digunakan, kadar protein maksimum dari protein sel tunggal yang dihasilkan semakin tinggi. dan mencapai nilai maksimum pada konsentrasi urea 4 %. Pada konsentrasi urea 5 % kadar protein justru mengalami penurunan. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai kadar protein maksimum semakin lama pada tingkat konsentrasi urea yang lebih tinggi. Pada konsentrasi urea 4 % waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar protein maksimum adalah 6 hari.

Aspergillus niger L51 menghasilkan kadar protein maksimum sebesar 22.27 % (bk). Sedangkan *Aspergillus oryzae* TA₁ menghasilkan kadar protein maksimum sebesar 21.37 % (bk).

Proses fermentasi media padat menggunakan inkubator beraerasi dapat meningkatkan kadar protein dari protein sel tunggal yang dihasilkan menjadi 40.02 % (bk) untuk *Aspergillus niger* L51 dan 30.59 % (bk) untuk *Aspergillus oryzae* TA₁.



MEMPELAJARI PEMBUATAN PROTEIN SEL TUNGGAL
DARI TEPUNG SAGU DENGAN METODE
FERMENTASI MEDIUM PADAT

Oleh

TRESNA HANDAYANI

F23.0123

SKRIPSI

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada jurusan TEKNOLOGI PANGAN DAN GIZI

Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

1 9 9 2

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

BOGOR

INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

MEMPELAJARI PEMBUATAN PROTEIN SEL TUNGGAL
DARI TEPUNG SAGU DENGAN METODE
FERMENTASI MEDIUM PADAT

SKRIPSI
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada JURUSAN TEKNOLOGI PANGAN DAN GIZI
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor

oleh

TRESNA HANDAYANI

F23.0123

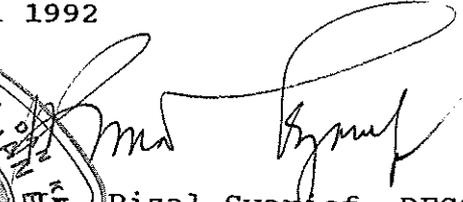
Dilahirkan pada tanggal 17 Maret 1968

di Purworejo

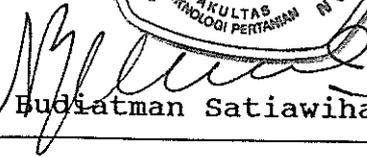
Tanggal lulus:..Januari 1992

Disetujui

Bogor, ..Januari 1992

 
Dr. Ir. Toga Silitonga, MSc. Rizal Syarif, DESS
Dosen Pembimbing II Dosen Pembimbing I




Dr. Ir. Budiatman Satiawihardja, MSc.
Dosen Pembimbing III

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke Hadirat Allah Bapak Kami, atas berkat dan kasih setiaNya pada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir dan penyusunan skripsi ini.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Pusat Pengembangan Teknologi Pangan dan Laboratorium Bangsal Percontohan Hasil Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Rizal Syarief, DESS, Dr. Ir. Toga Silito-nga, MSc. dan Dr. Ir. Budiatman Satiawihardja, MSc. yang telah memberikan bimbingan selama penelitian sampai tersusunnya skripsi ini.
2. Semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan dan petunjuk yang berharga selama penelitian.
3. Bapak, Ibu, Bang Manuara, Ibu Ing Mokoginto dan kakak-kakak tercinta yang telah memberikan bantuan biaya, dorongan semangat dan doa restu kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Bogor, Januari 1992

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR LAMPIRAN.....	v
I. PENDAHULUAN.....	1
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
A. TINJAUAN UMUM SAGU.....	4
B. PROTEIN MIKROBIAL.....	11
C. FERMENTASI MEDIUM PADAT.....	19
D. <i>ASPERGILLUS</i> SP.....	21
III. BAHAN DAN METODE PENELITIAN.....	27
A. BAHAN DAN ALAT.....	27
B. KONDISI PROSES.....	27
C. METODE PENELITIAN.....	31
D. PENGAMATAN.....	40
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
A. PENELITIAN PENDAHULUAN.....	44
B. PENELITIAN UTAMA.....	54
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	98
A. KESIMPULAN.....	98
B. SARAN.....	99



	halaman
DAFTAR PUSTAKA.....	101
LAMPIRAN.....	105

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyediakan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kitab atau terjemahan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University
2. Dilarang menggunakan dan menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 1.	Areal dan produksi sagu di Indonesia .	7
Tabel 2.	Komposisi kimia tepung sagu dibandingkan dengan tepung ubi kayu per 100 gr bahan.....	10
Tabel 3.	PH untuk pertumbuhan mikroba	17
Tabel 4.	Kandungan asam nukleat pada protein mikroba	19
Tabel 5.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap peningkatan kadar air substrat pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51.....	59
Tabel 6.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap peningkatan kadar air substrat pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51.....	59
Tabel 7.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap kadar air substrat pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	60
Tabel 8.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap kadar air substrat pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	60
Tabel 9.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap nilai pH pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51....	70
Tabel 10.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap nilai pH pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51.....	70
Tabel 11.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap nilai pH pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	71
Tabel 12.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap nilai pH pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	71

Tabel 13.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51.....	79
Tabel 14.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51.....	79
Tabel 15.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh konsentrasi ura terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	80
Tabel 16.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	80
Tabel 17.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap penurunan kadar pati pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51.....	84
Tabel 18.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap penurunan kadar pati pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51.....	84
Tabel 19.	Hasill uji beda nyata Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap penurunan kadar pati pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	85
Tabel 20.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap penurunan kadar pati pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	85
Tabel 21.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap nilai efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroa <i>Aspergillus niger</i> TA ₁	93
Tabel 22.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap nilai efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51.....	93

Tabel 23.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap nilai efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	94
Tabel 24.	Hasil uji beda nyata Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap nilai efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	94

Has Cipta nirk IPB University
1. Dihasilkan sebagai salah satu bentuk karya dari kegiatan penelitian dan pengembangan sumber
4. Pengujian hasil karya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, pertukaran karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan buku atau tulisan untuk masalah
5. Pengujian tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University
1. Dihasilkan sebagai hasil dari kegiatan penelitian dan pengembangan sebagai salah satu bentuk karya tulis dan/atau bentuk apapun karya tulis IPB University

Gambar 14.	Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	62
Gambar 15.	Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap peningkatan kadar abu pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51.....	64
Gambar 16.	Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap peningkatan kadar abu pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	65
Gambar 17.	Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap nilai pH pada mikroba <i>A. niger</i> L51.....	68
Gambar 18.	Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap nilai pH pada mikroba <i>A. oryzae</i> TA ₁	69
Gambar 19.	Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51	73
Gambar 20.	Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	74
Gambar 21.	Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap penurunan kadar pati pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51.....	88
Gambar 22.	Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap penurunan kadar pati pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	89
Gambar 23.	Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba <i>A. niger</i> L51.....	90

halaman

Gambar 24.	Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba <i>A. oryzae</i> TA ₁	91
Gambar 25.	Hubungan antara lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada pembuatan PST dengan inkubator ber-aerasi pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51 dan <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	96

DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1.	Rekapitulasi data hasil pengukuran kadar air	106
Lampiran 1a.	Analisa sidik ragam kadar air pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51	107
Lampiran 1b.	Analisa sidik ragam kadar air pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	107
Lampiran 2.	Rekapitulasi data hasil pengukuran nilai pH.....	108
Lampiran 2a.	Analisa sidik ragam nilai pH pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51	109
Lampiran 2b.	Analisa sidik ragam nilai pH pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	109
Lampiran 3.	Rekapitulasi data hasil pengukuran kadar protein	110
Lampiran 3a.	Analisa sidik ragam kadar protein pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51.	111
Lampiran 3b.	Analisa sidik ragam kadar protein pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	111
Lampiran 4.	Rekapitulasi data hasil pengukuran kadar pati	112
Lampiran 4a.	Analisa sidik ragam kadar pati pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51	113
Lampiran 4b.	Analisa sidik ragam kadar pati pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	113
Lampiran 5.	Rekapitulasi data hasil pengukuran efisiensi konversi pati menjadi protein	114
Lampiran 5a.	Analisa sidik ragam efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51	115

	halaman
Lampiran 5b. Analisa sidik ragam efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	115
Lampiran 6. Rekapitulasi data hasil pengukuran kadar abu	116
Lampiran 6a. Analisa sidik ragam kadar abu pada mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51	117
Lampiran 6b. Analisa sidik ragam kadar abu pada mikroba <i>Aspergillus oryzae</i> TA ₁	117
Lampiran 7. Komposisi nutrien	118

I. PENDAHULUAN

Sagu sebagai bahan pangan maupun pakan telah lama dikenal di Indonesia. Sejak dahulu kala penduduk kepulauan Maluku menggunakan sagu sebagai makanan pokok, demikian juga di sebagian Irian Jaya, sebagian Sulawesi serta pesisir dan Kepulauan Riau. Secara tradisional sagu diolah menjadi bahan makanan tambahan atau selingan di banyak daerah di Indonesia. Di samping itu, sagu juga digunakan untuk bahan pencampur makanan ternak sebagai pengganti tepung jagung dan sereal.

Sebagai salah satu bahan pangan atau pakan, sagu tersebut dapat diolah menjadi makanan dan energi serta memiliki potensi yang cukup besar. Saat ini diperkirakan tidak kurang dari tiga juta ton tepung sagu dapat dihasilkan per tahun, yaitu dari areal yang diperkirakan tidak kurang dari 500.000 ha (Satari et al., 1980 di dalam Nadirman Haska, 1985) Di samping itu sagu adalah salah satu sumber daya hayati yang lestari dan mempunyai prospek yang dapat memecahkan masalah pangan dan energi.

Dewasa ini, masalah kekurangan protein telah menjadi suatu hambatan di berbagai bagian dunia ini, terutama bagi negara-negara yang sedang berkembang, termasuk Indonesia.

Jasad renik dengan daya sintesa dan rombaknya yang besar dapat dimanfaatkan untuk menanggulangi masalah kekurangan protein di masa mendatang melalui pengembangan

sumber protein non konvensional yang biasa dikenal sebagai protein mikrobial (Protein Sel Tunggal).

Protein mikrobial (Protein Sel Tunggal) adalah sel kering dari jasad renik seperti kapang, khamir, bakteri, ganggang dan Actinomycetes yang ditumbuhkan pada suatu sistem kultur tertentu berskala besar untuk digunakan sebagai sumber protein dalam pangan maupun pakan (Litchfield, 1983). Kecenderungan jasad renik sebagai suatu sistem teknologi didasarkan pada sifat-sifatnya yang menguntungkan antara lain : (a) mampu tumbuh dan berkembang biak dengan cepat pada substrat organik yang digunakan, (b) mempunyai kemampuan fisiologik yang diperlukan untuk menghasilkan hasil akhir yang dikehendaki, (c) mampu melakukan proses yang dimaksud dalam lingkungan tertentu yang dikehendaki.

Secara garis besar bahan baku untuk pembuatan protein mikrobial (Protein Sel Tunggal) harus mengandung air, sumber nitrogen, oksigen, sumber karbon dan mineral.

Menurut Flach (1983), komponen utama dari sagu adalah karbohidrat, yakni sebanyak 84,7 %. Sedangkan kandungan protein rendah yakni sekitar 0,7 %. Oleh karena itu bila sagu digunakan sebagai makanan pokok baik untuk pangan maupun pakan diperlukan suatu alternatif untuk meningkatkan nilai gizi (protein) sagu. Salah satu cara adalah dengan metode fermentasi menggunakan mikroba (pembuatan PST). Proses ini mengkonversikan karbohidrat menjadi

protein mikroba. Metode ini pernah dicoba oleh Senez, 1978, dengan menggunakan mikroba *Aspergillus niger* dan bahan baku tepung tapioka.

Produksi protein mikrobial (protein sel tunggal) yang dilakukan di negara-negara maju, bersifat padat modal dan menuntut tingkat penguasaan teknologi yang memadai. Untuk dapat beroperasi secara ekonomis, industri protein mikrobial harus berproduksi dengan kapasitas di atas 100.000 ton per tahun (Mac Lennan, 1975).

Melihat kenyataan di atas, dipilih fermentasi pada substrat padat karena kesederhanaan proses yang tidak memerlukan peralatan terlalu canggih, sehingga mudah diterapkan. Di samping itu masyarakat Indonesia telah lama mengenal sistem fermentasi substrat padat seperti halnya pembuatan tempe, oncom dan tape.

Penelitian ini bertujuan mempelajari pemanfaatan tepung sagu sebagai substrat dalam produksi protein mikrobial dengan cara fermentasi bersubstrat padat dan mempelajari efisiensi produksinya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah tepung sagu untuk substitusi kebutuhan protein pakan.



II. TINJAUAN PUSTAKA

A. TINJAUAN UMUM SAGU

1. Botani Sagu

Pohon sagu termasuk divisio Spermatophyta, ordo Spaciflirae, klas Angiosperme, subklas Monocyledoneae, famili Araeae (Palmae), genus Metroxylon. Sagu tumbuh dalam bentuk rumpun-rumpun di daerah rendah pada rawa-rawa. Tinggi pohon dapat mencapai 15 meter, tebal kulit sekitar 3-5 cm (Ruddle et al., 1978).

Pada rumpun sagu rata-rata terdapat 1-8 batang dimana pada setiap pangkal batang tumbuh 5-7 anakan. Batang sagu tersebut merupakan silinder untuk mengakumulasi karbohidrat.

Menurut Harsanto (1986), pada waktu panen batang sagu bisa mencapai berat 1 ton, dimana \pm 20 persen empulur mengandung tepung, sehingga satu pohon sagu mampu menghasilkan 150-300 kg tepung sagu basah. Berat tersebut masih ditambah akar dan mahkota daun \pm 50 kg.

Menurut Sarjono, 1980 di dalam Yana Sumarna, 1986, ada dua spesies sagu yang mempunyai nilai ekonomi tinggi, yaitu *Metroxylon sagu* dan *Metroxylon rumphii*. *M. sagu* mempunyai empulur yang enak dan

tepungnya enak. Tiap pohon dapat menghasilkan 500 kg tepung sagu. *M. rumphii* empulur batangnya lunak, daunnya panjang dan berujung runcing serta menghasilkan tepung yang enak. Tiap pohon dapat menghasilkan 200 kg tepung sagu.

Pohon sagu tumbuh paling subur di dataran rendah, di hutan-hutan berawa dan di tepi-tepi muara sungai. Pohon ini dapat tumbuh pada ketinggian lebih dari 10 meter di atas permukaan laut, tetapi kadang-kadang dapat tumbuh subur pada ketinggian 600 meter di atas permukaan laut (Deinum, 1984 di dalam Nadirman Haska, 1985). Adapun temperatur optimum untuk pertumbuhan pohon sagu belum diketahui sampai sekarang.

2. Penyebaran dan Potensi

Sagu umumnya tumbuh di daerah dataran rendah hingga ketinggian 700 meter di atas permukaan laut. Habitat sagu umumnya adalah daerah rawa air tawar, sekitar sumber air, sekitar aliran sungai, dataran rendah yang lembab (Flach, 1977). Produksi sagu terbaik hanya dapat diperoleh pada daerah-daerah sampai dengan ketinggian 400 meter dari permukaan air laut, sedang lingkungan hidup yang baik bagi tanaman sagu adalah daerah yang berlumpur, basah dengan air tanah yang berwarna coklat dan bereaksi

sedikit asam. Biasanya pertumbuhan sagu paling baik pada tanah lumpur, bendungan yang tinggi dan pinggiran kelok-kelok sungai (Harsanto, 1986).

Diperkirakan potensi sagu di Indonesia tidak kurang dari 740.000 ha, setara dengan 5.180.000 - 8.510.000 ton tepung sagu kering per tahun (Harsanto, 1986). Sedangkan pusat penyebaran tanaman sagu adalah Kepulauan Maluku. Menurut Johnson (1977), sagu adalah tanaman tropis di mana penyebarannya membentang dari Kepulauan Pasifik Selatan ke arah barat melalui Malanesia, Indonesia, Malaysia dan Thailand.

Menurut Flach (1983), diperkirakan luas areal tanaman sagu di dunia lebih kurang 2.200.000 ha, di mana 1.128.000 ha diantaranya terdapat di Indonesia dengan penyebaran terluas Irian Jaya, menyusul Maluku, Sumatera, Kalimantan, Kepulauan Riau, Sulawesi, Kepulauan Mentawai dan daerah-daerah lain dengan areal relatif kecil. Adapun penyebaran tanaman sagu di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1 (Harsanto, 1986).

Sebatang pohon sagu rata-rata dapat menghasilkan kurang lebih 150 kg pati dengan kisaran rata-rata antara 90 - 325 kg (Flach, 1983). Sedangkan menurut Harsanto (1986), pada kondisi pertumbuhan yang liar, produksi mencapai 40 sampai 60 batang per

hektar dengan jumlah empulur 1 ton/batang. Sedangkan kandungan tepung 18,5 % dengan perkiraan produksi tepung 7-11 ton tepung kering/ha/tahun, 100-600 kg tepung kering/batang.

Tabel 1. Areal dan Produksi Sagu di Indonesia

Propinsi	Areal (ha)	Produksi (ton/tahun)
Irian Jaya	270.000	8.550.000
Maluku	50.000	460.548
Riau	31.605	141.603
Sulawesi Utara	19.890	29.835
Sulawesi Tengah	7.500	41.250
Kalimantan Barat	2.420	2.640

3. Pati Sagu

Pati sagu merupakan hasil ekstraksi dari inti batang sagu, dan dalam industri pangan banyak digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan kue, jelly dan makanan bayi (Radley, 1976).

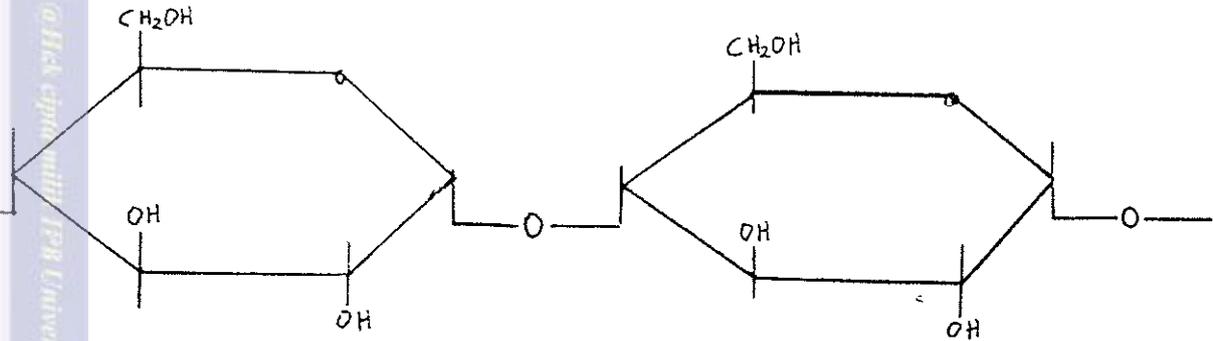
Pati tersusun oleh dua jenis polisakarida, yaitu amilosa yang berstruktur linier dan amilopektin yang berstruktur bercabang dengan perbandingan 27 : 73 (Knight, 1969). Kedua jenis molekul ini merupakan homopolimer dari D - Glukosa. Kedua jenis molekul ini membentuk granula yang dapat dilihat dengan mikroskop (Brautlecht, 1953).

Granula pati sagu tersebut berbentuk oval dan mempunyai ukuran relatif lebih besar dari pada granula pati tanaman lainnya (Kerr, 1950 di dalam Cecil et al, 1984). Granula ini mengandung 15 - 30 % amilosa, 70 - 80 % amilopektin dan 5 - 10 persen bahan antara, dimana struktur dan jenis bahan antara untuk tiap sumber pati berbeda tergantung pada sifat-sifat sumber pati tersebut.

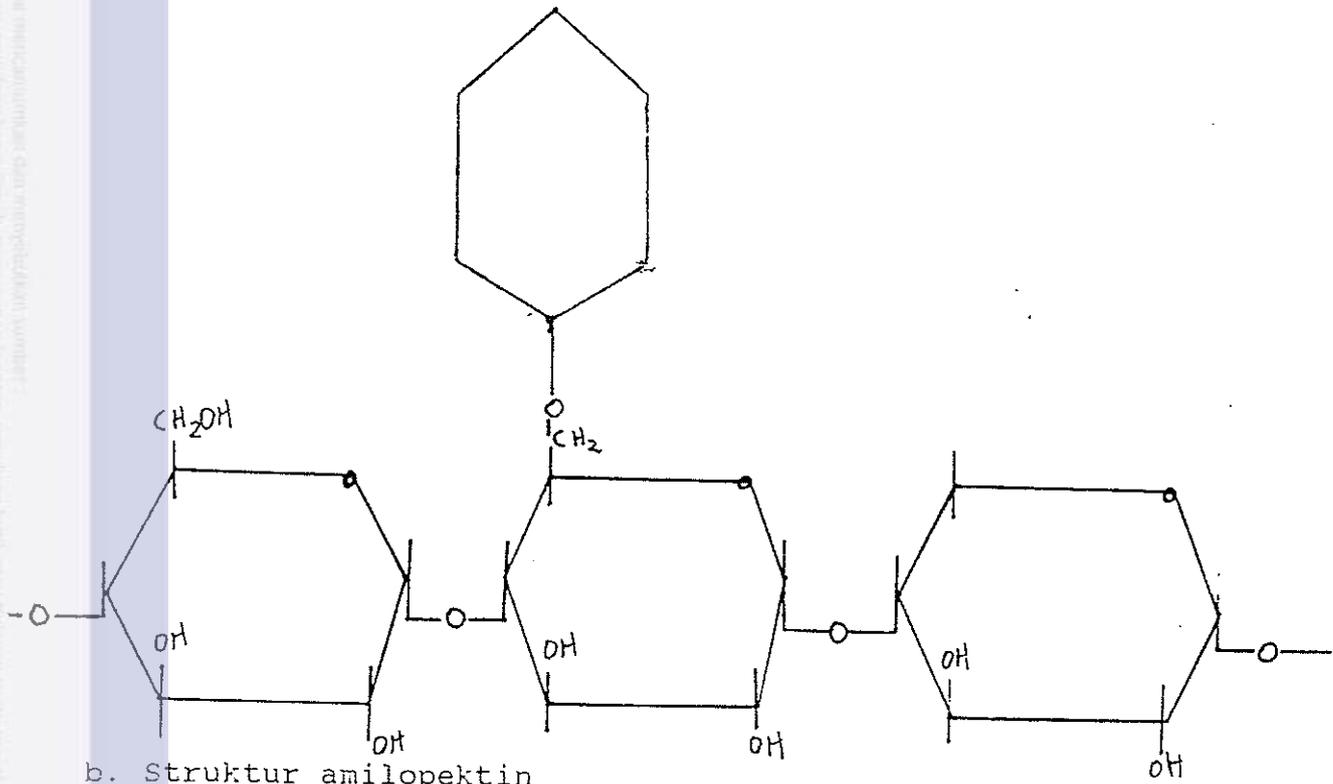
Amilosa merupakan homopolimer dari D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan alpha 1-4 dengan struktur cincin piranosa, sedangkan amilopektin dihubungkan dengan ikatan alpha 1-4 dan ikatan alpha 1-6 yang merupakan ikatan percabangan (Banks, et al., 1976). Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Pati sagu memiliki suhu gelatinisasi tinggi dibanding dengan pati-pati lain, yaitu 69°C (Morgan, 1940 di dalam Cecil et al., 1984). Daya pengembangan 97 % (Leach et al., di dalam Cecil et al., 1984).

Tepung sagu adalah sumber karbohidrat yang cukup baik dan hampir sama dengan sumber karbohidrat lainnya, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti beras atau makanan karbohidrat lainnya dan juga dapat digunakan sebagai sumber karbon untuk produksi protein mikroba.



a. Struktur amilosa



b. Struktur amilopektin

Gambar 1. Struktur molekul amilosa dan amilopektin (Smith, 1981)

Menurut Flach, 1977, komponen sagu terutama adalah karbohidrat, yaitu sekitar 92,5 % dari bahan kering, sedangkan kandungan proteinnya sangat rendah, yaitu sekitar 1%. Tabel 1 menunjukkan komposisi kimia tepung sagu dibandingkan tepung ubi kayu per 100 gram bahan.

Komponen kimia tepung sagu ini (genus *Metroxylon* sp), menurut Muller, 1976 di dalam Harsanto 1986, sangat dipengaruhi oleh cara pengolahannya.

Tabel 2. Komposisi kimia tepung sagu dibanding dengan tepung ubi kayu per 100 gr bahan

Komponen	Tepung sagu (% Bk)	Tepung ubi kayu (% Bk)
Energi (Kal)	357,0	363,0
Air (gr)	13,1	9,1
Protein (gr)	1,4	1,1
Lemak (gr)	0,2	0,5
CHO (gr)	85,9	88,2
Serat (gr)	0,2	2,2
Abu (gr)	0,4	1,1

Sumber : Lie (1980) di dalam Pangloli (1982)

Untuk mendapatkan tepung sagu, pohon sagu ditebang. Batangnya dibelah menjadi dua bagian dan dibagi-bagi lagi menjadi beberapa bagian. Empulur yang mengandung pati ditokok dengan alat yang disebut nani dan disimpan dalam keranjang, kemudian hasil tokokan yang lazimnya disebut ela dibawa ketempat penyaringan, selanjutnya disaring dan ditampung. Tepung sagu yang mengendap merupakan

tepung berkualitas satu, sisanya disaring lagi dan diendapkan menjadi tepung kualitas dua (Imelda, 1980).

Dari proses pengolahan sagu menjadi tepung sagu dihasilkan dua jenis limbah, yaitu limbah cair dan limbah padat yang dapat diolah lebih lanjut sehingga bermanfaat.

B. PROTEIN MIKROBIAL (PROTEIN SEL TUNGGAL)

Protein mikrobia atau lebih dikenal dengan nama protein sel tunggal adalah protein yang berasal dari mikroorganisme bersel tunggal atau banyak namun sederhana seperti bakteri, khamir, kapang dan ganggang (Tannebaum et al., 1978). Menurut Litchfield (1983), protein sel tunggal adalah sel kering jasad renik seperti bakteri, khamir, kapang, ganggang, jamur dan actinomycetes yang ditumbuhkan pada suatu sistem kultur tertentu berskala besar untuk digunakan sebagai sumber protein dalam pangan maupun pakan.

1. Bahan Baku

Industri protein sel tunggal (PST) memerlukan penyediaan bahan baku yang mencukupi untuk menghasilkan 100.000 ton PST setahun. Pabrik yang berkapasitas di bawah 100.000 ton setahun tidak ekonomis. Di samping itu, bahan baku harus murah, mudah dide-

Hasil Cipta Produk Unsur-unsur
1. Dilihat sebagai bagian dari siklus saringan air yang menggunakan dan menyediakan sumber
4. Kegiatan yang akan dilaksanakan sendiri, meliputi: penulisan buku, penyusunan laporan, pembuatan alat, dan lain-lain
5. Kegiatan yang akan dilaksanakan sendiri, meliputi: penulisan buku, penyusunan laporan, pembuatan alat, dan lain-lain
6. Kegiatan yang akan dilaksanakan sendiri, meliputi: penulisan buku, penyusunan laporan, pembuatan alat, dan lain-lain

gradasi mikroorganisma, tersedia sepanjang musim, mudah diangkat ke pabrik pengolahan, mudah disimpan, mutunya tetap, bukan barang impor dan lebih disukai bahan baku yang juga boleh dimakan manusia (Mac Lennan, 1975).

Secara umum, bahan baku untuk media pembuatan protein sel tunggal dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu : (a) senyawa-senyawa hidrokarbon atau turunannya yang berasal dari minyak bumi seperti gas alam, n-alkano, etanol dan metanol; (b) bahan-bahan yang berupa limbah seperti ampas tebu dari pabrik gula, limbah cair pabrik kertas, whey, limbah pabrik tapioka dan lain-lain, (c). bahan-bahan hasil pertanian yang mengandung gula, selulosa dan pati, misalnya ubi kayu (Gandjar, 1978).

2. Jasad Renik

Pemilihan jasad renik untuk produksi protein sel tunggal didasarkan pada komposisi bahan baku, teknik proses, aspek ekonomis, aspek nutrisi serta kriteria keselamatan dan kesehatan (Tannebaum et al., 1978).

Jenis mikroba yang mempunyai kemampuan untuk memproduksi protein sel tunggal antara lain :

1. Bakteri : *Acinetobacter Calcoaceticus*,
Acromonas hidrophilia, *Alcali-*

genes entrophus, *Mycobacterium* sp., *Nocardia* sp., *Bacillus* sp, *Cellulomonas* sp.2. Kapang : *Agaricus* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp.

3. Khamir : *Candida guilliermodii*, *C. Utilis*, *C. lipolytica*, *C. tropicalis*, *Torulopsis candida*, *T. methanosorbosa*, *Debaryomyces klockeri*, *Kluyveromyces fragilis*, *Saccharomyces* sp.

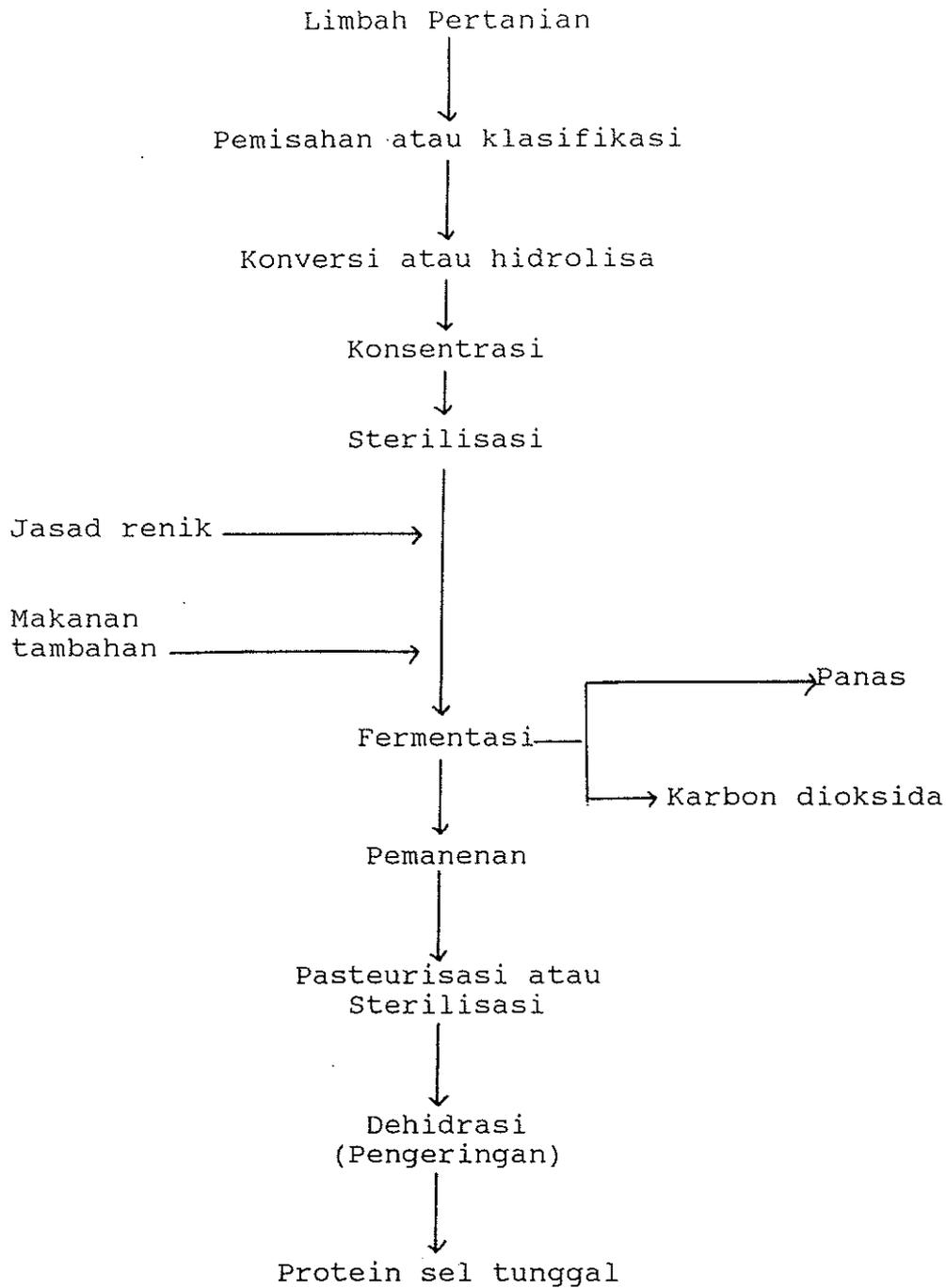
4. Alga : *Spirulina maxima*, *Chlorella* sp., dan *Scenedosmus* sp., (Jay, 1978).

Diantara keempat jenis mikroba tersebut, kapang merupakan salah satu alternatif pilihan terbaik. Hal ini disebabkan karena kapang sebagai bahan pangan bukan sesuatu hal yang baru. Masyarakat Indonesia telah lama mengenal kapang dan mengkonsumsinya dalam bentuk tempe dan oncom. Keuntungan lain adalah pemanenan miselium kapang yang relatif lebih mudah dibandingkan dengan khamir (Gandjar, 1978).

3. Proses Pembuatan Protein Mikrobial

Prinsip utama untuk mendisain suatu proses pembuatan protein sel tunggal adalah memanipulasi





Gambar 2. Bagan alir pembuatan protein sel tunggal dari limbah pertanian (Sa'id Endang Gumbira, 1987)

kondisi pertumbuhan mikroorganismenya sehingga dicapai suatu kondisi yang menghasilkan laju pertumbuhan spesifik yang paling optimum. Untuk itu perlu diperhatikan beberapa faktor yang berpengaruh diantaranya : komposisi kimia substrat, kondisi fisik pertumbuhan, kebutuhan oksigen, panas dan CO_2 yang timbul selama fermentasi (Tannebaum et al., 1978).

Secara garis besar proses pembuatan protein sel tunggal meliputi : persiapan, pencampuran media yang terdiri dari : sumber karbohidrat, nitrogen, air dan mineral; sterilisasi, fermentasi, pemisahan, pencucian dan pengeringan (Gambar 2). Tahap-tahap persiapan yang dilakukan dalam proses pembuatan protein sel tunggal berbeda-beda untuk setiap jenis substrat dan mikroba yang berbeda, yaitu dengan menggunakan metode tertentu supaya dapat dimanfaatkan oleh mikroba seefektif mungkin.

Kondisi pertumbuhan mikroba selama fermentasi sangat menentukan produktivitas dan mutu dari protein sel tunggal yang dihasilkan. Perbandingan substrat dan nitrogen untuk pertumbuhan dapat disusun dengan mengatur perbandingan C : N pada kisaran 7 : 1 sampai 10 : 1 agar tercapai kandungan protein yang tinggi. Sebagai sumber nitrogen dapat digunakan Amonium anhidrous atau garam amonium. Penambahan amonium ini dapat dikombinasi dengan fosfat untuk



mengendalikan pengaruh perubahan pH (Litchfield, di dalam Wuryantriyogo, 1984).

Suhu dan pH fermentasi diatur sesuai dengan pH dan suhu optimum yang digunakan untuk pertumbuhan mikroba. Suhu tersebut berhubungan dengan kemampuan organisme untuk tumbuh, suhu juga berfungsi untuk mempertahankan hidup. Suhu akan berpengaruh terhadap ukuran sel produk metabolik seperti pigmen dan toksin, kebutuhan zat gizi, reaksi enzimatik dan komposisi kimia sel. Setiap mikroba mempunyai pH minimum, optimum dan maksimum yang berbeda untuk pertumbuhannya. Kisaran pH untuk pertumbuhan mikroba dapat dilihat pada Tabel 3.

Selama proses fermentasi berlangsung, pH media cenderung mengalami perubahan. Apabila digunakan amonia sebagai sumber nitrogen, pH akan cenderung mengalami penurunan. Kenaikan pH media cenderung terjadi jika digunakan garam nitrat sebagai sumber nitrogen. Di samping itu, perubahan pH juga terjadi karena terbentuknya asam-asam organik selama proses fermentasi berlangsung seperti : asam asetat, asam laktat, CO_2 (Wang et al., 1979).

Faktor terakhir yang perlu diperhatikan dalam mendisain proses pembuatan protein mikrobial adalah aerasi dan agitasi. Aerasi dan agitasi ini ditujukan untuk mensuplai oksigen yang diperlukan bagi

Tabel 3. PH untuk pertumbuhan mikroba^a

Organisme	PH		
	Minimum	Optimum	Maksimum
Bakteri	4,5	6,5-7,5	9,0
Khamir	1,5-3,5	4,0-6,5	8,0-8,5
Kapang	1,5-3,5	4,5-6,8	8,0-11,0

^aBanwart (1979)

aktifitas metabolik mikroorganisme, membuang CO₂ dan mengaduk medium fermentasi sehingga terbentuk sus-pensi yang seragam. Pada fermentasi aerobik, oksig-en bertindak sebagai akseptor elektron terakhir dalam metabolisme untuk mendapatkan energi. Menurut Winarno dan Saono (1979), kebutuhan oksigen bagi pertumbuhan mikroorganisme tergantung pada jenis media dan efisiensi penggunaannya oleh mikroorga-nisme tersebut.

4. Komposisi dan Nilai Gizi Protein Mikrobial

Protein mikrobial merupakan sumber protein yang sangat potensial. Kandungan proteinnya tergant-ung pada jenis dan spesies jasad renik yang digu-nakan. Selain mengandung protein sebagai komponen utama, protein sel tunggal juga mengandung karbo-hidrat, lemak, vitamin dan mineral, sehingga sangat baik digunakan sebagai suplemen protein pada bahan

pangan maupun pakan (Skogman, 1976). Tabel 4 menunjukkan kandungan protein mikrobial dari berbagai mikroorganisme.

Menurut Young dan Scrimshaw (1975), nilai gizi protein sel tunggal, seperti halnya protein lainnya juga dipengaruhi oleh : (a) konsentrasi protein, (b) konsentrasi dan susunan asam amino, (c) daya cerna protein, (d) kemampuan tubuh menggunakan protein dalam metabolisme, (e) faktor lain, seperti adanya senyawa anti gizi (anti nutrition).

Asam nukleat yang kadarnya tinggi akan menurunkan nilai biologi protein sel tunggal. Kandungan asam nukleat dari protein sel tunggal bervariasi dari 8 - 25 gr per 100 gr protein. Asam tersebut terdapat dalam bentuk asam ribonukleat (Sinskey dan Tannenbaum, 1975 di dalam Amdarjono, 1988)

Konsumsi yang tinggi dari asam nukleat akan menyebabkan tingginya asam urat dalam darah dan urin, dimana asam ini mempunyai kelarutan yang rendah. Hal ini menyebabkan terjadinya pengendapan pada ginjal (Sinskey dan Tannenbaum, 1975 di dalam Amdarjono, 1988). Batas aman untuk konsumsi asam nukleat ± 2 gr per hari (Young dan Scrimshaw, 1975).

Tabel 5. Kandungan asam nukleat pada protein mikrobia (protein sel tunggal) berdasarkan bobot kering^a

Inokulum	Asam nukleat (%)
Ganggang	4,0 - 6,0
Kapang	2,5 - 6,0
Khamir	6,0 - 11,0
Bakteri	> 16,0

^aGumbira Sa'id, 1987

C. FERMENTASI MEDIUM PADAT

Menurut jenis mediumnya, proses fermentasi dibagi menjadi dua, yaitu fermentasi medium padat dan fermentasi medium cair. Fermentasi medium padat merupakan proses fermentasi yang substratnya tidak larut dan tidak mengandung air bebas tetapi cukup mengandung air untuk keperluan mikroba. Dalam hal ini medium berfungsi sebagai sumber karbon dan nitrogen (Chalal, 1985).

Menurut Satiawihardja (1981) fermentasi medium padat memiliki beberapa keuntungan, antara lain: (a) memiliki kesederhanaan dalam persiapan medium, (b) persiapan inokulumnya lebih sederhana, (c) dapat menghasilkan produk dengan kepekatan yang tinggi, (d) kontrol terhadap kontaminasi lebih mudah, (e) kondisi mediumnya mendekati keadaan tempat tumbuh kapang yang biasa dijumpai di alam, (f) fermentasi medium padat memiliki produktifitas yang tinggi dan hasil yang sama dapat terulang pada kondisi yang sama.

Menurut Gregory (1976) masih banyak daerah-daerah di bumi ini mengalami kekurangan protein yang akut tetapi memiliki sumber karbohidrat yang banyak. Sebagian karbohidrat ini terdapat dalam umbi-umbian.

Pengubahan karbohidrat menjadi protein akan banyak membawa manfaat. Pengubahan ini merupakan suatu hal yang menarik, karena bahan-bahan yang berpati tinggi tersedia dalam jumlah yang banyak dan dapat dengan cepat diubah menjadi biomassa oleh sejumlah mikroba yang subur (Senez et al., 1979 di dalam Imanuel, 1988). Usaha untuk meningkatkan protein dari bahan berpati tinggi dengan cara medium cair maupun padat secara konvensional, ternyata tidak mampu menambah lebih dari 3 - 4 %, sehingga tidak pantas digunakan sebagai pakan yang kompleks.

Raimbault et al., (1979) di dalam Senez et al., (1979) di dalam Imanuel (1988) telah melakukan modifikasi prosedur fermentasi medium padat dan ternyata mampu meningkatkan kadar protein dari 2,5 % menjadi 18 %. Pada substrat berpati tinggi yang digiling kasar (100 gr) ditambahkan amonium sulfat (9 gr), urea (2,7 gr), kalium orto phosphat (5 gr) dan air steril (100 sampai 120 ml). Kemudian diinokulasi dengan air yang berisi spora *Aspergillus niger* strain tertentu dan diaduk dalam mikser adonan hingga terbentuk granula-granula dengan diameter 1 mm. Substrat yang telah



diinokulasi ini diinkubasi pada suhu 30°C dengan pH awal 3,5 selama 30 jam.

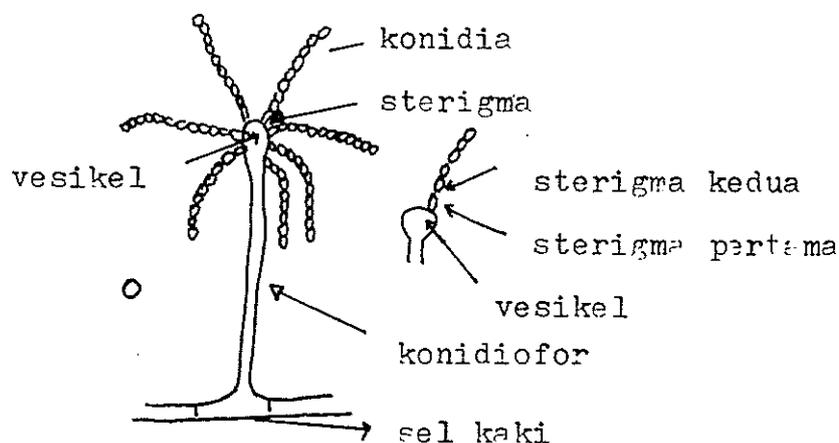
D. ASPERGILLUS sp.

Kapang-kapang dari genus *Aspergillus* termasuk ke dalam famili Moniliaceae, orde Moniliales, subdivisi Deuteromycotina dan divisi Eumycotina (Frazier dan Westhoff, 1978).

Aspergilli menghasilkan miselium yang berseptat dengan bagian vegetatif berada di dalam nutrien. Konidiofor muncul dari sel kaki yang mungkin juga terbenam dalam nutrien. Konidiofor tersebut, yang mungkin berseptat ataupun tidak, di bagian atas mengembang membentuk vesikel tempat tumbuhnya sterigmata berlapis tunggal atau berlapis banyak. Bentuk dan ukuran vesikel beragam tergantung pada spesies. Konidia yang dihasilkan di dalam tabung sterigmata dikeluarkan sebagai rantai spora. Warna konidia beragam dan bersifat sangat spesifik untuk tiap spesies. Warna yang umum terdapat adalah hitam, coklat dan hijau (Pelczar dan Reid, 1972). Bentuk morfologi *Aspergillus* secara umum terlihat pada Gambar 3.

Diketahui terdapat 18 kelompok *Aspergilli* yang terdiri dari 132 spesies (Frazier dan Westhoff, 1978). Kapang-kapang tersebut dapat tumbuh dengan baik pada media dengan konsentrasi gula dan garam yang tinggi

(Pelczar dan Reid, 1972; Frazier dan Westhoff, 1978), yang menunjukkan bahwa Aspergilli dapat mengambil air yang dibutuhkan untuk pertumbuhannya dari bahan yang relatif kering (Pelczar dan Reid, 1972).



Gambar 3. Bentuk morfologi *Aspergillus* (Frazier dan Westhoff, 1978)

Dari 278 galur *Aspergillus* yang diteliti, ditemukan 34 galur yang menghasilkan enzim α -amilase, dan konsentrasi enzim α -amilase tertinggi diperoleh dari galur-galur *A. niger*, *A. oryzae*, *A. alliaceus*, *A. foetidus* dan *A. wentii* (Underkofler, 1954).

Kelompok *A. niger*, dengan *A. niger* sebagai spesies utama, memiliki kepala pembawa spora yang berukuran besar, padat, bulat dan berwarna hitam, hitam kecoklatan atau ungu coklat. Konidiana kasar dan mempunyai pita-pita pigmen. Beberapa galur mempunyai sklerotia

yang berwarna kekuning-kuningan, abu-abu sampai hitam (Frazier dan Westhoff, 1978).

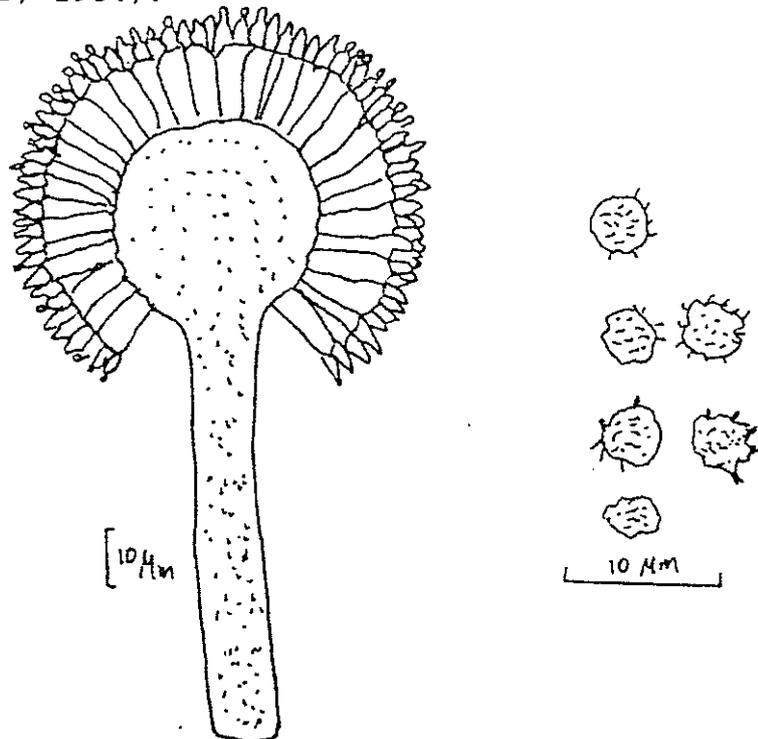
A. niger sering sukar dibedakan dari *A. phoenicis* dan *A. awamori*. Karakter konidia biasanya digunakan sebagai kriteria pembeda antara kapang-kapang tersebut (Samson dkk., 1981 di dalam Amdarjono, 1988). Bentuk morfologi konidiofor dan konidia *A. niger* ditunjukkan pada Gambar 4.

A. niger dapat tumbuh pada kisaran pH antara 2.8 dan 8.8 (Hunter dan Barnett, 1973), dengan pH optimum berkisar antara 3.0 dan 6.0 (Banwart, 1963). Beberapa galur tertentu dari *A. niger* masih dapat tumbuh pada pH 1.8 (Splittstoesser dan Prest, 1980 di dalam Amdarjono, 1988).

Aspergillus niger bersifat aerobik sehingga dalam pertumbuhannya memerlukan oksigen dalam jumlah yang cukup. Temperatur optimum pertumbuhan *Aspergillus niger* adalah 37°C (Frazier dan Westhoff, 1978).

Dalam pertumbuhannya, *Aspergillus niger* berhubungan langsung dengan zat-zat makanan yang terdapat dalam medium. Molekul-molekul sederhana seperti gula dan komponen lain yang terlarut di sekeliling hifa dapat langsung diserap. Sedangkan molekul-molekul yang lebih kompleks seperti pati dan selulosa harus dipecah dulu sebelum diserap ke dalam sel. Untuk itu *A. niger* menghasilkan beberapa enzim ekstraseluler seperti

α -amilase, pektinase, selulase, amiloglukosidase, katalase (Blain, 1975). Selain itu *A. niger* juga memproduksi enzim-enzim urease yang akan menghidrolisa urea menjadi ion NH_4^+ dan CO_2 (Cochrane, 1958). Ion NH_4^+ ini selanjutnya dipergunakan untuk pembuatan asam amino (Garraway dan Evans, 1984).

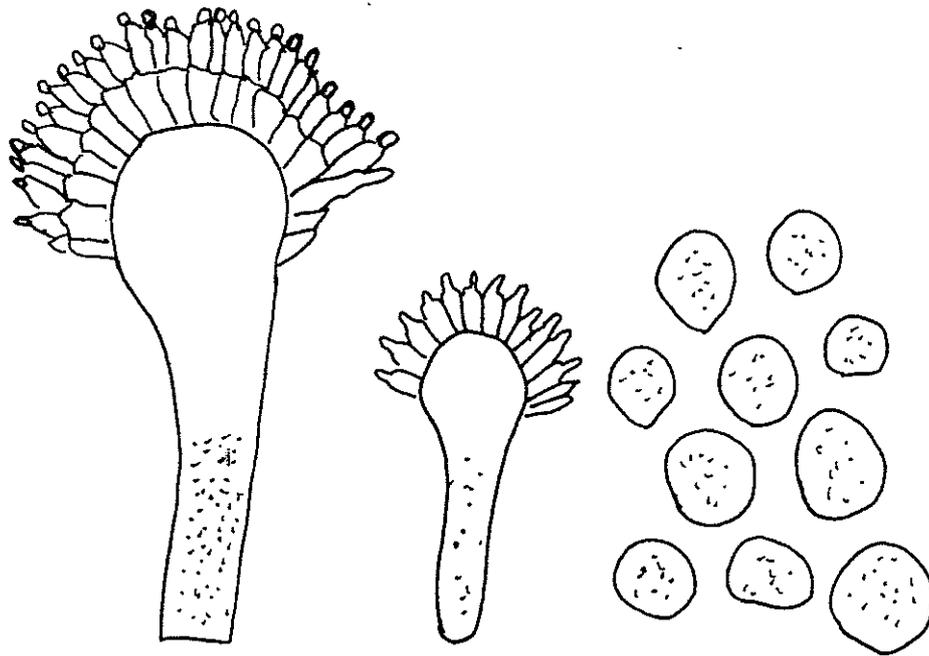


Gambar 4. Konidiofor dan konidia *A. niger* (Samson dkk., 1981 di dalam Amdar-jono, 1988)

Kelompok *A. flavus-oryzae* terdiri dari kapang-kapang dengan konidia berwarna kuning sampai hijau dan mungkin membentuk sklerotia berwarna gelap (Frazier dan Westhoff, 1978).

A. oryzae sering sukar dibedakan dari *A. flavus*, meskipun warna dan kekasaran konidia kadang-kadang

dapat digunakan sebagai karakter pembeda (Samson, dkk., 1981 di dalam Amdarjono, 1988). Bentuk morfologi konidiofor dan konidia dari *A. oryzae* ditunjukkan pada Gambar 5. *A. oryzae* dapat tumbuh pada kisaran pH antara 1.6 dan 9.3 (Hunter dan Barnett, 1973; Fields, 1979; Banwart, 1983).



Gambar 5. Konidiofor dan konidia *A. oryzae* (Samson dkk., 1981 di dalam Amdarjono, 1988)

Menurut Tauber (1950) *A. niger* dapat menghasilkan 20 macam enzim, sedangkan *A. oryzae* dapat menghasilkan

23 macam enzim. Enzim yang dapat dihasilkan oleh *A. niger* adalah α -amilase, β -amilase, maltase, laktase, trehalase, tanase, katalase, proteinase, polipeptidase, dipeptidase, renin, lipase, amidase, selulase, glukosa, oksidase, glukosidase dehidrogenase, enzimase, urease, inulase dan melibiase (Tauber, 1950).

Enzim yang dapat dihasilkan oleh *A. oryzae* adalah α -amilase, β -amilase, maltase, laktase, pentosanase, pektinase, trehalase, tanase, katalase, proteinase, polipeptidase, renin, lipase, amidase, selulase, sitase, fitase, nuklease, sulfatase, pirofosfatase, fosfodiesterase dan fosfomonoesterase (Tauber, 1950).

III. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

A. BAHAN DAN ALAT

1. Bahan

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah tepung sagu yang diperoleh dari Kedung Halang Bogor, mikroba *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA₁ yang diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi, Lembaga Biologi Nasional, Bogor. Selain itu juga digunakan *Aspergillus* sp. berspora hitam dan *Aspergillus* sp. berspora hijau yang diisolasi dari gabah yang disimpan pada kondisi penyimpanan yang sesuai untuk pertumbuhan mikroba. Sedangkan bahan kimia yang digunakan adalah KH_2PO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, urea dan bahan-bahan kimia untuk analisa.

2. Alat

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian ini antara lain neraca analisis, autoclave, inkubator, oven dan alat-alat gelas untuk analisa.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini secara besar dapat dibagi menjadi dua tahap pelaksanaan, yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama.

1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan ini ditujukan untuk mendapatkan isolat murni *Aspergillus niger* dan *Aspergillus oryzae*. Di samping itu juga untuk mencari kondisi pertumbuhan mikroba yang memberikan peningkatan kadar protein yang paling optimum. Oleh karena itu dilakukan dua tahap pekerjaan :

a. Isolasi mikroba *Aspergillus niger* dan *Aspergillus oryzae* dari gabah

Pada penelitian ini digunakan gabah sebagai sumber mikroba. Hal ini disebabkan karena gabah mengandung pati dalam jumlah besar. Mula-mula gabah disimpan dalam kondisi yang memungkinkan merangsang pertumbuhan mikroba khususnya kapang. Kondisi yang memungkinkan untuk pertumbuhan kapang adalah Rh 0,86 dan suhu 30°C. Pengaturan Rh dilakukan dengan menggunakan garam Na₂SO₄ jenuh. Mikroba (kapang) yang tumbuh pada gabah tersebut dapat menghasilkan enzim pendegradasi pati karena sumber pangannya berupa pati.

Isolasi mikroba (kapang) dilakukan dengan cara menumbuhkan berbagai kapang yang tumbuh di dalam gabah pada media PDA yang diasamkan dengan asam tartarat dalam cawan petri sehingga bakteri tidak dapat tumbuh di dalam cawan tersebut. Kemudian kapang yang tumbuh dipisahkan dengan

memindahkan koloni kapang tersebut pada media PDA dalam cawan petri yang berbeda sehingga diperoleh satu jenis kapang tiap cawan petri. Kapang berspora hitam dan hijau kemudian ditumbuhkan pada agar miring PDA sebagai stok kapang, lalu diadakan pengujian kualitatif terhadap kemampuannya mendegradasi pati. Uji kemampuan mendegradasi pati dilakukan dengan cara membuat goresan langsung dari mikroba berspora hitam dan hijau, masing-masing pada satu cawan yang berisi starch agar. Goresan tersebut dilakukan pada setengah bagian cawan, sedangkan setengah bagian lainnya tidak diinokulasi. Setelah itu, cawan diinkubasikan pada suhu 30°C selama 2 - 3 hari. Larutan garam yodium diteteskan pada starch agar sehingga semua bagian agar terendam. Terbentuknya bagian yang transparan atau kuning disekeliling koloni yang tumbuh menunjukkan adanya aktifitas hidrolisa pati oleh enzim amilase. Dari uji kemampuan mendegradasi pati, stok kapang yang diduga mempunyai kemampuan mendegradasi pati disimpan dalam refrigerator. Apabila kapang tersebut akan digunakan, maka dibuat suspensi spora terlebih dahulu. Kapang ditumbuhkan pada agar miring PDA dan diinkubasi selama 4 hari pada suhu 37°C. Kemudian suspensi spora diencerkan dengan 5 ml



larutan pengencer untuk digunakan lebih lanjut dalam pembuatan protein sel tunggal.

Tahap-tahap selanjutnya yang dilakukan adalah pengamatan morfologi kapang. Pengamatan morfologi kapang dilakukan dengan metoda "slide cultur". Struktur kapang diamati dibawah mikroskop dengan pembesaran 400 dan 100 kali.

b. Pembuatan Protein Mikrobial (Protein Sel Tunggal).

Dilakukan pembuatan protein mikrobial pada berbagai macam suhu dan waktu inkubasi (Gambar 6). Suhu dan waktu inkubasi yang dicobakan adalah :

1. Suhu : 20°C, 28°C dan 37°C
2. Waktu inkubasi : 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 hari.

2. Penelitian Utama

Tujuan dilakukannya penelitian utama adalah untuk mempelajari pengaruh penambahan urea dan jenis mikroba terhadap produk protein mikrobial yang dihasilkan. Tingkat konsentrasi urea yang dicobakan adalah 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%, dengan lama fermentasi 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 hari. Sedangkan jenis mikroba yang digunakan adalah :



1. *Aspergillus niger* L51 (LBN)

Aspergillus sp. berspora hitam (hasil isolasi).

2. *Aspergillus oryzae* TA₁ (LBN)

Aspergillus sp. berspora hijau (hasil isolasi).

Disamping itu juga dilakukan pembuatan protein sel tunggal dengan menggunakan inkubator beraerasi yang ditujukan untuk meningkatkan skala produksi.

C. PROSES PEMBUATAN PROTEIN SEL TUNGGAL

Di dalam penelitian ini dilakukan dua macam proses pembuatan protein sel tunggal, yaitu pembuatan protein sel tunggal dengan skala kecil (di dalam erlenmeyer 500 ml) di mana dilakukan studi pengaruh perlakuan (optimasi) dan pembuatan protein sel tunggal dengan skala menengah (dengan inkubator beraerasi).

1. Skala Kecil

a. Persiapan Bahan

- Tepung Sagu

Tepung sagu yang diperoleh dari industri rakyat, sebelum digunakan, tepung sagu tersebut dibersihkan dari kotoran dan disaring dengan penyaring 25 mesh.

- Bahan Tambahan

Bahan tambahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah urea, amonium sulfat dan

larutan mineral.

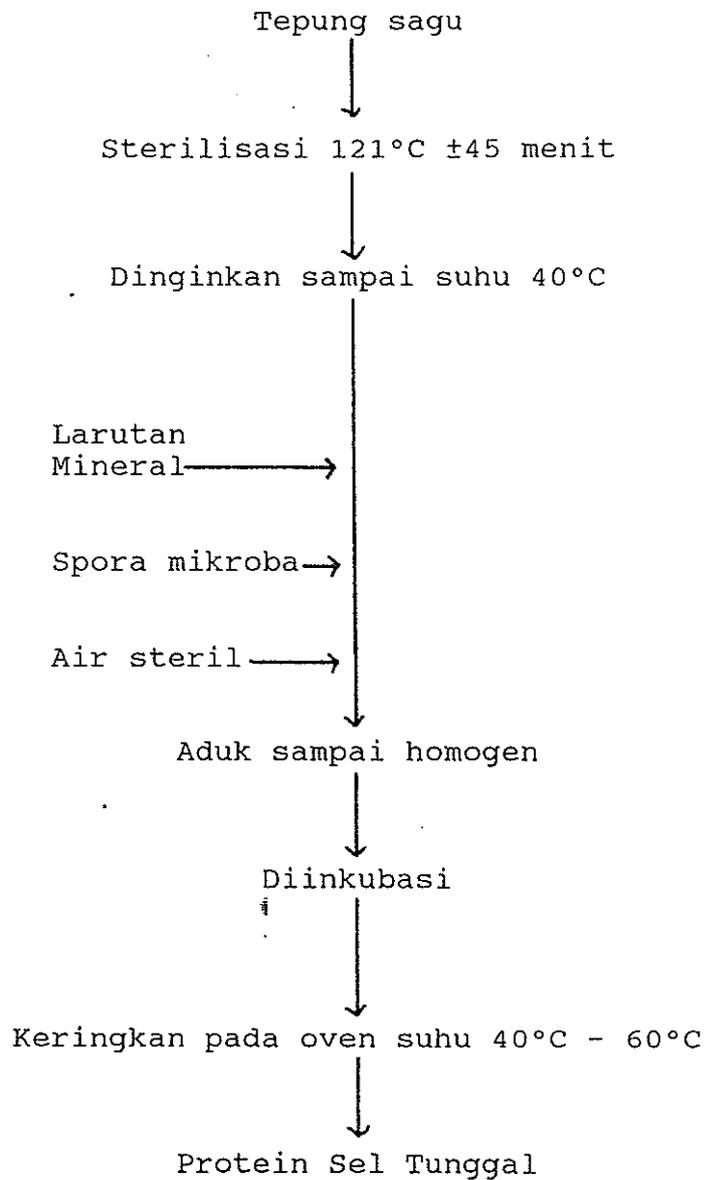
Urea dan amonium sulfat dilarutkan di dalam 17,5 ml air destilata. Sedangkan larutan mineral dibuat dengan cara melarutkan $2\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, CaCl_2 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, CoCl_2 dan ekstrak khamir di dalam air destilata. Konsentrasi dari masing-masing mineral tersebut dapat dilihat pada Lampiran 7. Adapun jumlah urea, amonium sulfat dan larutan mineral yang digunakan berturut-turut adalah : 1%, 2%, 3%, 4%, 5% (w/w); 9% (w/w) dan 5% (w/w).

b. Teknik Sterilisasi

Tepung sagu, sumber nitrogen dan larutan mineral disterilisasi secara terpisah. Tepung sagu disterilisasi pada suhu 121°C selama 45 menit, sedangkan larutan mineral dan sumber nitrogen disterilisasi pada 121°C selama 15 menit.

c. Inokulasi dan Inkubasi

Spora biakan murni *Aspergillus niger* dan *Aspergillus oryzae* yang berumur 4 hari diencerkan dalam 5 ml larutan pengencer. Larutan spora sebanyak 10 % (10^6 spora per ml) diinokulasikan dalam substrat yang telah steril.



Gambar 6. Proses pembuatan protein sel tunggal dari tepung sago dengan metode fermentasi medium padat

Selanjutnya substrat dan spora tersebut diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37°C untuk *Aspergillus niger* dan suhu kamar (28°C) untuk *Aspergillus oryzae* selama 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 hari.

d. Pemanenan

Substrat yang telah ditumbuhi kapang dipanen tanpa memisahkan sel-sel kapang dari sisa substrat. Aktivitas fermentasi dihentikan dengan sterilisasi dan dilanjutkan dengan pengeringan.

2. Skala Menengah

a. Persiapan Bahan

Tepung sagu dan bahan tambahan dipersiapkan dengan prosedur seperti pada pembuatan protein sel tunggal dengan skala kecil.

b. Teknik Sterilisasi

- Inkubator Beraerasi

Alat yang digunakan dalam proses fermentasi ini adalah oven dengan satu inlet dan satu outlet, aerator, selang-selang, saringan plastik, aluminium foil dan kain blacu. Alat-alat tersebut kemudian disterilisasi. Untuk oven

(inkubator), proses sterilisasi dilakukan dengan cara membiarkan formalin 40% menguap di dalam oven selama 2 - 3 hari. Filter udara, selang-selang dan kain blacu disterilisasi dengan autoclave pada suhu 121°C selama 15 menit. Saringan dari plastik dan alumunium foil disterilisasi dengan penyemprotan formalin dan alkohol 90%, kemudian disinari dengan lampu ultra violet selama 1 malam.

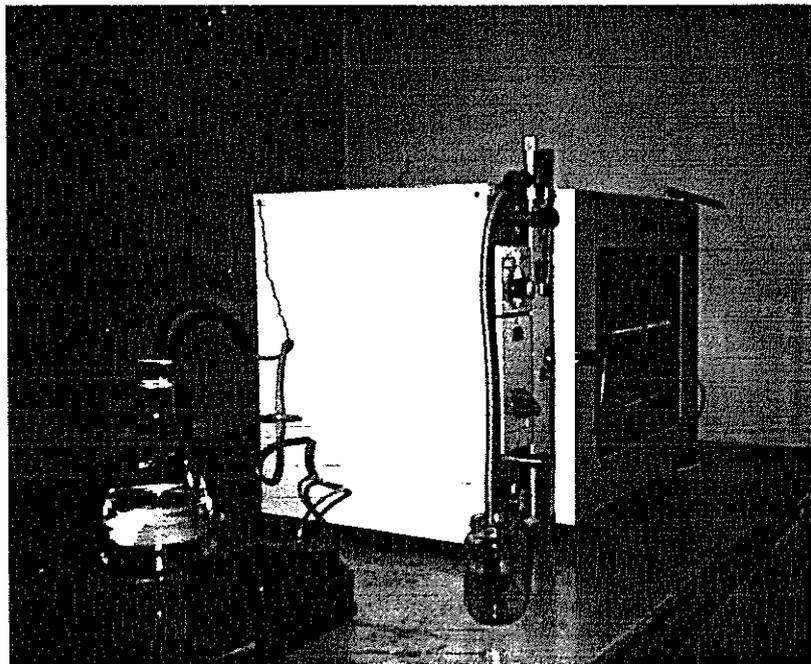
- Bahan Baku

Bahan baku berubah tepung sagu dan larutan mineral disterilisasi secara terpisah menggunakan autoclave seperti pada pembuatan protein sel tunggal dengan skala kecil. Kemudian tepung sagu dan larutan mineral dicampur di dalam wadah yang steril.

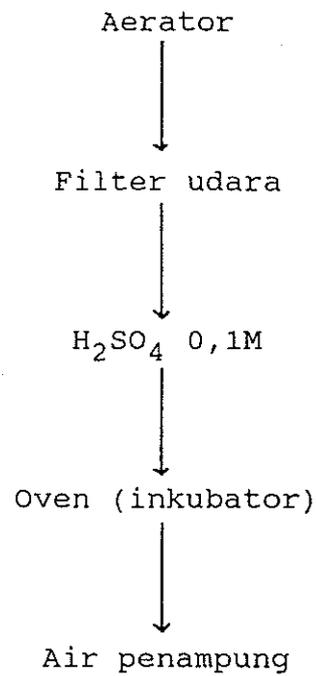
c. Inokulasi dan Inkubasi

Proses inokulasi dilakukan di dalam ruangan yang steril. Adapun prosedur inokulasi adalah sebagai berikut : tepung sagu yang telah dicampur dengan larutan mineral diinokulasi dengan spora mikroba. Setelah itu diaduk dan dimasukkan di dalam saringan plastik dan ditutup dengan kain blacu untuk kemudian dimasukkan di dalam oven (inkubator). Sebelum media dimasukkan ke dalam

oven, sirkulasi udara dijalankan. Gambar 7 memperlihatkan alat fermentasi yang digunakan pada pembuatan protein sel tunggal dengan skala menengah (inkubator beraerasi).



Gambar 7. Sistem alat fermentasi dengan inkubator beraerasi



Gambar 8. Skema alat fermentasi dengan inkubator beraerasi.

Rancangan Percobaan

Secara garis besar dapat ditetapkan perlakuan-perlakuan yang akan dilakukan dalam penelitian utama, yaitu :

A = Konsentrasi urea yang ditambahkan

$$A_1 = 1 \%$$

$$A_2 = 2 \%$$

$$A_3 = 3 \%$$

$$A_4 = 4 \%$$

$$A_5 = 5 \%$$

B = Lama fermentasi

$$B_0 = 0 \text{ hari}$$

$$B_1 = 1 \text{ hari}$$

$$B_2 = 2 \text{ hari}$$

$$B_3 = 3 \text{ hari}$$

$$B_4 = 4 \text{ hari}$$

$$B_5 = 5 \text{ hari}$$

$$B_6 = 6 \text{ hari}$$

$$B_7 = 7 \text{ hari}$$

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak dengan dua kali ulangan. Model umum rancangan faktorial tersebut adalah :

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = respon percobaan karena pengaruh perlakuan ke-i dari faktor A, taraf ke-j dari faktor B,

pada ulangan ke- i , dimana $i = 1, 2, 3, 4, 5$;

$j = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

μ = efek rata-rata

A_i = efek faktor A pada taraf ke- i

B_j = efek faktor B pada taraf ke- j

$(AB)_{ij}$ = efek interaksi A taraf ke- i dengan B taraf ke- j

ϵ_{ijl} = efek kesalahan percobaan pada ulangan ke- i karena pengaruh kombinasi perlakuan

Uji statistik yang digunakan adalah uji F dengan

hipotesa sebagai berikut :

$$H_{OA} = \sigma(1)^2 = \sigma(2)^2 \text{ lawan } H_{1A} = \sigma(1)^2 \neq \sigma(2)^2$$

$$H_{OB} = \sigma(1)^2 = \sigma(2)^2 \text{ lawan } H_{1B} = \sigma(1)^2 \neq \sigma(2)^2$$

$$\leq F_{\alpha} : v(1), v(2), \text{ terima } H_{OA} \text{ atau } H_{OB}$$

$$\text{Jika } F = s(1)^2/s(2)^2$$

$$> F_{\alpha} : v(1), v(2), \text{ tolak } H_{OA} \text{ atau } H_{OB}$$

- Terima H_{OA} dan tolak H_{1B} berarti konsentrasi urea yang berbeda tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap protein sel tunggal yang dihasilkan.

- Terima H_{1A} dan tolak H_{OA} berarti konsentrasi urea yang berbeda memberikan pengaruh yang nyata terhadap protein sel tunggal yang dihasilkan.

D. PENGAMATAN

1. Kadar Air

Kadar air ditentukan secara pengeringan dan penimbangan dengan menggunakan oven pada suhu 105°C (AOAC, 1970). Sampel sebanyak 2 - 3 g dikeringkan sampai beratnya tetap.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{a - b}{a - c} \times 100 \%$$

Dimana : a = berat wadah dan bahan mula-mula (gr)
 b = berat wadah dan bahan setelah dikeringkan (gr)
 c = berat wadah (gr)

2. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH produk protein sel tunggal diukur dengan pH-meter (Fardiaz et al., 1986). Sampel dalam bentuk tepung ditimbang tepat 1 gram, dan dilarutkan dalam 20 ml air destilata menggunakan "stirrer" sampai basah sempurna, kemudian ditambahkan 50 ml air destilata. Dihomogenkan dan diukur pH-nya setelah didiamkan selama 1 jam.

3. Kadar Protein

Penentuan kadar protein ditetapkan dengan metode Kjeldahl-mikro (AOAC, 1971). Sampel sebanyak



1 - 2 gram (ditimbang tepat) didestruksi dengan 5 ml H_2SO_4 pekat dengan katalisator $CuSO_4$ dan K_2SO_4 masing-masing 1 gram, sampai warna cairan menjadi hijau jernih. Destilasi dilakukan setelah ke dalam cairan hasil destruksi ditambahkan 5 ml air destilata dan 15 ml NaOH 50 %. Sebagai penampung digunakan H_3BO_3 jenuh dan 2 - 4 tetes indikator metil biru. Hasil destilasi dititrasi dengan larutan HCL 0.02 N. Prosedur untuk blanko ditentukan seperti diatas tanpa menggunakan bahan yang dianalisa. Kadar protein dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar Protein} = \frac{a \times N \times 14.007 \times 6,25}{\text{mg contoh}} \times 100 \%$$

dimana : a = selisih ml HCl yang digunakan untuk mentitrasi blanko dan contoh
N = normalitas larutan HCl

4. Kadar Pati

Kadar pati ditentukan berdasarkan cara Lane-Eynon (Fardiaz et al., 1986). Contoh sebanyak 2 - 5 gram ditambahkan 50 ml aquades dalam gelas piala 250 ml dan diaduk selama 1 jam. Kemudian suspensi disaring dengan kertas saring dan dicuci dengan aquades sampai volume filtrat mencapai lebih kurang 250 ml. Filtrat dibuang dan residu dipindahkan secara kuantitatif dari kertas saring ke dalam erlenmeyer dengan pencucian 200 ml aquades, kemudian



ditambah 20 ml HCl 25 persen. Hidrolisa dilakukan dibawah pendingin tegak selama 2.5 jam. Setelah dingin dinetralkan dengan larutan NaOH 45 persen dan diencerkan sampai volume 500 ml, kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh ditentukan kadar gulanya yang dinyatakan sebagai glukosa.

Sebanyak 10 ml sampel dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 ml, kemudian ditambah larutan Fehling dengan modifikasi soxhlet dan dipanaskan sampai mendidih. Titrasi campuran ini dengan larutan dekstrosa standar dalam waktu 2 menit (Indikator metilen biru 0.2 % sebanyak 2 - 4 tetes ditambahkan jika larutan Fehling menjadi biru muda). Untuk blanko digunakan air destilata sebanyak 20 ml. Standarisasi larutan Fehling dilakukan dengan memin-dahkan 10 ml larutan Fehling ke dalam erlenmeyer 100 ml, ditambah 20 ml aquades dan 7.0 ml dekstrosa standar, dipanaskan dan didihkan. Titrasi larutan Fehling tersebut dengan dekstrosa standar. Indika-tor yang digunakan metilen biru 0.2% sebanyak 2-4 tetes. Kadar pati dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar pati} = \frac{(a - b) \times c \times p \times 0.9}{\text{mg contoh}} \times 100 \%$$

dimana : a = ml blanko
 b = ml contoh
 c = konsentrasi dekstrosa standar
 p = faktor pengenceran
 0.9 = faktor konversi glukosa ke pati

5. Efisiensi Konversi Pati Menjadi Protein

Efisiensi konversi pati menjadi protein ditentukan dengan rumus :

$$Y = \frac{(a - b)}{(c - d)} \times 100 \%$$

dimana : Y = efisiensi konversi pati menjadi protein

- a = kadar protein setelah fermentasi
- b = kadar protein sebelum fermentasi
- c = kadar pati setelah fermentasi
- d = kadar pati sebelum fermentasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

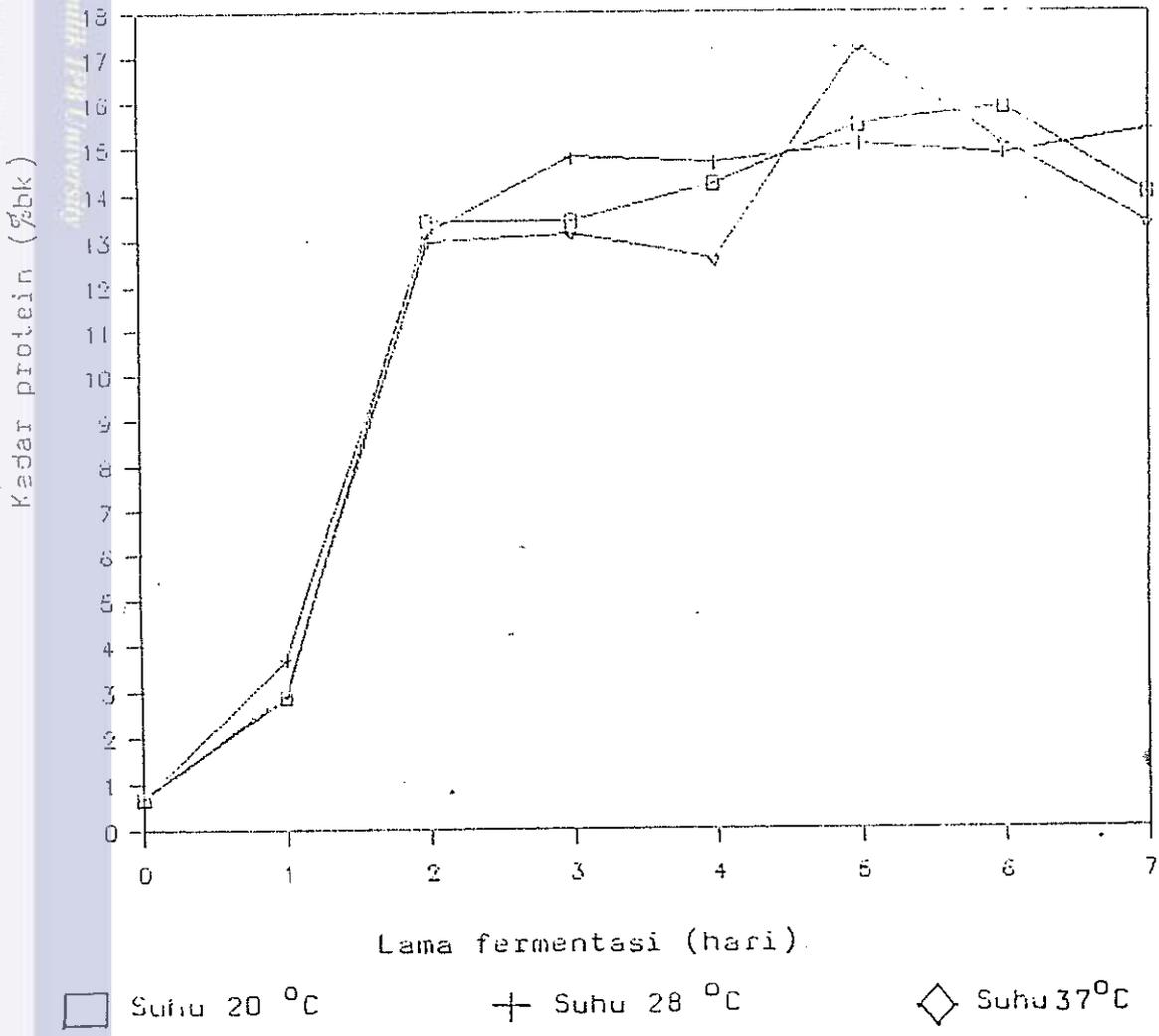
A. Penelitian Pendahuluan

1. Penentuan kondisi optimum pertumbuhan mikroba

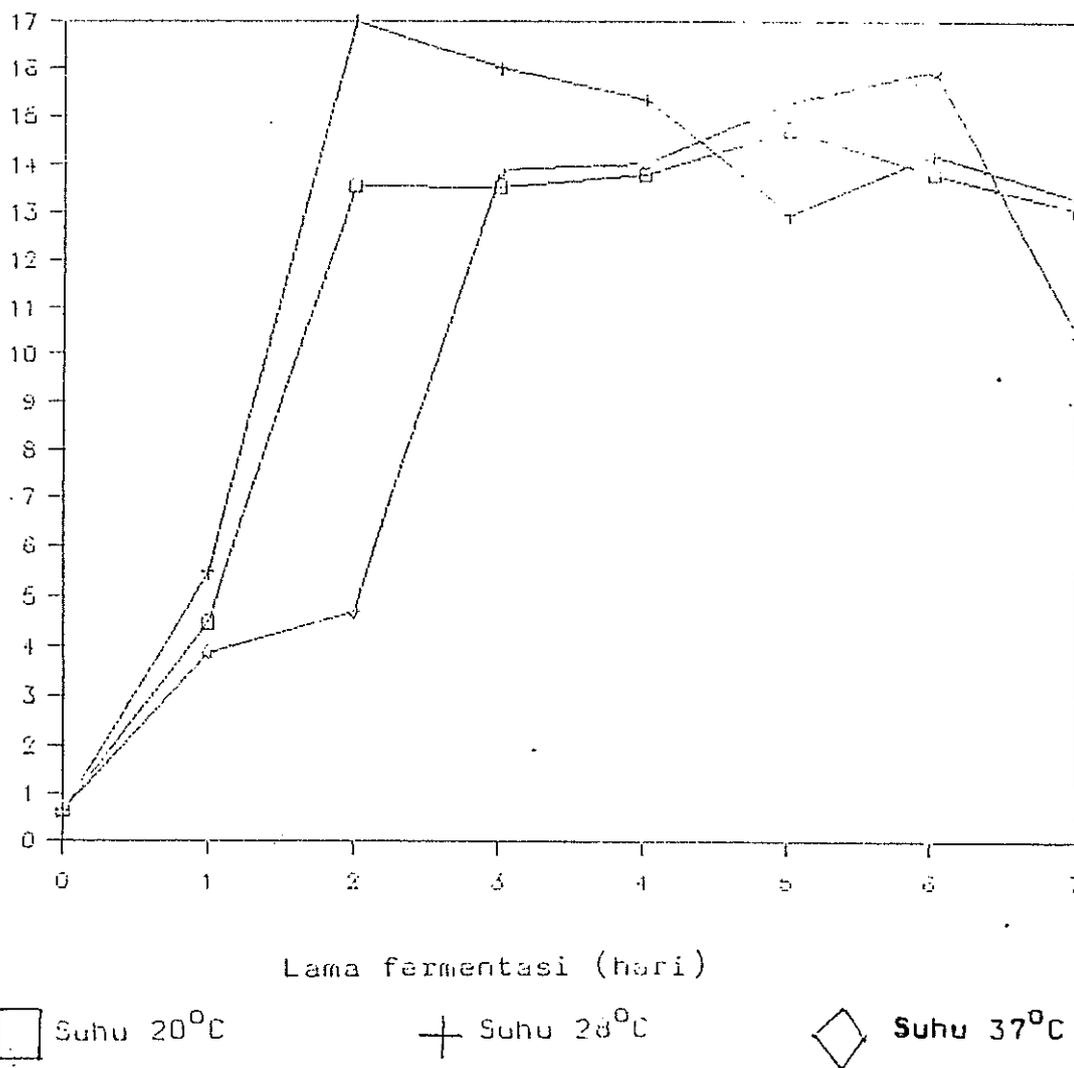
Untuk menentukan kondisi pertumbuhan mikroba yang optimum dilakukan fermentasi pada suhu 20°C, 28°C dan 37°C. Sedangkan lama fermentasi ditentukan dengan mencoba waktu dari 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 hari. Parameter yang diukur adalah kadar protein. Hasil dari percobaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.

Pada tahap awal, kedua mikroba yang ditumbuhkan yaitu *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA1, pada suhu 20°C, 28°C dan 37°C memperlihatkan pola yang relatif sama. Dari waktu 0 hari sampai dengan waktu 1 hari kurva sedikit naik. Pada waktu ini mikroba masih beradaptasi dengan lingkungan untuk melakukan metabolisme. Fase ini biasa disebut dengan fase adaptasi.

Pada tahap selanjutnya kurva akan mengalami kenaikan yang tajam yang menunjukkan terjadinya peningkatan kadar protein dengan pesat. Pada waktu ini mikroba mengalami fase pertumbuhan cepat (Log phase) dimana mikroba berkembang biak dengan cepat.



Gambar 9. Hubungan antara suhu dan lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba *Aspergillus niger* L51 :



Gambar 10. Hubungan antara suhu dan lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba *Aspergillus oryzae* T1

Fase "Log phase" pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA1 yang ditumbuhkan pada suhu 20°C dan 28°C, terjadi dari waktu 1 hari sampai 2 hari, sedangkan pada suhu 37°C terjadi dari 2 hari sampai 3 hari.

Pada *Aspergillus niger*, fase "Log phase" untuk ketiga suhu pertumbuhan yang digunakan terjadi dari waktu 1 hari sampai 2 hari.

Setelah mengalami fase "Log phase", mikroba akan mengalami masa perlambatan, di mana pertumbuhan mikroba tidak lagi secepat pada fase "Log phase". Hal ini menyebabkan laju peningkatan protein mengalami penurunan yang akhirnya akan mencapai tingkat kadar protein maksimum.

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar protein maksimum serta besarnya kadar protein tersebut tergantung dari kondisi pertumbuhan mikroba. Untuk *Aspergillus niger* L51 yang ditumbuhkan pada suhu 20°C, maka kadar protein maksimum terjadi pada hari ke 6, yaitu sebesar 15,90% berat kering (% bk). Untuk *Aspergillus niger* L51 yang ditumbuhkan pada suhu 37°C, maka kadar protein maksimum terjadi pada hari ke 5, yaitu sebesar 17,23% (bk). Sedangkan untuk *Aspergillus niger* L51 yang ditumbuhkan pada suhu 28°C, kadar protein terus mengalami peningkatan sampai pada hari ke 7. Hal ini menunjukkan bahwa

kondisi pertumbuhan yang optimum adalah pada suhu 37°C.

Pertumbuhan mikroba yang memberikan nilai kadar protein maksimum pada *Aspergillus oryzae* TA1, dicapai pada suhu 28°C selama 2 hari yaitu sebesar 17,00 (bk). Sedangkan pada suhu 20°C dan 37°C, berturut-turut adalah 14,43% (bk) selama 5 hari dan 15,82% (bk) selama 5 hari. Oleh karena itu suhu optimum untuk pertumbuhan adalah 28°C.

Setelah mengalami "fase pertumbuhan lambat", mikroba akan mengalami fase kematian atau "declined phase". Pada fase ini mikroba tidak lagi berkembang biak bahkan mengalami kematian yang disebabkan lingkungan yang tidak memungkinkan lagi untuk tumbuh atau juga dikarenakan beberapa zat makanan yang dibutuhkan sudah tidak tersedia lagi. Hal ini mengakibatkan terjadinya penurunan kadar protein yang ditunjukkan oleh kurva yang menurun. Namun demikian penurunan kurva tidak begitu tajam karena yang diukur adalah kadar protein yang dikandung oleh sel mikroba tersebut.

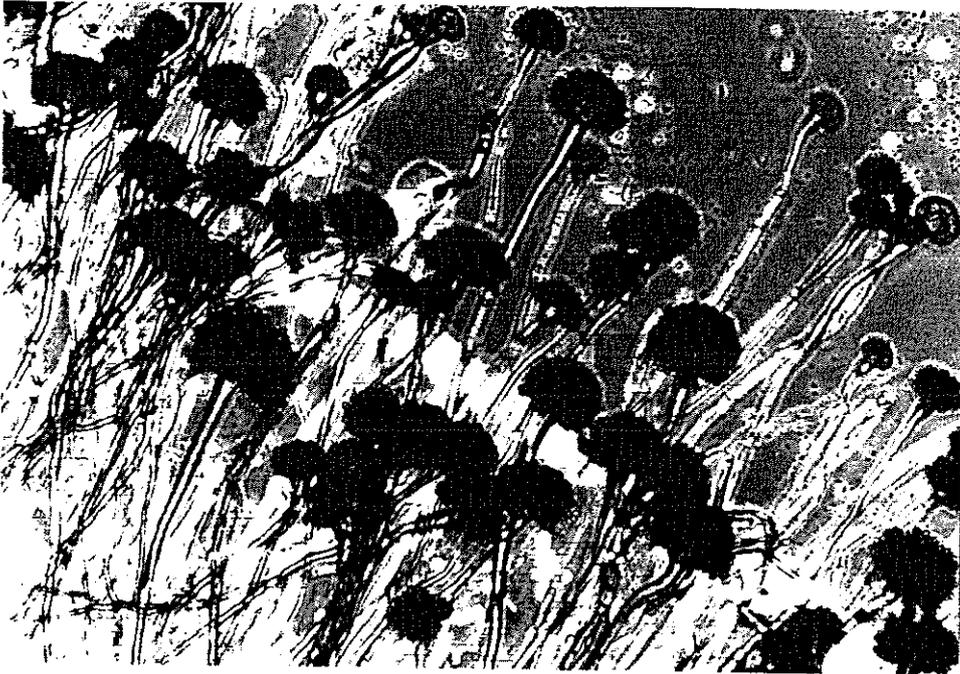
2. Isolasi Mikroba (Kapang)

Berdasarkan hasil pengamatan "slide culture" yang diamati pada mikroskop dengan perbesaran 400 X dan 100 X didapatkan karakteristik sebagai berikut :

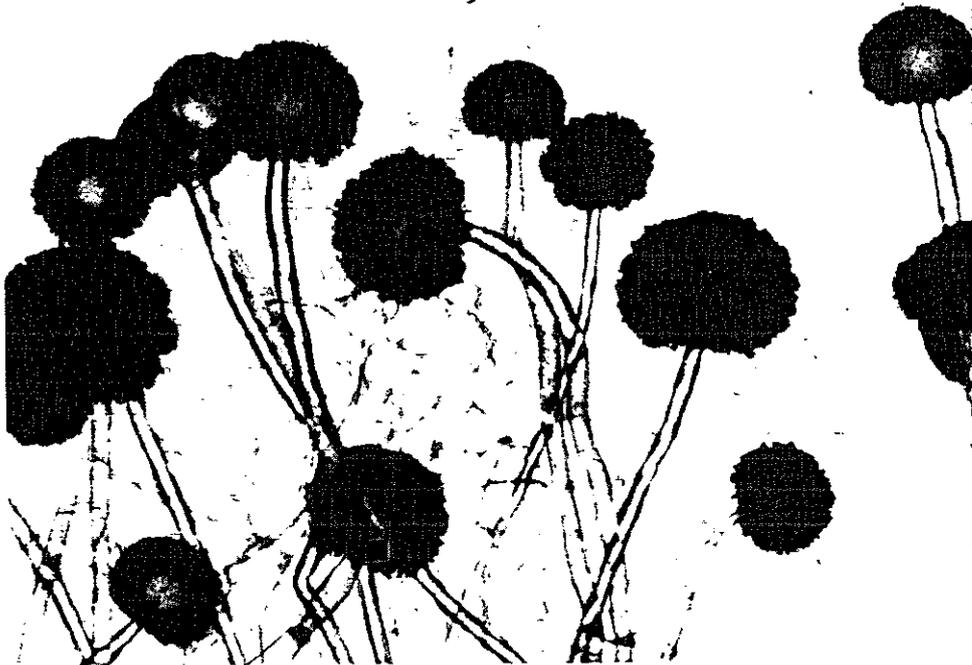
1. Mikroba yang diisolasi memiliki konidia berwarna hitam dan hijau.
2. Pada mikroba dengan konidia berwarna hitam, kepala pembawa spora berukuran besar, bulat padat dan berwarna hitam; konidiofor berseptat, miselium berwarna putih dan pada bagian atas dari konidiofor ada yang mengembang membentuk vesikel.
3. Pada mikroba dengan konidia berwarna hijau, kepala pembawa spora berwarna hijau berukuran kecil dan tidak bulat; konidiofor berseptat, miselium berwarna kuning dan ukuran konidiofor relatif lebih kecil dan panjang dibandingkan dengan konidiofor dari mikroba dengan konidia berwarna hitam.

Menurut Pelczar dan Reid (1972), kapang-kapang dari genus *Aspergillus* menghasilkan miselium yang berseptat dengan bagian vegetatif berada di dalam nutrien. Konidiofor bisa berseptat ataupun tidak dengan bagian atas mengembang membentuk vesikel tempat tumbuhnya sterigmata. Bentuk dan ukuran vesikel beragam bergantung dari spesies. Warna konidia beragam dan bersifat sangat spesifik untuk setiap spesies. Warna yang umum terdapat adalah hitam, coklat dan hijau. Berdasarkan karakteristik di atas, maka dapat diduga bahwa mikroba (kapang)

yang berhasil diisolasi dari gabah termasuk dalam genus *Aspergillus*.



Gambar 11a. Bentuk morfologi *Aspergillus* sp. berspora hijau pada perbesaran 100 X.



Gambar 11b. Bentuk morfologi *Aspergillus niger* L51 pada perbesaran 100 X



Gambar 12a. Bentuk morfologi *Aspergillus* sp. berspora hitam pada perbesaran 100 X



Gambar 12b. Bentuk morfologi *Aspergillus oryzae* TA1 pada perbesaran 100 X

B. Penelitian Utama

1. Kadar Air

Pengukuran kadar air pada akhir proses fermentasi dimaksudkan untuk mengetahui jumlah biomassa yang dihasilkan dan jumlah air yang terakumulasi. Dalam hal ini air di dalam medium fermentasi memegang peranan penting di dalam proses germinasi spora. Di samping itu air juga dibutuhkan untuk proses difusi zat-zat nutrisi dan enzim ke dalam sel-sel kapang (Garraway dan Evans, 1984).

Hasil analisa terhadap air pada kedua jenis mikroba yang digunakan ; yaitu *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA1 menunjukkan bahwa pada akhir fermentasi kadar air mengalami peningkatan untuk hampir semua perlakuan (Gambar 13 dan 14). Berdasarkan analisa sidik ragam (lampiran 1a dan 1b), perlakuan tingkat konsentrasi urea dan lama fermentasi berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan kadar air, sedangkan interaksi antara tingkat konsentrasi urea dan lama fermentasi tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air substrat.

Hasil analisa uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Duncan pada pengaruh perlakuan tingkat konsentrasi urea terhadap peningkatan kadar air; pada pembuatan

protein sel tunggal dengan mikroba *Aspergillus niger* L51 dapat dilihat pada Tabel 6.

Dari Tabel 6 terlihat bahwa konsentrasi urea sebesar 5% memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap peningkatan kadar air substrat. Pada konsentrasi ini, kadar air substrat relatif lebih kecil dibandingkan dengan kadar air substrat yang dibuat dengan konsentrasi urea sebesar 1%, 2%, 3% dan 4%. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi urea sebesar 5%, pertumbuhan sel kapang sudah mulai terhambat (Gambar 13). Penghambatan ini disebabkan karena adanya inhibisi substrat sumber nitrogen dan kemungkinan terjadinya perbedaan tekanan osmosis yang dapat menyebabkan plasmolisa sel-sel kapang sehingga terjadi penghambatan sintesa enzim pada rantai respirasi (Red dan Pepler, 1973).

Tabel 7 memperlihatkan hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pada pengaruh lama fermentasi terhadap peningkatan kadar air substrat. Di sini terlihat bahwa taraf fermentasi 6 hari memberikan hasil yang berbeda nyata. Dari Gambar 14 dapat ditarik kesimpulan bahwa peningkatan kadar air sangat dipengaruhi oleh lama fermentasi; dimana semakin lama proses fermentasi berlangsung, semakin besar pula kadar air substrat yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena jumlah massa sel kapang yang melakukan metabolisme

semakin meningkat sejalan dengan bertambahnya waktu untuk proses fermentasi. Dalam metabolisme ini, pemecahan karbohidrat akan menghasilkan sejumlah H_2O .

Berdasarkan hasil uji BNJ Duncan pada pengaruh tingkat konsentrasi urea terhadap peningkatan kadar air substrat pada pembuatan protein sel tunggal dengan mikroba *Aspergillus oryzae* TA1, dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan konsentrasi urea sebesar 5% memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap peningkatan kadar air substrat. Untuk lebih jelasnya, pengaruh konsentrasi urea tersebut dapat dilihat pada Tabel 8.

Gambar 14 memperlihatkan bahwa penambahan urea sebesar 5%, kenaikan kadar air substrat relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan penambahan konsentrasi urea sebesar 1%, 2%, 3% maupun 4%. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi urea sebesar 5% memberikan efek penghambatan seperti halnya pada pembuatan protein sel tunggal dengan mikroba *Aspergillus niger* L51.

Peningkatan kadar air pada medium fermentasi disebabkan adanya akumulasi H_2O sebagai hasil samping proses respirasi. Menurut Wang et al (1979), pertumbuhan mikrobial dalam kondisi aerobik akan menghasilkan sejumlah H_2O . Perbedaan tingkat ke-



naikan kadar air yang berbeda-beda pada berbagai tingkat konsentrasi urea yang digunakan, diduga karena adanya penghambatan aktivitas enzim yang disebabkan oleh fenomena penghambatan substrat. Sedangkan perbedaan kenaikan kadar air pada waktu fermentasi yang berbeda, disebabkan akumulasi H_2O yang terjadi dari hasil samping proses respirasi, akan semakin besar karena terjadinya peningkatan jumlah sel kapang sejalan dengan semakin bertambahnya waktu.

Dibandingkan dengan mikroba *Aspergillus* sp. berspora hitam dan hijau yang diisolasi dari gabah, mikroba *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA₁ mempunyai kenaikan kadar air yang lebih tinggi. Nilai kadar air substrat pada mikroba *Aspergillus* sp. berspora hitam dan hijau yang difermentasi selama 6 hari berturut-turut adalah 45,95% (bb) dan 45,70 (bb), sedangkan pada *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA₁ adalah 47,67% (bb) dan 46,77% (bb). Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan mikroba *Aspergillus* sp. berspora hitam dan hijau lebih sedikit daripada pertumbuhan mikroba *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA₁. Pertumbuhan yang lebih sedikit ini dapat dilihat dari lebatnya spora yang terbentuk. Spora yang terbentuk pada mikroba *Aspergillus* sp. berspora



hitam dan hijau, tidak selebat spora yang terbentuk pada pertumbuhan mikrona *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA₁.

2. Kadar Abu

Dari hasil penelitian diperoleh kenaikan kadar abu yang tinggi, bila dibandingkan antara tepung sagu mentah dengan tepung sagu yang telah difermentasi (Gambar 15 dan 16). Kenaikan yang cukup besar ini dikarenakan adanya penambahan mineral pada substrat yang difermentasi.

Larutan mineral dalam hal ini ditambahkan ke dalam media dengan tujuan memberikan mineral tambahan kepada mikroba agar ketersediaan mineral bagi mikroba terjamin, sehingga mikroba dapat memproduksi enzim-enzim yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dengan baik. Adapun komposisi larutan mineral yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 7.

Penambahan larutan mineral untuk kedua jenis mikroba adalah sama, yaitu sebesar 5 % (v/w) dari berat substrat. Oleh karena itu kadar abu untuk kedua jenis produk yang dihasilkan tidak berbeda jauh, yaitu berkisar 2.51 ± 0.49 (Gambar 15 dan 16). Hal ini sejalan dengan hasil analisa sidik ragam pada pengaruh konsentrasi urea dan lama fermentasi

Tabel 5. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap kadar air substrat pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan*)	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	43,95	A	A
2	43,81	AB	A
3	43,67	A	A
4	43,44	AB	A
5	42,66	B	B

α = selang kepercayaan

* = adanya huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata

Tabel 6. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap kadar air substrat pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Lama Fermentasi (hari)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
0	40,50	E	F
1	41,07	DE	EF
2	41,85	CD	DE
3	42,63	BC	CD
4	43,07	BC	C
5	43,34	B	C
6	47,17	A	B
7	48,40	A	A

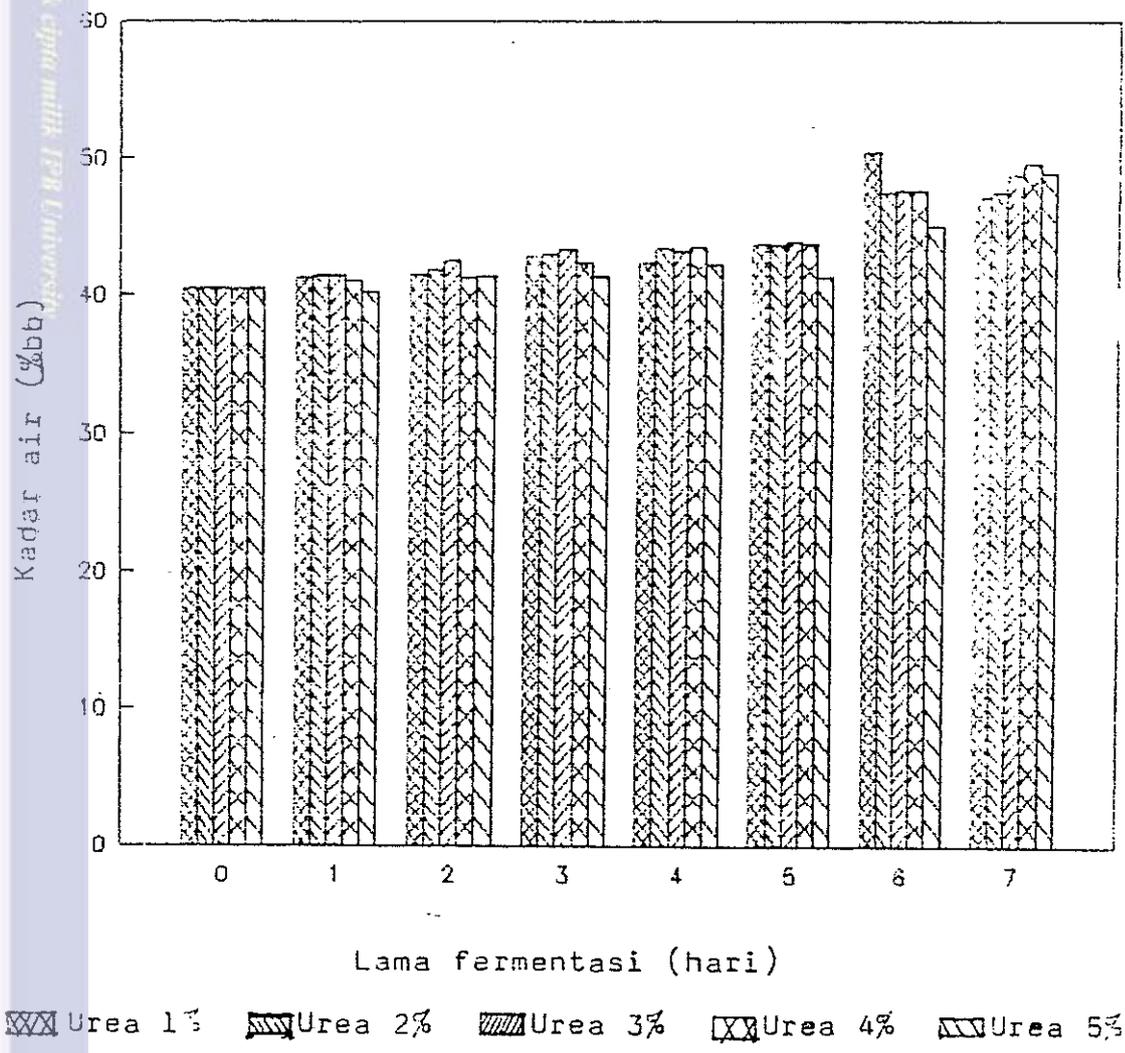
Tabel 7. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan, pengaruh konsentrasi urea terhadap peningkatan kadar air substrat pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA1

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	43,69	A	A
2	43,26	AB	AB
3	42,84	B	B
4	42,71	BC	B
5	41,99	C	C

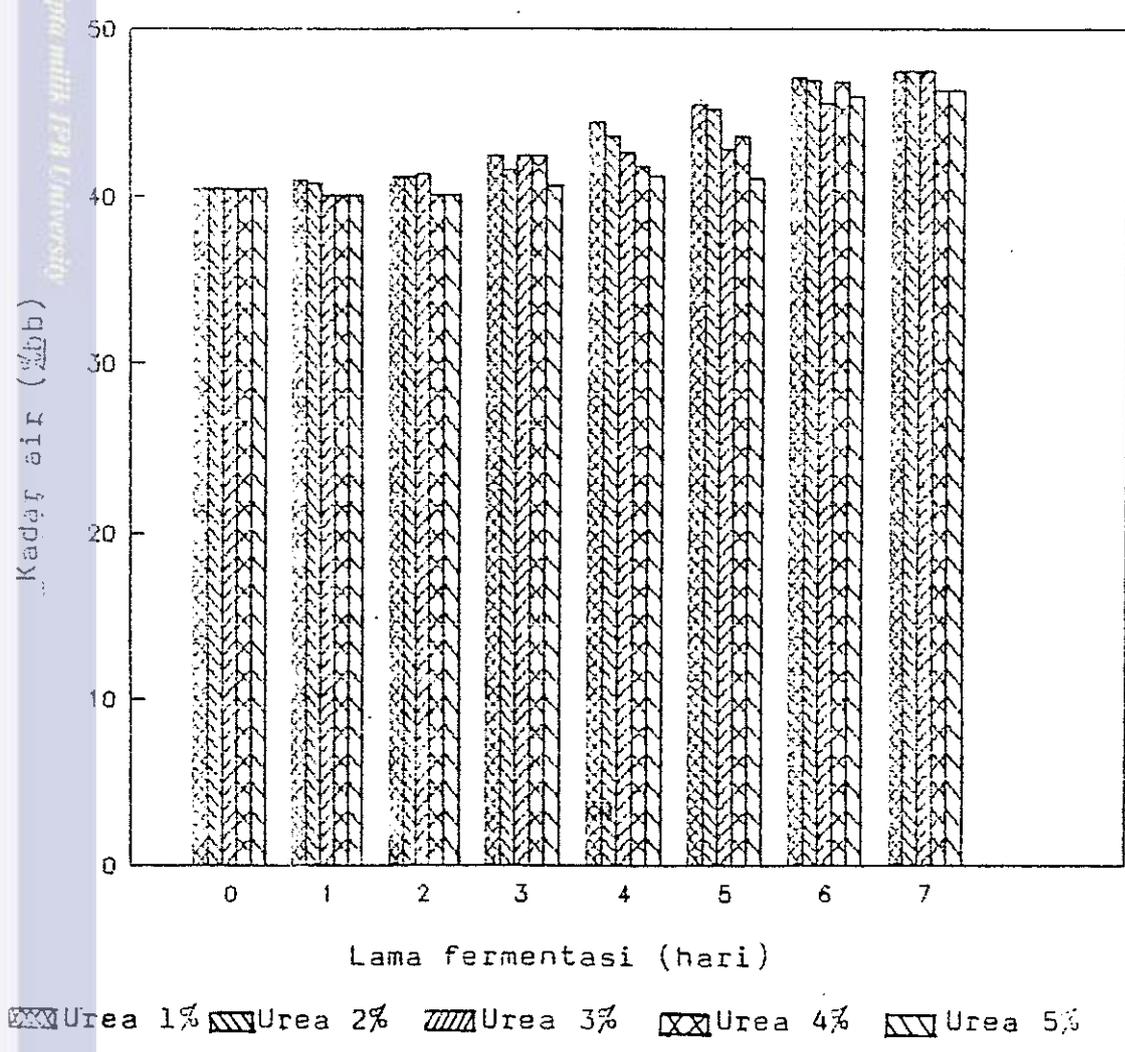
Tabel 8. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan, pengaruh lama fermentasi terhadap peningkatan kadar air substrat pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA1

Lama Fermentasi (hari)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
0	40,50	D	E
1	40,49	D	E
2	40,65	D	E
3	41,87	C	D
4	42,67	C	C
5	43,62	B	B
6	46,44	A	A
7	47,00	A	A

α = selang kepercayaan



Gambar 13. Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap peningkatan kadar air pada mikroba *Aspergillus niger* L51



Gambar 14. Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap peningkatan kadar air pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁.

terhadap peningkatan kadar abu yang memberikan hasil tidak berpengaruh nyata (Lampiran 6a).

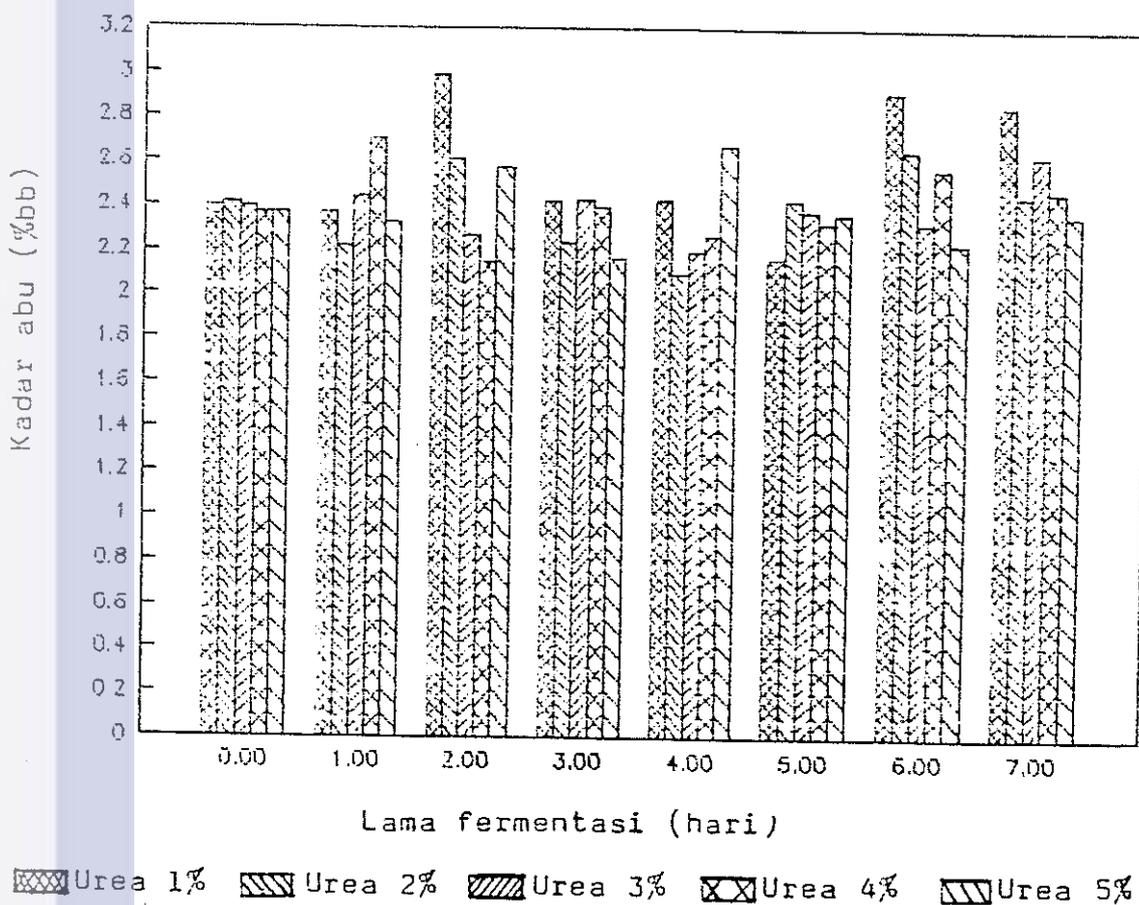
Bila dibandingkan dengan mikroba *Aspergillus* sp. berspora hitam dan hijau yang diisolasi dari gabah, kenaikan kadar abu tidak berbeda. Hal ini disebabkan karena jumlah dan komposisi larutan mineral yang ditambahkan adalah sama.

3. pH

Dari hasil pengukuran pH terlihat bahwa pH sagu setelah fermentasi berbeda dengan pH sagu sebelum fermentasi. Pada kondisi awal, nilai pH pada perlakuan dengan konsentrasi urea sebesar 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% berturut-turut adalah 4,63; 4,68; 4,73; 4,76 dan 4,78. Sedangkan nilai pH akhir yang dicapai pada saat kadar protein mencapai maksimum berturut-turut adalah 3,88; 4,03; 4,59; 4,33 dan 4,27 untuk *Aspergillus niger* L51. Untuk *Aspergillus oryzae* TA₁ nilai tersebut berturut-turut adalah : 5,7; 5,34; 6,15; 5,95 dan 5,93.

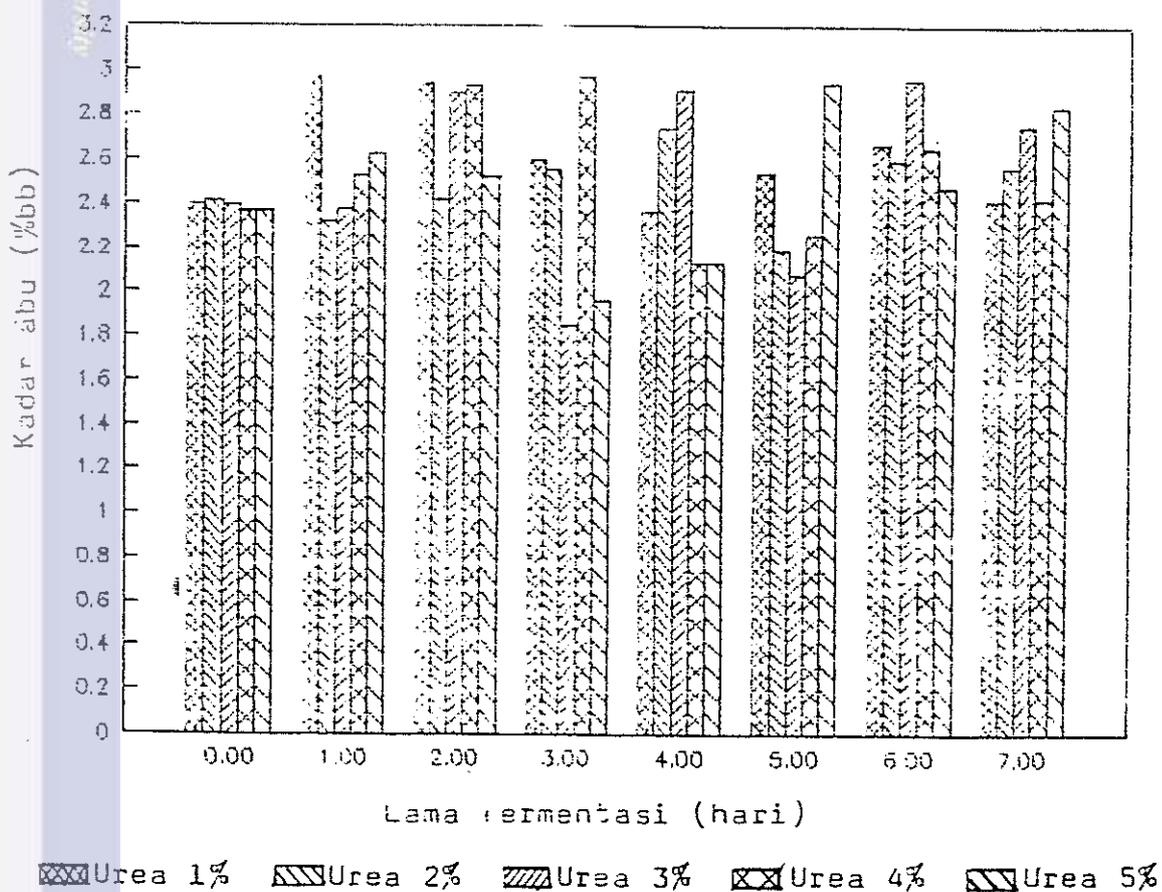
Penambahan nilai pH setelah fermentasi dapat dilihat pada Gambar 17 dan 18. Penambahan ini disebabkan karena senyawa-senyawa yang bersifat asam maupun basa sebagai metabolit terlibat di dalam proses fermentasi.

Pembentukan protein di dalam proses fermentasi ini selalu disertai dengan pelepasan ion H^+ sehingga menyebabkan media menjadi asam. Pada mulanya mikroorganisme akan mengkonsumsi nitrogen dalam bentuk NH_3^+ dan membentuk massa sel dengan karbon, yaitu



Gambar 15. Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap kadar abu pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Halo Guru Pengantar! Selamat datang di Online Learning sebagai salah satu layanan IPB untuk meningkatkan kualitas dan aksesibilitas belajar. Berikan tanggapan atau pertanyaan kepada dosen pengantar, penulisan tugas, diskusi, dan pertanyaan lainnya. Berikan tanggapan atau pertanyaan kepada dosen pengantar, penulisan tugas, diskusi, dan pertanyaan lainnya. Berikan tanggapan atau pertanyaan kepada dosen pengantar, penulisan tugas, diskusi, dan pertanyaan lainnya.



Gambar 16. Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap kadar abu pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA1

dengan membentuk ikatan $R - NH_3^+$. Setiap pengikatan satu ion NH_3^+ oleh kerangka karbon (R) akan disertai dengan pelepasan satu ion H^+ ke dalam lingkungan media (Wang et al, 1979). Faktor lain yang dapat menurunkan nilai pH adalah karena terbentuknya asam-asam organik selama proses fermentasi seperti asam sitrat.

Gambar 17 dan 18 menunjukkan bahwa nilai pH juga bisa naik, hal ini disebabkan karena di dalam proses fermentasi berlangsung proses peruraian urea menjadi NH_3^+ dan adanya aktivitas enzim protease. Dalam hal ini enzim protease akan mendegradasi protein yang terus dijadikan sumber karbon oleh mikroba dan meninggalkan gugus amina yang bersifat basa. Keseimbangan antara proses degradasi protein menjadi senyawa nitrogen, penguraian urea menjadi NH_3^+ dan proses pembentukan asam-asam organik akan menghasilkan nilai pH tertentu.

Nilai pH yang naik terutama terjadi pada pembuatan protein sel tunggal dengan mikroba *Aspergillus oryzae* TA1, *Aspergillus* sp. berspora berspora hitam dan hijau. Hal ini disebabkan karena kapang-kapang tersebut merupakan salah satu mikroba penghasil enzim protease. Menurut Winarno (1986), mikroba *Aspergillus niger* dan *Aspergillus oryzae*



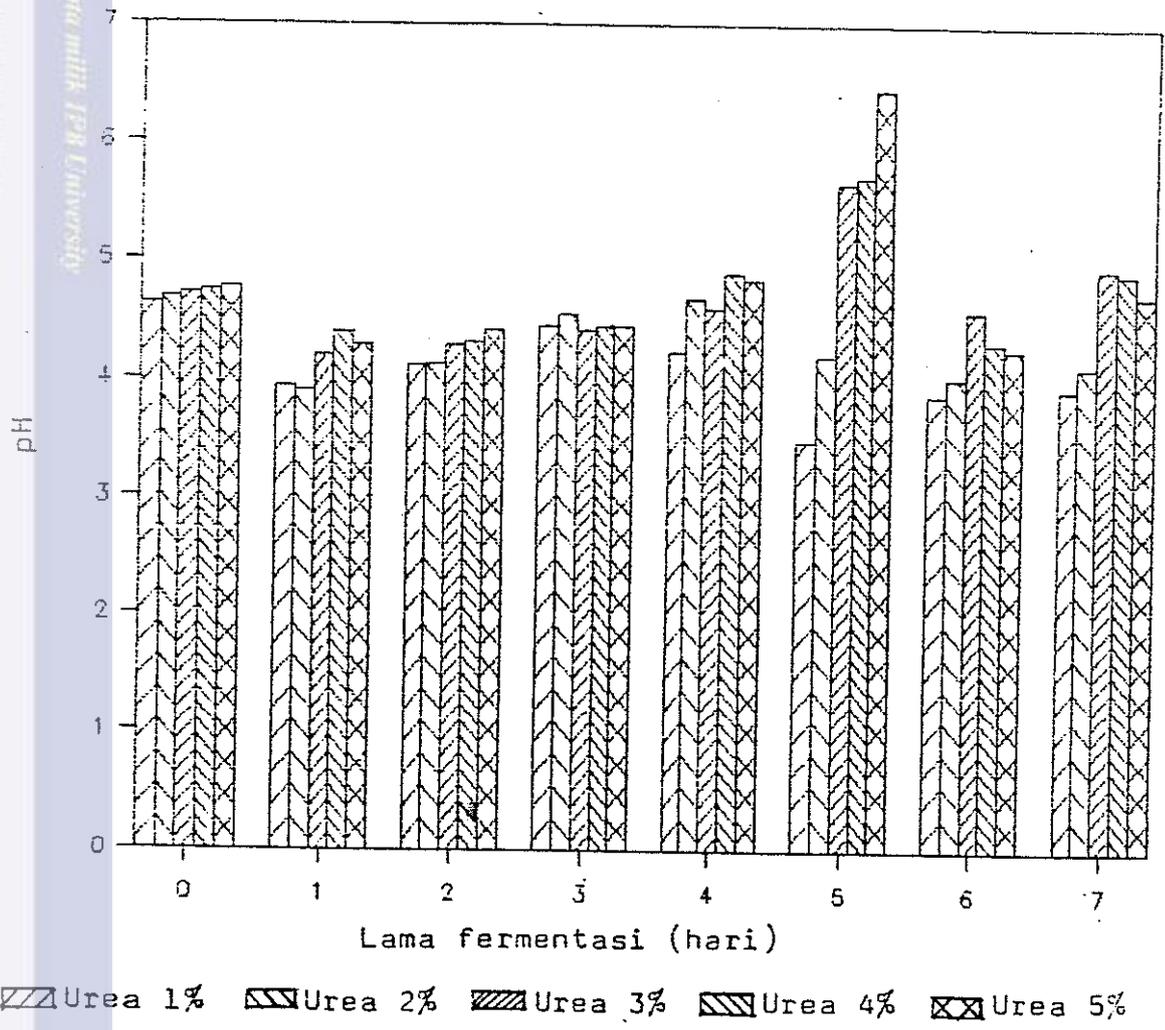
merupakan kapang penghasil enzim protease yang telah digunakan di dalam industri pengolahan makanan.

Hasil analisa sidik ragam terhadap pH produk menunjukkan bahwa pada kedua mikroba yang digunakan, yaitu *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA1; perlakuan urea, lama fermentasi dan interaksi antara konsentrasi urea dan lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap pH produk, baik pada selang kepercayaan $\alpha = 0,01$ maupun $\alpha = 0,05$ (Lampiran 2a dan 2b)

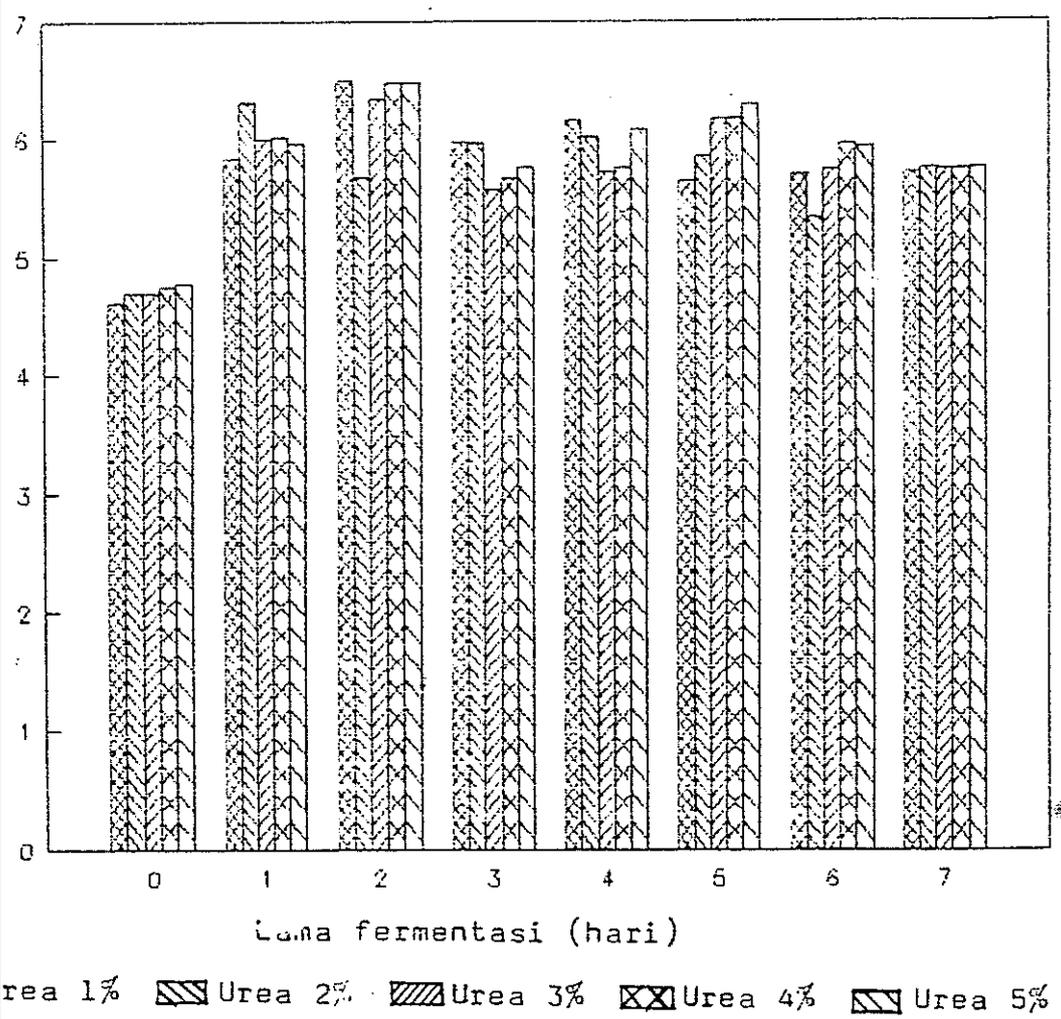
Hasil uji BNJ Duncan pada pengaruh tingkat konsentrasi urea terhadap pH produk pada pembuatan protein sel tunggal dengan mikroba *Aspergillus niger* L51 dapat dilihat pada Tabel 10.

Dari Tabel tersebut dapat dilihat bahwa hampir semua konsentrasi urea yang dicobakan (1%, 2%, 3%, 4% dan 5%) memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap pH produk. Pengaruh yang tidak berbeda nyata terdapat antara taraf 3% dan 4%.

Sedangkan hasil uji BNJ Duncan pada pengaruh lama fermentasi dapat dilihat pada Tabel 11. Di sini terlihat bahwa hampir semua taraf perlakuan lama fermentasi memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap pH produk, kecuali antara taraf 1,2 dan 6 hari; serta 3 dan 7 hari.



Gambar 17. Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap nilai pH pada mikroba *Aspergillus niger* L51



Gambar 18 Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap nilai pH pada mikroba *Aspergillus oryzae* TAI

Tabel 9. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap nilai pH pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	4,78	C	C
2	4,72	B	B
3	4,68	A	A
4	4,28	A	A
5	4,09	A	A

Tabel 10. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap nilai pH pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
0	4,72	B	B
1	4,15	E	E
2	4,26	E	E
3	4,46	D	D
4	4,65	BC	BC
5	4,10	A	A
6	4,22	E	E
7	4,53	CD	CD

Tabel 11. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap nilai pH pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	5,77	AB	BC
2	5,69	B	C
3	5,80	AB	AB
4	5,81	A	AB
5	5,87	A	A

Tabel 12. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap nilai pH pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
0	4,72	E	D
1	6,02	B	B
2	6,29	A	A
3	5,78	D	C
4	5,93	BC	BC
5	6,02	B	B
6	5,81	CD	C
7	5,79	D	C

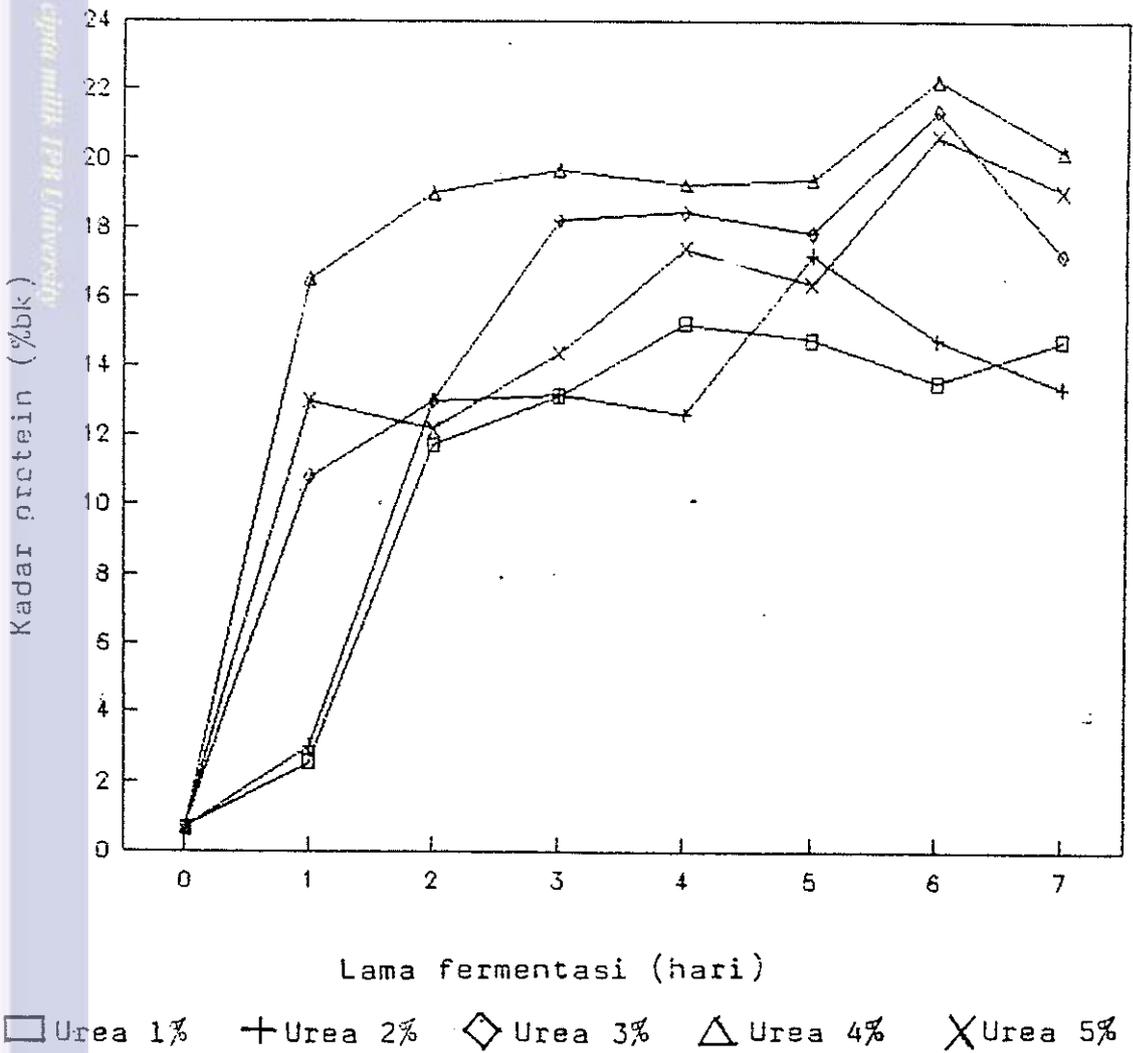
4. Kadar Protein

Kondisi pertumbuhan mikroba selama fermentasi sangat menentukan produktifitas dan mutu protein sel tunggal yang dihasilkan. Unsur karbon dan nitrogen mutlak diperlukan dalam pertumbuhan mikroba untuk proses pembentukan energi dan metabolit-metabolit seperti enzim, hormon dan lain-lain (Prescott dan Dun, 1982). Perbandingan antara sumber karbon dan nitrogen untuk pertumbuhan dapat disusun dengan mengatur perbandingan C : N pada kisaran 7 : 1 sampai 10 : 1 agar dapat dicapai produk protein mikroba yang tinggi (Litchfield, 1979). Sebagai sumber karbon dalam penelitian ini digunakan tepung sagu, sedangkan sebagai sumber nitrogen digunakan Ammonium sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan urea $(\text{NH}_2\text{CONH}_2)$.

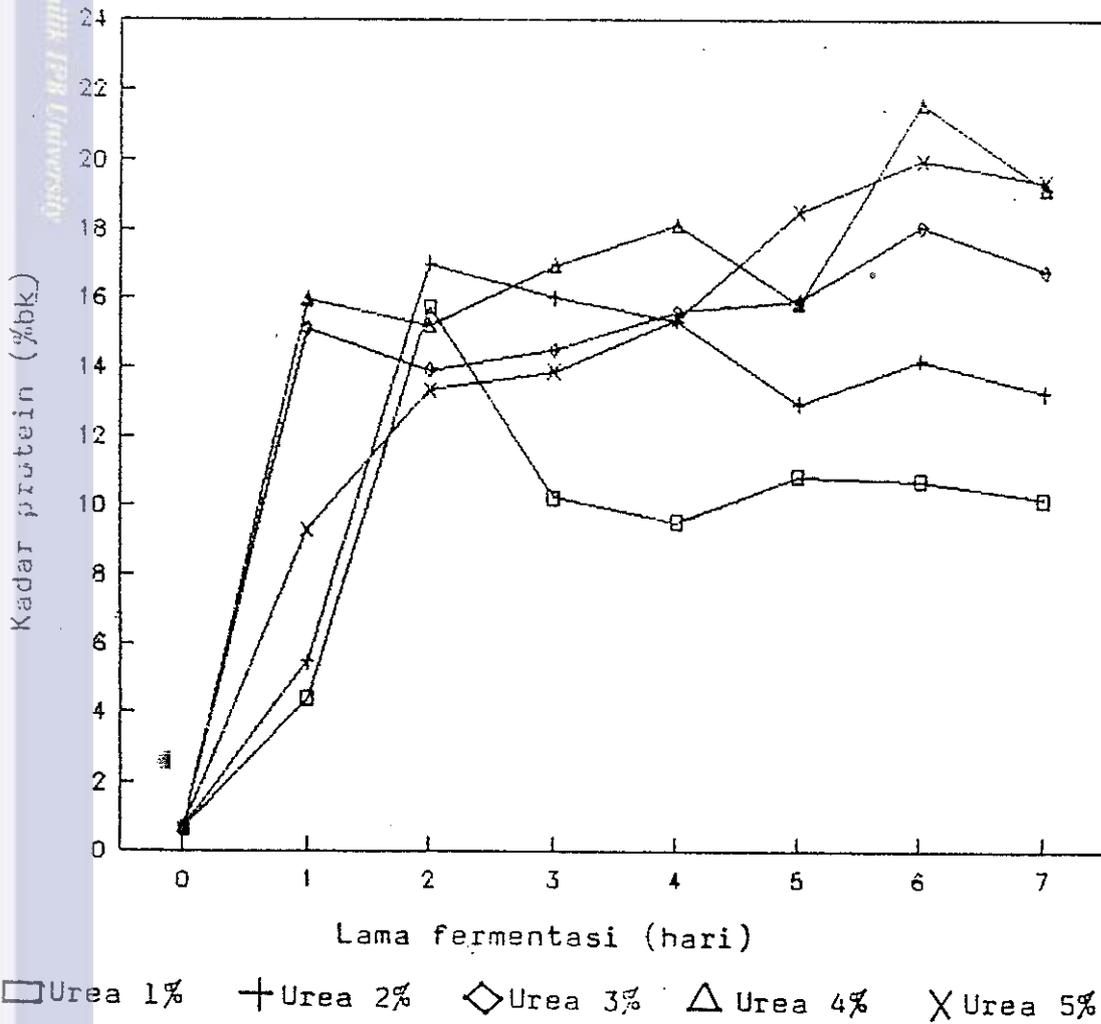
Selama proses fermentasi berlangsung, kadar protein media mengalami peningkatan. Peningkatan ini disebabkan adanya peningkatan jumlah masa sel kapang (Wang et al, 1979). Gambar 19 dan 20 menunjukkan peningkatan kadar protein sel tunggal dari tepung sagu dengan mikroba *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA₁, untuk setiap taraf perlakuan tingkat konsentrasi urea dan lama fermentasi. Dari Gambar 19 dan 20 terlihat bahwa setiap taraf perlakuan tingkat konsentrasi urea, kadar protein mikroba akan mengalami peningkatan sampai batas tertentu



Grafiik cipta milik IPB University



Gambar 19. Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba *Aspergillus niger* L51



Gambar 20. Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁.

Halaman ini adalah bagian dari dokumen yang diterbitkan oleh IPB University. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id.
 1. Diizinkan untuk digunakan sebagai referensi.
 2. Diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi dengan syarat harus mencantumkan nama penulis dan institusi asal.
 3. Tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai referensi untuk tujuan komersial.
 4. Penggunaan tanpa izin dapat mengakibatkan sanksi administratif, perundang-undangan, peradilan, pidana, dan/atau denda.
 5. Penggunaan tanpa izin dapat mengakibatkan sanksi administratif, perundang-undangan, peradilan, pidana, dan/atau denda.
 6. Penggunaan tanpa izin dapat mengakibatkan sanksi administratif, perundang-undangan, peradilan, pidana, dan/atau denda.

untuk kemudian mengalami penurunan sejalan dengan semakin bertambahnya waktu untuk fermentasi. Peningkatan tersebut semakin besar sejalan dengan semakin bertambahnya konsentrasi urea yang digunakan sampai batas tertentu, di mana pada konsentrasi urea 4% kadar protein yang dihasilkan paling besar dan sebaliknya mengalami penurunan pada tingkat konsentrasi urea 5%.

Kadar protein tertinggi yang dicapai pada setiap taraf konsentrasi urea 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% ; pada mikroba *Aspergillus niger* L51 berturut-turut adalah 15,25%, 17,23%, 21,38%, 22,27% dan 20,62% berat kering (bk). Nilai kadar protein tersebut berturut-turut dicapai dalam waktu 4, 5, 6, 6 dan 6 hari. Sedangkan untuk *Aspergillus oryzae* TA₁, nilai tersebut berturut-turut adalah 15,73%, 17,00%, 18,08%, 21,59% dan 19,96% (bk). Nilai tersebut dicapai selama 2, 2, 6, 6 dan 6 hari (kadar air produk berkisar antara 3 - 7 %).

Di sini terlihat bahwa semakin kecil tingkat konsentrasi urea yang digunakan semakin sedikit waktu yang diperlukan untuk mencapai tingkat kadar protein maksimum dan semakin kecil pula nilai kadar protein maksimum yang dihasilkan. Hal ini disebabkan konsentrasi urea yang kecil akan mensuplai nitrogen dalam jumlah yang kecil pula, sehingga

nitrogen yang tersedia akan cepat habis dimanfaatkan untuk sintesa protein, sedangkan pada tingkat konsentrasi urea yang besar nitrogen yang tersedia relatif lebih besar. Nilai kadar protein tertinggi dicapai oleh *Aspergillus niger* L51 pada perlakuan konsentrasi urea 4% dan lama fermentasi 6 hari, yaitu sebesar 22,27 % (bk).

Penambahan urea sebesar 4% dari berat substrat memberikan hasil yang terbaik. Penambahan urea yang lebih besar dari 4% justru akan menurunkan kadar protein dari protein sel tunggal yang dihasilkan. Penurunan ini timbul karena adanya inhibisi atau penghambatan substrat dan fenomena tekanan osmosis.

Pada setiap tingkat konsentrasi urea, baik pada pembuatan protein sel tunggal dengan mikroba *Aspergillus niger* L51, maupun *Aspergillus oryzae* TA₁, waktu fermentasi sangat berpengaruh terhadap nilai kadar protein yang dihasilkan. Penurunan kadar protein setelah nilai kadar protein mencapai maksimum, pada setiap tingkat konsentrasi urea yang dicobakan disebabkan karena mikroba tidak lagi berkembang biak, bahkan mengalami kematian yang disebabkan lingkungan tidak memungkinkan lagi bagi mikroba untuk tumbuh atau beberapa zat makanan yang tersedia sudah berkurang. Penurunan kadar protein ini ditunjukkan oleh kurva yang menurun (Gambar 19



dan 20), namun penurunan kurva tidak tajam karena yang diukur adalah kadar protein yang dikandung oleh sel mikroba tersebut. Hal ini sejalan dengan hasil analisa sidik ragam dan uji beda nyata jujur Duncan.

Analisa sidik ragam (Lampiran 3a dan 3b) pada pembuatan protein sel tunggal dengan mikroba *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA₁ memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar protein produk pada perlakuan konsentrasi urea, lama fermentasi serta interaksi antara konsentrasi urea dan lamam fermentasi.

Pada mikroba *Aspergillus niger* L51, hasil uji BNJ Duncan pada pengaruh konsentrasi urea terhadap peningkatan kadar protein menunjukkan bahwa konsentrasi urea sebesar 1% dan 2% tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata, sedangkan untuk konsentrasi urea sebesar 2%, 3%, 4% dan 5% memberikan pengaruh yang berbeda nyata (Tabel 14).

Pengaruh lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein menunjukkan hasil yang tidak berbeda antara taraf 7 dan 5 hari. Pengaruh berbeda nyata didapatkan pada taraf 0,1, 2, 4, 6 dan 7 hari (Tabel 15).

Hasil uji BNJ Duncan pada pengaruh konsentrasi urea terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba *A. oryzae* TA₁ menunjukkan pengaruh yang tidak berbe-

da nyata antara taraf 3% dan 5%, sedangkan pengaruh yang berbeda nyata terdapat antara 1%, 2%, 3% dan 4% (Tabel 16).

Tabel 17 memperlihatkan hasil uji beda nyata jujur Duncan pada pengaruh lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein. Di sini terlihat bahwa taraf 1, 3, 6 dan 7 hari memberikan pengaruh yang berbeda nyata. Pengaruh yang tidak berbeda nyata terdapat antara taraf 2 dengan 3,4, 5 hari serta antara taraf 2 dan 7 hari.

Dibandingkan dengan hasil pengukuran kadar protein pada pembuatan PST dengan mikroba *Aspergillus* sp. berspora hitam dan hijau, nilai kadar protein yang dihasilkan oleh *A. niger* L51 dan *A. oryzae* TA₁ pada fermentasi 6 hari dengan tingkat konsentrasi urea 4% jauh lebih besar. kadar protein pada *Aspergillus* sp. berspora hitam dan hijau berturut-turut adalah 19,40% (bk) dan 19,39% (bk).

Hasil penelitian Linda Rosa (1986), menunjukkan bahwa peningkatan kadar protein tepung sagu dengan metode fermentasi medium cair; dengan mikroba *Aspergillus niger* mencapai 5,67 (% bk). Hasil ini jauh berbeda dengan yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu 22,27% (bk). Menurut Satiawihardja (1981), beberapa keuntungan penggunaan fermentasi medium padat adalah bahwa fermentasi medium padat dapat



Tabel 13. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	10,74	D	D
2	11,02	D	D
3	14,73	B	B
4	17,12	A	A
5	13,92	C	C

Tabel 14. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
0	0,68	F	F
1	8,75	E	E
2	13,86	D	D
3	15,74	C	C
4	16,59	B	B
5	17,12	B	B
6	18,58	A	A
7	16,91	B	B

Tabel 15. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	9,10	D	D
2	11,83	C	C
3	13,82	B	B
4	15,41	A	B
5	13,79	B	A

Tabel 16. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap peningkatan kadar protein pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
0	0,68	E	F
1	10,04	D	E
2	15,06	BC	C
3	14,31	C	D
4	15,07	BC	C
5	14,70	C	CD
6	16,76	A	A
7	15,70	B	B

menghasilkan produk dengan kepekatan yang tinggi, produktivitas tinggi dan kondisi mediumnya mendekati keadaan tempat tumbuh kapang yang biasa dijumpai di alam.

5. Kadar Pati

Hasil pengukuran kadar pati pada fermentasi menunjukkan adanya penurunan. Penurunan kadar pati ini disebabkan karena adanya aktivitas *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA₁. Dalam hal ini kedua mikroba tersebut memproduksi enzim pendegrada-si pati. Di dalam proses fermentasi ini, pati akan dipecah menjadi gula-gula sederhana oleh enzim pendegradasi pati yang dihasilkan mikroba. Gula-gula sederhana tersebut kemudian digunakan sebagai sumber karbon dalam sistem fermentasi.

Karbon adalah sumber nutrisi utama yang diperlukan dalam pertumbuhan *Aspergillus* sp. Dalam fermentasi ini tepung sagu berperan sebagai sumber karbon. Hal ini disebabkan karena kadar pati tepung pati sangat tinggi yaitu 84,7% (bk).

Gambar 21 dan 22 memperlihatkan kandungan pati produk pada kedua mikroba yang digunakan; pada tingkat konsentrasi urea 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% dengan lama fermentasi 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 hari.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa penurunan kadar pati substrat sangat tajam. Hal ini disebabkan aktivitas kapang *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA1 sangat besar dalam memproduksi enzim-enzim yang mampu memecah pati. Menurut Blain (1975) *Aspergillus niger* dapat memproduksi beberapa enzim ekstraseluler seperti amilase, pekti-nase, selulase, amiloglukosidase dan katalase. Sedangkan menurut Tauber (1950), *Aspergillus oryzae* dapat menghasilkan enzim-enzim pendegradasi pati seperti α -amilase, β -amilase, maltase, laktase, selulase, katalase. Menurut Winarno (1986), isolasi enzim α -amilase dapat dilakukan dari mikroba *Aspergillus oryzae*.

Penurunan yang tajam pada kandungan pati menunjukkan aktivitas pertumbuhan yang maksimum. Menurut Rehm dan Reed (1981), laju pertumbuhan spesifik maksimum dicapai pada saat suplai substrat dan nutrien masih berlebih, viabilitas sel tinggi dan kondisi lingkungan pertumbuhan optimum serta tidak adanya zat-zat yang dapat menghambat pertumbuhan.

Dalam penelitian ini, jika dilihat dari kandungan pati tepung sagu mentah (84,7% bk) pati yang dimanfaatkan pada sistem fermentasi ini sangat besar, hal ini diduga disebabkan di dalam media fermentasi ini terdapat zat-zat yang dapat merang-

sang pembentukan enzim yang dapat memecah pati. Selain itu diduga bahwa substrat yang digunakan sangat cocok untuk pertumbuhan mikroba *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA1. Unsur mineral yang ditambahkan dan terbentuknya asam amino menurut Winarno (1983), beberapa zat seperti unsur-unsur mineral, vitamin dan berbagai jenis asam amino akan memberi efek stimulasi.

Analisa sidik ragam (Lampiran 4a dan 4b) pada pembuatan protein sel tunggal dengan mikroba *A. niger* L51 dan *A. oryzae* TA1 memberikan pengaruh beda nyata antara taraf tingkat konsentrasi urea, lama fermentasi dan interaksi antara konsentrasi urea dan lama fermentasi.

Hasil uji BNJ Duncan pada pengaruh konsentrasi urea dan pengaruh lama fermentasi terhadap penurunan kadar pati pada mikroba *A. niger* L51 dapat dilihat pada Tabel 18 dan Tabel 19.

Dari Tabel 18 dapat dilihat bahwa pengaruh yang tidak berbeda nyata terdapat antara taraf 2% dengan 3% dan 4%. Sedangkan Pengaruh yang berbeda nyata terdapat antara taraf 1% dengan 2%, 3%, 4% dan 5%. Jadi secara umum dapat disimpulkan bahwa konsentrasi urea 1% dan 5% berpengaruh sangat nyata terhadap penurunan kadar pati.

Tabel 17. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap penurunan kadar pati pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	19,82	A	A
2	14,72	C	C
3	14,50	C	C
4	14,88	C	C
5	16,79	B	B

Tabel 18. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap penurunan kadar pati pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
0	84,61	A	A
1	11,81	B	B
2	7,09	C	C
3	6,92	C	C
4	6,50	DC	C
5	4,16	EF	D
6	5,24	DE	D
7	2,81	F	E

Tabel 19. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap penurunan kadar pati pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	13,84	B	B
2	13,30	B	B
3	13,79	B	B
4	13,52	B	B
5	15,62	A	A

Tabel 20. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap penurunan kadar pati pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁.

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
0	84,50	A	A
1	6,00	B	B
2	4,84	BC	C
3	3,16	DE	DE
4	4,11	CD	CD
5	3,62	CDE	D
6	3,48	CDE	D
7	2,39	E	E

Halaman ini merupakan bagian dari dokumen publikasi ilmiah yang diterbitkan oleh IPB University. Seluruh isi dokumen ini adalah hak cipta IPB University dan tidak boleh disebarluaskan atau digunakan untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari IPB University.

Halaman ini merupakan bagian dari dokumen publikasi ilmiah yang diterbitkan oleh IPB University.

Tabel 19 memperlihatkan bahwa pengaruh lama fermentasi terhadap penurunan kadar pati tidak berbeda nyata antara taraf 2, 3 dan 4 hari, 5 dengan 7 hari. Sedangkan pengaruh yang berbeda nyata terdapat antara taraf 0, 1, 3, 5 dan 6 hari.

Pada *Aspergillus oryzae* TA₁, taraf perlakuan 5% memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap penurunan kadar pati. Sedangkan lama fermentasi memberikan pengaruh yang berbeda nyata antara taraf 0, 2, dan 7 hari; dan pengaruh yang tidak berbeda nyata terdapat antara taraf 1 dan 2 hari; 3 dengan 4, 5, 6 dan 7 hari (Tabel 20 dan 21).

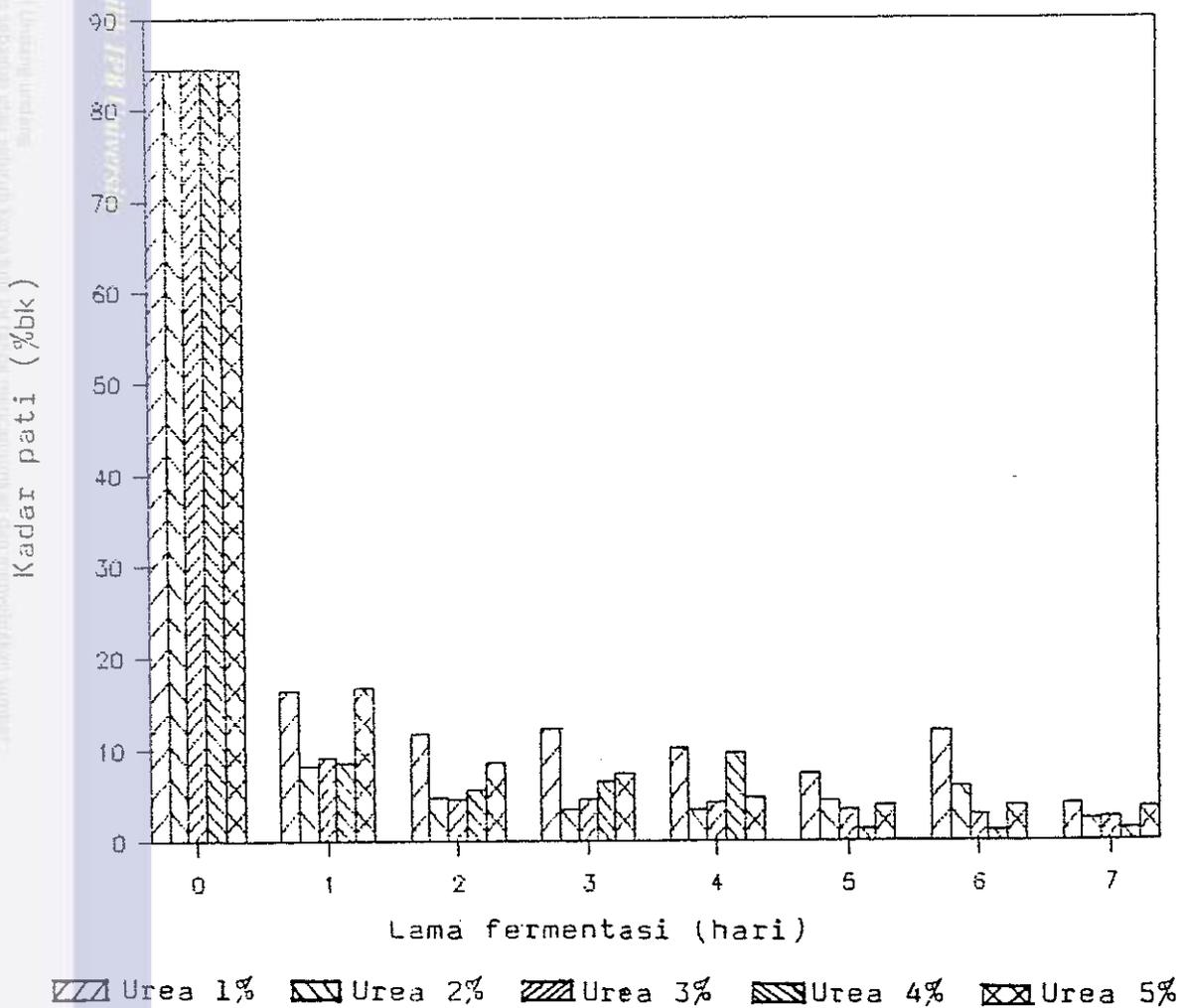
Nilai kadar pati pada PST dengan mikroba *Aspergillus* sp berspora hitam dan hijau yang difermentasi pada tingkat konsentrasi urea 4% selama 6 hari berturut-turut adalah 13,69% (bk) dan 9,74% (bk). Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan kadar pati pada proses fermentasi dengan mikroba hasil isolasi jauh lebih kecil dibandingkan dengan proses fermentasi pada mikroba *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA₁. Hal ini menunjukkan bahwa proses degradasi pati oleh *Aspergillus* sp berspora hitam dan hijau yang diisolasi dari gabah tidak seefektif proses degradasi pada mikroba *Aspergillus niger* L51 dan *Aspergillus oryzae* TA₁. Hal ini diduga disebabkan karena *Aspergillus* sp berspora hitam dan hijau

yang diisolasi dari gabah lebih sedikit memproduksi enzim pendegradasi pati. Namun demikian jika dilihat dari nilai kadar pati yang didapat, *Aspergillus* sp. berspora hitam dan hijau terbukti cukup besar menghasilkan enzim pendegradasi pati.

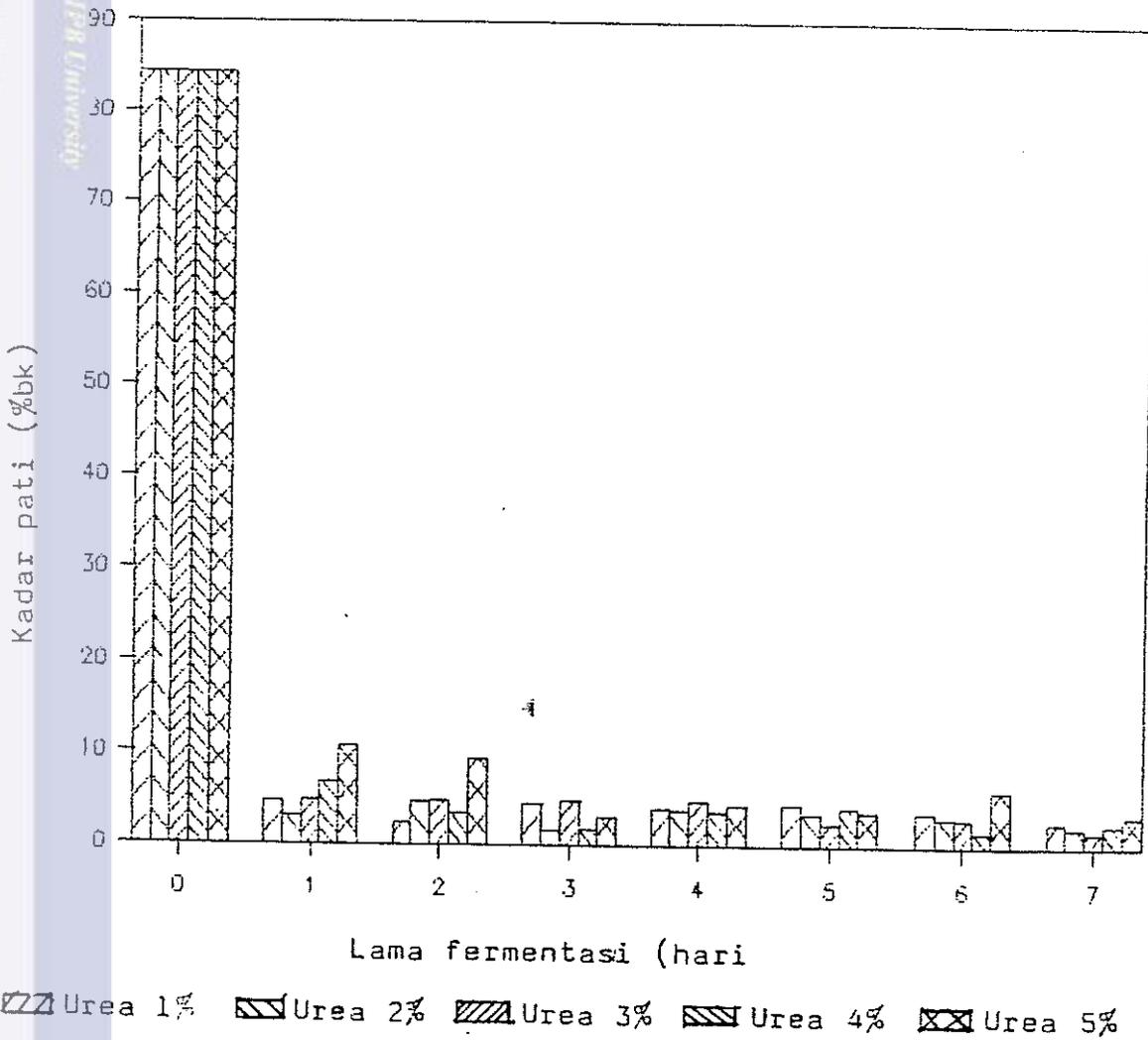
6. Efisiensi konversi pati menjadi protein

Hubungan antara kadar pati yang dikonsumsi dengan kadar protein produk adalah bahwa semakin rendah kadar pati semakin tinggi kadar proteinnya. Berdasarkan gambar 23 dan 24, efisiensi konversi pati menjadi protein terbesar di dapat pada taraf perlakuan tingkat konsentrasi urea 4% dengan taraf lama fermentasi 6 hari yaitu sebesar 25,95% untuk PST dari *Aspergillus niger* L51 dan 24,95% untuk *Aspergillus oryzae* TA₁. Hal ini sejalan dengan hasil pengukuran kadar protein yang mencapai nilai kadar protein yang paling besar pada perlakuan tersebut, yakni sebesar 22,7% (bk) untuk *Aspergillus niger* L51 dan 21,59% (bk) untuk *Aspergillus oryzae* TA₁.

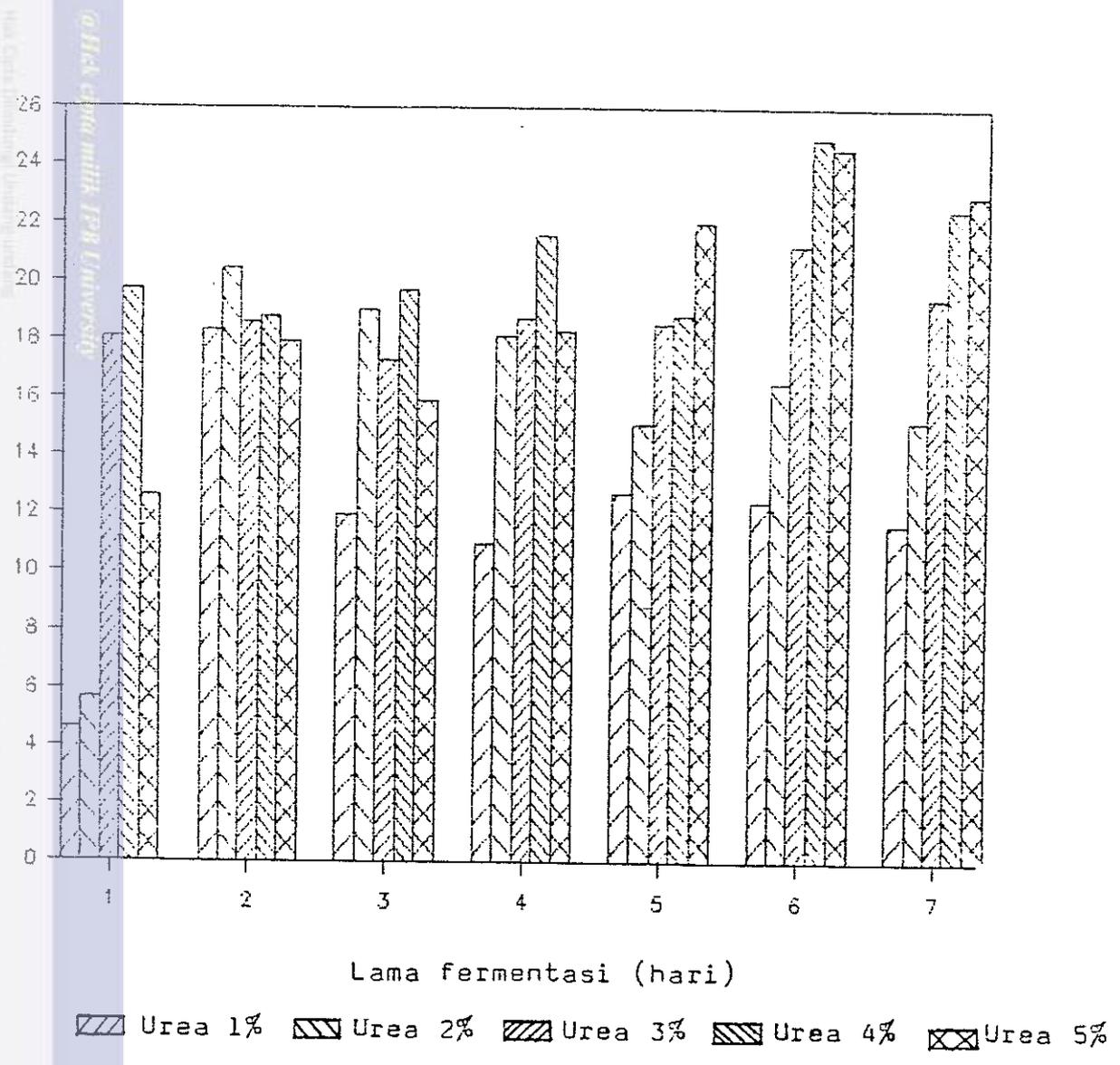
Efisiensi konversi pati menjadi protein ini menggambarkan kemampuan mikroba memanfaatkan sumber pati dan sumber nitrogen untuk sintesa protein. Besarnya nilai efisiensi konversi pati menjadi protein dipengaruhi oleh beberapa proses yang



Gambar 21. Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap penurunan kadar pati pada mikroba *A. niger* L51.

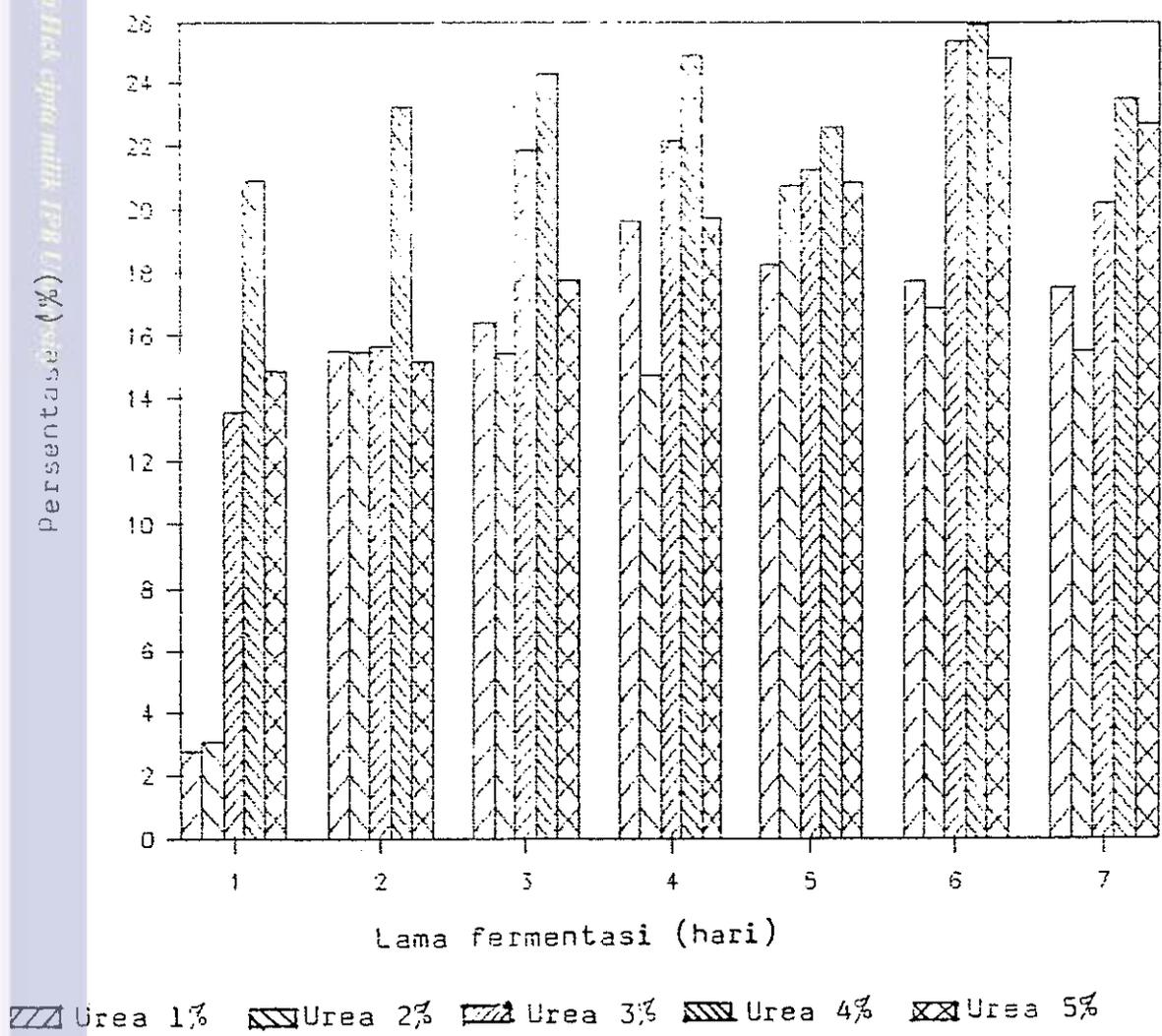


Gambar 22. Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap penurunan kadar pati pada mikroba *A. oryzae* TA1



Gambar 23. Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁.

Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba *Aspergillus niger* L51



Gambar 24. Hubungan antara konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Tabel 21. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	12,39	C	C
2	14,52	C	C
3	20,00	B	B
4	23,61	A	A
5	19,39	B	B

Tabel 22. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba *Aspergillus niger* L51

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	11,03	D	E
2	17,00	C	D
3	19,16	B	C
4	20,21	B	BC
5	20,69	AB	B
6	22,14	A	A
7	19,83	B	BC

Tabel 23. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh konsentrasi urea terhadap efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	11,10	D	D
2	15,76	C	C
3	18,57	B	B
4	20,87	A	A
5	19,20	B	B

Tabel 24. Hasil uji Beda Nyata Jujur Duncan pengaruh lama fermentasi terhadap efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

Konsentrasi Urea (%)	Rata-rata	Tingkat Perbedaan	
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$
1	12,16	C	D
2	17,43	B	BC
3	16,78	B	C
4	17,55	B	BC
5	17,46	B	BC
6	19,95	A	A
7	18,35	AB	B

yang berbeda nyata. Pengaruh yang tidak berbeda nyata terdapat antara taraf 5% dan 3% (Tabel 20). Sedangkan lama fermentasi memberikan pengaruh yang berbeda nyata antara taraf 1, 4 dan 6 hari. Untuk lebih jelasnya, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 21. Pengaruh yang sama terdapat pada hasil uji BNJ Duncan, pengaruh konsentrasi urea dan lama fermentasi terhadap efisiensi konversi pati menjadi protein pada pembuatan protein sel tunggal dengan mikroba *Aspergillus oryzae* TA1 (Tabel 22 dan 23).

7. Inkubator Beraerasi

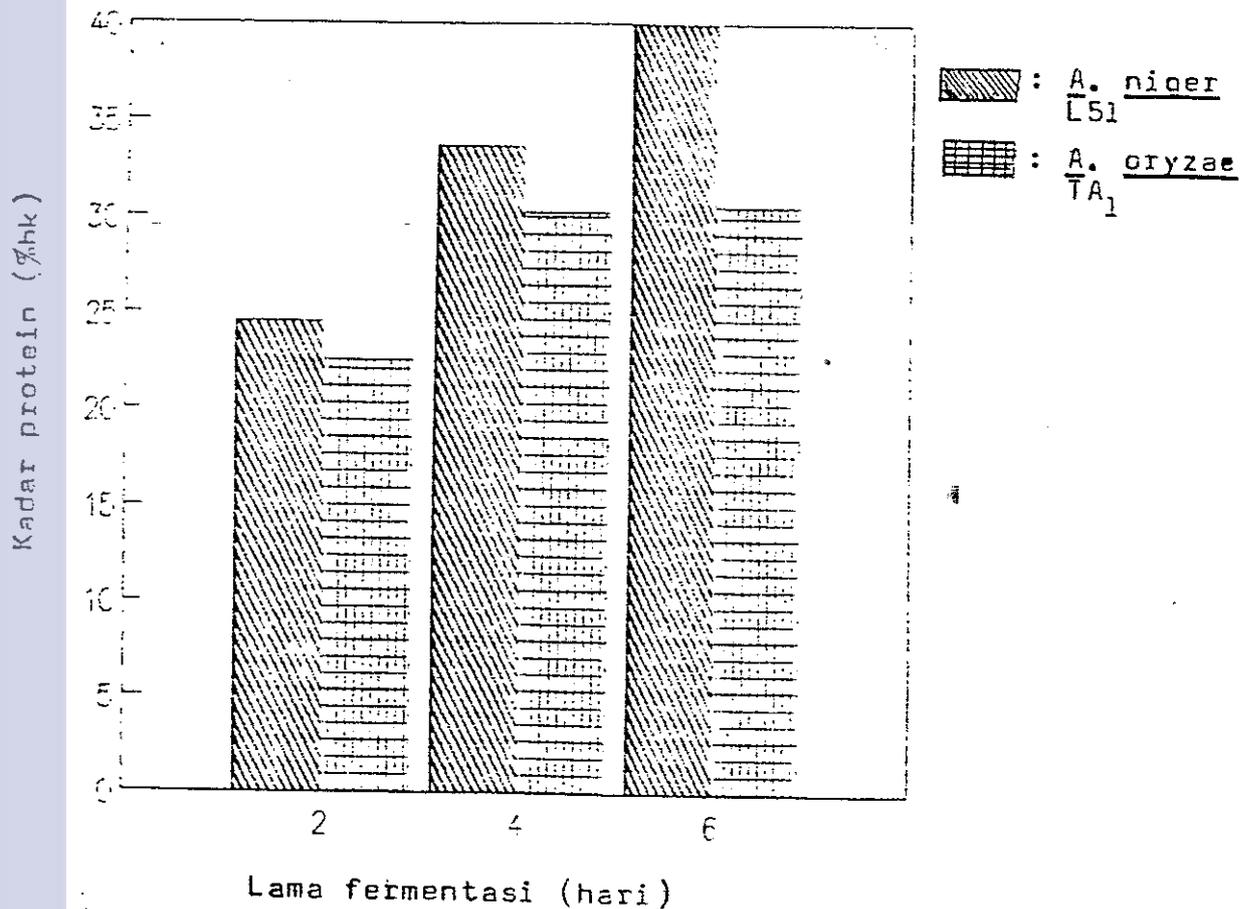
Skema alat fermentasi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8. Udara dimasukkan ke dalam fermentor (oven) melalui membran filter udara, kemudian dilewatkan ke dalam humidifier untuk meningkatkan kelembaban udara. Sebagai humidifier digunakan H_2SO_4 0,1M. Penggunaan H_2SO_4 ini juga dimaksudkan untuk membuat suasana di dalam fermentor lebih asam sehingga resiko kontaminasi dapat dikurangi.

Udara yang berasal dari humidifier dialirkan ke dalam fermentor (oven) dan dibiarkan bersirkulasi. Sirkulasi udara di sini dimaksudkan untuk mensuplai kebutuhan oksigen bagi pertumbuhan mikroba dan



mencegah terjadinya akumulasi CO_2 selama proses fermentasi berlangsung.

Proses fermentasi di dalam penelitian ini adalah bersifat aerobik, oleh karena itu oksigen mutlak dibutuhkan oleh mikroba. Selama proses fermentasi berlangsung, oksigen bertindak sebagai akseptor elektron terakhir dalam metabolisme untuk mendapatkan energi.



Gambar 25. Hubungan antara lama fermentasi dengan peningkatan kadar protein pada pembuatan PST dengan inkubator beraerasi

Selama proses fermentasi berlangsung, kadar protein media mengalami peningkatan, yakni mencapai 40,02% (bk) (Gambar 25). Peningkatan ini jauh lebih besar dibandingkan dengan peningkatan yang terjadi pada pembuatan protein sel tunggal tanpa menggunakan inkubator beraerasi (Gambar 19 dan 20).

Nilai kadar protein maksimum yang berhasil dicapai apabila dilakukan fermentasi tanpa menggunakan inkubator beraerasi adalah 22,7% (bk) untuk *Aspergillus niger* L51 dan 21,59% (bk) untuk *Aspergillus oryzae* TA₁. Sedangkan nilai yang dicapai apabila digunakan alat tersebut berturut-turut adalah 30,59% (bk) untuk *Aspergillus oryzae* TA₁ dan 40,02% (bk) untuk *Aspergillus niger* L51 (Gambar 25). Perbedaan yang jauh ini menunjukkan bahwa di dalam proses fermentasi ini, oksigen (O₂) mutlak dibutuhkan oleh mikroba. Menurut Fardiaz (1987), semua kapang bersifat aerobik sehingga ketersediaan oksigen (O₂) dalam proses fermentasi mutlak dibutuhkan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Tepung sagu sangat potensial untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan protein sel tunggal karena kadar pati yang tinggi (84,7%) dan kadar protein rendah (0,68%).

Dalam pembuatan protein sel tunggal dari tepung sagu, pati sagu berfungsi sebagai sumber karbon untuk proses fermentasi, sedangkan urea dan amonium sulfat berfungsi sebagai sumber nitrogen.

Penambahan urea sebesar 4% dari berat substrat sebagai sumber nitrogen, memberikan hasil maksimum. Penambahan urea yang lebih besar dari 4% akan menurunkan kadar protein dari protein sel tunggal yang dihasilkan. Penurunan timbul karena adanya fenomena penghambatan substrat dan kemungkinan terjadinya perbedaan tekanan osmosis yang dapat menyebabkan plasmolisa sel-sel kapang sehingga terjadi penghambatan sintesa enzim pada rantai respirasi. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi peningkatan kadar protein adalah jenis mikroba, ketersediaan nutrisi dan waktu untuk proses fermentasi. Proses fermentasi dengan mikroba *Aspergillus niger* L51, pada tingkat konsentrasi urea 4% dan lama fermentasi 6 hari, ternyata memberikan hasil terbaik yaitu 22,27% (bk). Sedangkan pada

Aspergillus oryzae TA₁, *Aspergillus* sp. berspora hitam dan hijau berturut-turut adalah 21,59% (bk), 19,40% (bk) dan 19,39% (bk).

Sistem alat fermentasi yang diperlengkapi dengan proses aerasi ternyata mampu meningkatkan kadar protein dari protein sel tunggal yang dihasilkan menjadi 40,02% (bk) untuk *Aspergillus niger* L51 dan 30,59% (bk) untuk *Aspergillus oryzae* TA₁.

Proses pembuatan protein sel tunggal dengan berbagai cara terbukti mampu meningkatkan kadar protein sagu dari 0,68% menjadi 40,02%. Peningkatan ini sangat bermanfaat dalam upaya meningkatkan nilai tambah tepung sagu untuk substitusi kebutuhan protein pakan.

B. SARAN

Keberhasilan proses fermentasi medium padat sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya suhu, pH, aerasi dan agitasi. Di dalam penelitian ini proses aerasi belum mendapatkan perhatian secara khusus. Oleh karena itu, disarankan agar pada penelitian lebih lanjut pengaruh aerasi ini dipelajari, sehingga didapatkan kecepatan aliran udara optimum yang cukup untuk pertumbuhan mikroba.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah ketebalan substrat dan luas permukaan. Disarankan agar proses fermentasi pada penelitian lebih lanjut dilakukan dengan mengatur ketebalan substrat sehingga seragam

dan lebih memperluas permukaan sehingga didapatkan peningkatan kadar protein yang maksimum.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk substitusi kebutuhan protein pakan. Oleh karena itu perlu dilakukan serangkaian penelitian mengenai kandungan aflatoksin, daya cerna protein, kandungan asam nukleat dan nilai biologis dari protein sel tunggal yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amdarjono, E. L. 1988. Pemanfaatan Limbah Padat Kacang Hijau untuk Produksi Enzim Amilase, Amiloglukosidase dan Selulase dari *Aspergillus niger* dan *Aspergillus oryzae*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB Bogor.
- Banwart, G. J. 1983. Basic Food Microbiologi. The Avi Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.
- Blain. 1975. Industrial Enzyme. Di dalam J.E. Smith dan D.R. Berry. The Filamentous of Fungi, Industrial micology. Vol. I. Edward Arnold, London.
- Brautlecht, C.A. 1953. Starch, Its Sources Production and Uses. Reinholds, Publishing Co, New York.
- Cecil, J. E., G. Lau, S.H. Heng and C. K. Ku. 1984. The Sago Starch Industry : A Technical Profile Based on a Preliminary Study Made in Serawak. Trop. Prod. Inst. (L58), 56/62. London.
- Chalal, D. S. 1985. Solid State Fermentation with Trichoderma reesei for Cellulase Production. Appl. Environ. Microbial. 49:205-210.
- Cochrane. 1958. Fisiology of Fungi. John Willey and Sons, Inc. New York.
- Deinum, H. K. 1948. Sagu S-Gravenhage, Netherland.
- Flach, M. 1977. Yield Potential of The Sago Palm, Metroxylan sagu, and Its Relatization. In Tan K. ed Sago 76 Paper of the 1st International Sago Symposium. University of Malaya Press, Kuala Lumpur.
- Flach. 1983. The Sago Palm Domestication, Exploitation and Products. FAO, Rome.
- Frazier dan West Hoff. 1979. Food Microbiology. Tata McGraw. Hill Publ. Comp. Ltd., New Delhi.
- Gandjar, I. 1978. Protein Sel Tunggal sebagai Sumber Protein non-konvensional dan Prospek Perkembangannya. Berita LIPI 2(4) : 9-18.

- Garraway, M. O. dan R.C. Evans. 1984. Fungal Nutrition and Physiology. John Willey and Sons, Inc., New York.
- Gregory. 1976. Convention of Carbohydrates to Protein by Hygh Temperature Fungi. Food Tech. 30(3); 30-35.
- Hunter and Barnett. 1973. Deuteromycetes. Di dalam M.I. Laskin H.A. Lechevalier. Hand Book of Microbiology. Vol. 2. p405. CRC Press Cleveland ohio.
- Harsanto, 1986. Budidaya dan Pengolahan Sagu. Penerbit Kanisius Yogyakarta.
- Imanuel Bambang K. 1988. Memanfaatkan Ampas Tahu dan Ampas Tapioka untuk Produksi Protein Sel Tunggal dengan Fermentasi Medium Padat. Paper. Fateta, IPB, Bogor.
- Imelda, M. 1980. Prospek Pengembangan Sagu sebagai sumber Karbohidrat. Buletin Kebun Raya. 4(5) : 153-159.
- Johnson, D. 1977. Distribution of Sago Making in the Old World. In Tan K. ed. Sago 76. Paper of The 1st Knight. 1969.
- Linda Rosa. 1986. Peningkatan Kadar Protein Kadar Sagu dengan Metode Fermentasi Menggunakan *Aspergillus niger*, *A. fumigatus* dan *Candida tropicalis*. Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, Fakultas Teknologi Pertanian.
- Litchfield, J.H. 1983. Single Cell Protein. Science. 219: 740 - 746.
- Mac Lennan, D.G. 1975. SCP from Starch - a new concept in protein production, Food Technol. in Australia, April 1975.
- Nadirman Haska. 1985. Pengaruh Cara, Bentuk dan Waktu Penyimpanan Bahan Baku Sagu (*Metroxylon rumphii* Mart.) terhadap Karakteristik Pati yang dihasilkan. Fakultas Pasca Sarjana, IPB.
- Pelczar dan Reid. 1972. Microbiology. Mc Graw Hill Book Company, New York.

- Prescott, S.C. and C.C. Dunn. 1982. *Industrial Microbiology*. The AVI Publ. Co, Inc., Westport, Connecticut.
- Radley, J. A. 1976. *Examination and Analysis of Starch and Starch Products*. Applied Science Publisher Ltd., London.
- Ruddle, et al. 1978. *Palm Sago a Tropical Starch from Marginal Landas, East West Centre*. The University Press of Hawaii, Honolulu.
- Rumalatu, F. J. 1981. *Distribusi dan Potensi Pati dari Batang Beberapa Jenis Sagu (Metroxylon sp) Di Daerah Seram Barat*. Fak. Pertanian dan Kehutanan Unpatti, aff. Fateta IPB. (tesis).
- Said E. G. 1987. *Bioindustri Penerapan Teknologi Fermentasi*. PT. Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- Satiawihardja, B. 1984. *Fermetasi Media Padat dan Manfaatnya*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Indonesia.
- Senez, J. 1978. *Solid State Fermentation of Starchy Substrates*. Food and Nutrition Bulletin. vol 1(2). 1979. The United Nation University. Tokyo.
- Skogman, H. 1976. *Production of Symba Yeast from Potato Waste*. Di dalam G.G. Furch, K.J. Parker dan J.J. Morgan (eds.). Food From Waste. Applied Publ. Ltd. London.
- Smith, J. E. *Biotechnology. Studies in Biology* No. 136. Edward Arnold Ltd. London.
- Sudjana, M.A. 1988. *Disain dan Analisis Eksperimen*. Tarsito. Bandung.
- Sumarni. 1984. *Disain Proses Produksi Protein Mikrobial dari *Candida Utilis* dengan Bahan Baku Limbah Tapioka*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Tannenbaum, S. R., Charles, L.C., A.M. Demain dan Linda Haverberg. 1978. *Nonphotosynthetic single cell protein*. Di dalam Max Milner, Nevin S. Schrimshaw dan Daniel I. C. Wang. Protein Resources and Technology, Status and Research

Needs. AVI Publ. Comp. Inc., Westport Connecticut.

Underkofler. 1954. Fungal Amilolytic Enzymes. Di dalam L.A. Underkofler dan R.J. Hicker (eds.). Industrial Fermentations, vol. 2 p.97. Chemical Publ. Co., Inc., New York.

Wang, D. I. C., C.L. Looney, A.L. Demain, P. Dunnill, A.E. Humphrey, M.D. Lilly. 1979. Fermentation and Enzyme Technology. John Willey & Sons, New York.

Whitaker dan P. F. Stanbury. 1984. Principles of Fermentation Technology. Pergamon Press Ltd. England.

Winarno. 1986. Enzim pangan. Penerbit Gramedia. Jakarta.

Wuryantriogo, B. 1983. Pemanfaatan onggok singkong sebagai substrat pembuatan PSI. Skripsi Jurusan TIN, Fateta, Institut Pertanian Bogor.

Yana Sumarna, 1986. Sagu Pohon Penghasil Karbohidrat. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.

Yoshida, T. and Hisaharu, T. 1979. Fermented Foods in Japan. Di dalam F.G. Winarno dan Saono. International Symposium on Microbiological Aspects of Food Storage, Processing and fermentation in Tropical Asia. Food Technology Development Centre. Bogor Agricultural University.

Young, B. A. dan Scrimshaw, N. S. 1975. Single Cell Protein for Human Consumption : an Overview. In : S. R. Tannenbaum and D.I.C. Wen (eds.). Single Cell Protein II. MIT Press. Cambridge, Massachusetts.



Hak Cipta Plintangan! Unsur-unsur yang

1. Diambil sebagai bagian atau seluruh karya seni yang dimanfaatkan dan dipersebarluaskan.
2. Dipersebarluaskan sebagai karya seni yang memiliki nilai estetika, intelektual, dan moral.
3. Dipersebarluaskan dengan cara yang merugikan atau merugikan orang lain.
4. Dipersebarluaskan dengan cara yang merugikan orang lain.
5. Dipersebarluaskan dengan cara yang merugikan orang lain.
6. Dipersebarluaskan dengan cara yang merugikan orang lain.
7. Dipersebarluaskan dengan cara yang merugikan orang lain.
8. Dipersebarluaskan dengan cara yang merugikan orang lain.
9. Dipersebarluaskan dengan cara yang merugikan orang lain.
10. Dipersebarluaskan dengan cara yang merugikan orang lain.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Kadar Air

Kode produk	Mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51 Kadar abu (% bk)			Mikroba <i>Aspergillus Oryzae</i> TA1 Kadar abu (% bk)		
	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata
A1B0	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50
A1B1	41.74	40.75	41.25	41.00	40.89	40.95
A1B2	42.53	41.55	42.04	41.13	41.22	41.18
A1B3	43.27	42.50	42.89	42.31	42.42	42.37
A1B4	43.65	41.20	42.43	44.76	44.05	44.41
A1B5	43.94	43.67	43.81	45.73	45.35	45.54
A1B6	53.08	47.80	50.44	47.15	47.03	47.09
A1B7	47.97	46.30	47.14	47.47	47.49	47.48
A2B0	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50
A2B1	41.29	41.55	41.42	40.83	40.73	40.78
A2B2	40.76	43.03	41.90	40.15	40.21	40.18
A2B3	42.77	43.18	42.98	42.16	40.95	41.56
A2B4	44.47	43.03	43.75	46.09	41.03	43.56
A2B5	43.79	43.69	43.74	45.23	45.03	45.13
A2B6	47.80	47.18	47.49	45.94	47.78	46.86
A2B7	47.23	47.93	47.58	47.96	47.00	47.48
A3B0	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50
A3B1	42.18	40.65	41.42	40.23	40.14	40.19
A3B2	41.53	43.65	42.59	41.15	41.46	41.31
A3B3	42.81	44.04	43.43	42.64	42.19	42.42
A3B4	42.37	44.17	43.27	42.67	42.42	42.55
A3B5	43.83	44.06	43.95	42.32	43.33	42.83
A3B6	47.93	47.38	47.66	43.77	47.30	45.54
A3B7	48.90	48.65	48.78	47.33	47.53	47.43
A4B0	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50
A4B1	40.69	41.50	41.10	40.13	40.75	40.44
A4B2	41.06	41.50	41.28	40.09	40.14	40.12
A4B3	42.23	42.61	42.42	42.70	42.19	42.45
A4B4	42.59	44.67	43.63	41.80	41.58	41.69
A4B5	44.33	43.27	43.80	43.60	43.55	43.58
A4B6	47.10	48.23	47.67	46.97	46.57	46.77
A4B7	50.00	49.21	49.61	46.14	46.49	46.32
A5B0	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50
A5B1	40.27	40.12	40.20	40.04	40.11	40.08
A5B2	41.46	41.46	41.46	40.80	40.12	40.46
A5B3	41.65	41.25	41.45	40.28	40.79	40.54
A5B4	41.67	42.92	42.30	40.79	41.47	41.13
A5B5	41.46	41.35	41.41	40.74	41.29	41.02
A5B6	45.12	45.00	45.06	45.98	45.90	45.94
A5B7	49.80	48.03	48.92	46.27	46.33	46.30

Lampiran 1a. Analisa sidik ragam kadar air pada mikroba *Aspergillus niger* L51

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	39	629.141	16.132	14.963	1.69	2.10
A	4	16.469	4.117	3.819	2.61	3.83
B	7	560.234	80.033	74.234	2.25	3.12
AB	28	52.438	1.873	1.737	1.74	2.20
ERROR	40	43.125	1.078			
TOTAL	79	672.266	8.510			

Lampiran 1b. Analisa sidik ragam kadar air pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	39	530.453	13.601	22.508	1.69	2.10
A	4	25.703	6.426	10.633	2.61	3.83
B	7	473.703	67.672	111.984	2.25	3.12
AB	28	31.047	1.109	1.835	1.74	2.20
ERROR	40	24.172	0.604			
TOTAL	79	554.625	7.021			

Lampiran 2. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Nilai pH

Kode produk	Mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51 Nilai pH			Mikroba <i>Aspergillus Oryzae</i> TA1 Nilai pH		
	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata
A1B0	4.62	4.64	4.63	4.62	4.64	4.63
A1B1	5.83	5.85	5.84	3.95	3.95	3.95
A1B2	6.58	6.40	6.49	4.13	4.11	4.12
A1B3	5.88	6.05	5.97	4.45	4.47	4.46
A1B4	6.13	6.18	6.16	4.25	4.22	4.24
A1B5	5.65	5.65	5.65	3.48	3.49	3.49
A1B6	5.70	5.70	5.70	3.95	3.80	3.88
A1B7	5.68	5.73	5.71	3.93	3.94	3.94
A2B0	4.67	4.69	4.68	4.67	4.69	4.68
A2B1	6.30	6.30	6.30	3.90	3.90	3.90
A2B2	5.68	5.65	5.67	4.13	4.14	4.14
A2B3	5.98	5.93	5.96	4.53	4.56	4.55
A2B4	6.03	5.98	6.01	5.18	4.18	4.68
A2B5	5.85	5.85	5.85	4.18	4.21	4.20
A2B6	5.35	5.33	5.34	4.03	4.02	4.03
A2B7	5.65	5.85	5.75	4.10	4.13	4.12
A3B0	4.72	4.74	4.73	4.72	4.74	4.73
A3B1	6.00	6.00	6.00	4.20	4.20	4.20
A3B2	6.45	6.25	6.35	4.30	4.30	4.30
A3B3	5.63	5.50	5.57	4.43	4.41	4.42
A3B4	5.68	5.73	5.71	4.23	4.96	4.60
A3B5	6.15	6.18	6.17	5.68	5.64	5.66
A3B6	6.57	5.73	6.15	4.53	4.64	4.59
A3B7	5.75	5.73	5.74	4.95	4.95	4.95
A4B0	4.75	4.77	4.76	4.75	4.77	4.76
A4B1	6.03	5.98	6.01	4.40	4.40	4.40
A4B2	6.50	6.45	6.48	4.30	4.33	4.32
A4B3	5.63	5.68	5.66	4.43	4.46	4.45
A4B4	5.73	5.75	5.74	4.90	4.89	4.90
A4B5	6.18	6.15	6.17	5.73	5.69	5.71
A4B6	5.95	5.95	5.95	4.33	4.33	4.33
A4B7	5.75	5.73	5.74	4.90	4.93	4.92
A5B0	4.77	4.79	4.78	4.77	4.79	4.78
A5B1	5.93	5.98	5.96	4.30	4.30	4.30
A5B2	6.60	6.35	6.48	4.43	4.41	4.42
A5B3	5.75	5.75	5.75	4.45	4.45	4.45
A5B4	6.05	6.08	6.07	4.85	4.84	4.85
A5B5	6.38	6.20	6.29	6.48	6.44	6.46
A5B6	5.95	5.90	5.93	4.25	4.28	4.27
A5B7	5.70	5.80	5.75	4.73	4.73	4.73

Lampiran 2a. Analisa sidik ragam nilai pH pada mikroba *Aspergillus niger* L51

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	39	22.368	0.574	28.967	1.69	2.10
A	4	6.041	1.510	76.281	2.61	3.83
B	7	6.945	0.992	50.112	2.25	3.12
AB	28	9.381	0.335	16.921	1.74	2.20
ERROR	40	0.792	2.020			
TOTAL	79	23.160	0.293			

Lampiran 2b. Analisa sidik ragam nilai pH pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	39	18.533	0.475	37.924	1.69	2.10
A	4	0.279	0.070	5.567	2.61	3.83
B	7	15.363	2.195	175.144	2.25	3.12
AB	28	2.892	0.103	8.242	1.74	2.20
ERROR	40	0.501	0.013			
TOTAL	79	19.034	0.241			

ampiran 3. Rekapitulasi Data Hasil Pengukuran Kadar Protein

Kode produk	Mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51 Kadar Pati (% bk)			Mikroba <i>Aspergillus Oryzae</i> TA1 Kadar Pati (% bk)		
	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata
A1B0	0.67	0.69	0.68	0.67	0.69	0.68
A1B1	3.17	1.94	2.56	5.42	3.39	4.41
A1B2	12.24	11.71	11.98	15.79	15.67	15.73
A1B3	12.95	12.05	12.50	10.81	9.66	10.24
A1B4	14.89	15.62	15.26	9.60	10.43	10.02
A1B5	14.98	14.51	14.75	11.04	10.68	10.86
A1B6	13.33	13.69	13.51	11.17	10.26	10.72
A1B7	14.83	14.64	14.74	11.10	9.28	10.19
A2B0	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
A2B1	2.75	3.28	3.02	5.32	5.63	5.48
A2B2	12.89	13.09	12.99	17.35	16.65	17.00
A2B3	12.81	13.52	13.17	16.30	15.39	15.85
A2B4	13.71	11.48	12.60	15.30	15.36	15.33
A2B5	15.75	18.71	17.23	11.44	14.43	12.94
A2B6	15.76	14.43	15.10	13.37	14.95	14.16
A2B7	13.87	12.83	13.35	13.00	13.46	13.23
A3B0	0.70	0.66	0.68	0.70	0.66	0.68
A3B1	11.44	10.41	10.93	15.63	14.58	15.11
A3B2	12.81	13.52	13.17	13.82	14.00	13.91
A3B3	18.47	17.93	18.20	14.89	14.08	14.49
A3B4	19.07	17.80	18.44	15.05	16.16	15.61
A3B5	18.10	17.60	17.85	15.47	16.34	15.91
A3B6	21.02	21.75	21.39	18.46	17.72	18.09
A3B7	17.03	17.39	17.21	17.24	16.34	16.79
A4B0	0.68	0.67	0.68	0.68	0.67	0.68
A4B1	16.45	16.63	16.54	16.33	15.63	15.98
A4B2	19.44	18.55	19.00	14.89	15.45	15.17
A4B3	20.61	18.68	19.65	16.67	17.22	16.95
A4B4	19.97	18.52	19.25	18.05	18.23	18.14
A4B5	19.50	19.26	19.38	15.52	16.15	15.84
A4B6	22.36	22.18	22.27	21.63	21.10	21.37
A4B7	19.97	20.41	20.19	19.15	19.15	19.15
A5B0	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
A5B1	11.64	9.82	10.73	9.30	9.12	9.21
A5B2	13.34	10.99	12.17	13.23	13.18	13.21
A5B3	14.63	14.09	14.36	14.14	13.95	14.05
A5B4	17.78	17.05	17.42	15.27	17.29	16.28
A5B5	17.83	14.93	16.38	18.25	18.43	18.34
A5B6	20.99	20.25	20.62	19.78	19.13	19.46
A5B7	19.22	18.86	19.04	19.30	18.93	19.12

Lampiran 3a. Analisa sidik ragam kadar protein pada mikroba *Aspergillus niger* L51

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	39	3216.933	82.485	129.399	1.69	2.10
A	4	456.810	114.202	179.155	2.61	3.83
B	7	2513.261	359.037	563.239	2.25	3.12
AB	28	246.862	8.817	13.831	1.74	2.20
ERROR	40	25.498	0.637			
TOTAL	79	3242.431	41.043			

Lampiran 3b. Analisa sidik ragam kadar protein pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	39	2567.240	68.134	154.949	1.69	2.10
A	4	374.779	93.695	213.078	2.61	3.83
B	7	1948.104	278.301	632.901	2.25	3.12
AB	28	334.357	11.941	27.157	1.74	2.20
ERROR	40	17.589	0.440			
TOTAL	79	2674.829	33.859			



Lampiran 4. Rekapitulasi Data Hasil Pengukuran Kadar Pati

Kode produk	Mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51 Kadar Pati (% bk)			Mikroba <i>Aspergillus Oryzae</i> TA1 Kadar Pati (% bk)		
	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata
A1B0	84.50	84.50	84.50	84.50	84.50	84.50
A1B1	14.73	17.97	16.35	3.72	5.56	4.64
A1B2	9.28	14.04	11.66	1.60	3.20	2.40
A1B3	14.31	10.29	12.30	5.48	3.55	4.52
A1B4	10.48	9.90	10.19	3.54	4.33	3.94
A1B5	6.68	8.12	7.40	4.16	4.80	4.48
A1B6	12.61	11.57	12.09	4.19	3.22	3.71
A1B7	3.82	4.38	4.10	2.23	2.87	2.55
A2B0	84.60	84.4	84.50	84.60	84.40	84.50
A2B1	7.39	9.27	8.33	2.20	4.06	3.13
A2B2	4.90	4.85	4.88	4.74	4.74	4.74
A2B3	3.28	3.84	3.56	0.95	2.21	1.58
A2B4	2.67	4.24	3.46	3.80	3.80	3.80
A2B5	4.94	4.15	4.55	3.47	3.47	3.47
A2B6	6.32	5.76	6.04	4.11	2.21	3.16
A2B7	1.63	3.23	2.43	2.61	1.50	2.06
A3B0	84.70	84.30	84.50	84.70	84.30	84.50
A3B1	8.93	9.22	9.08	4.80	4.80	4.80
A3B2	2.50	6.67	4.59	4.16	5.46	4.81
A3B3	4.36	4.93	4.65	4.18	5.47	4.83
A3B4	4.23	4.31	4.27	4.24	5.54	4.89
A3B5	2.93	4.09	3.51	2.83	2.10	2.47
A3B6	2.72	3.11	2.92	2.89	2.93	2.91
A3B7	2.70	2.31	2.51	0.96	2.24	1.60
A4B0	84.50	84.50	84.50	84.50	84.50	84.50
A4B1	8.17	9.02	8.60	6.18	7.40	6.79
A4B2	6.13	5.20	5.67	0.69	6.08	3.39
A4B3	6.67	6.56	6.62	0.96	2.56	1.76
A4B4	12.17	7.29	9.73	2.92	4.21	3.57
A4B5	0.77	1.84	1.31	4.11	4.11	4.11
A4B6	1.48	0.79	1.14	0.96	2.24	1.60
A4B7	1.45	1.47	1.46	2.86	1.91	2.39
A5B0	84.50	84.51	84.51	84.50	84.51	84.50
A5B1	18.03	15.33	16.68	11.73	9.57	10.65
A5B2	9.18	8.19	8.69	10.24	8.51	9.38
A5B3	8.06	6.92	7.49	1.46	4.80	3.13
A5B4	4.11	5.64	4.88	4.37	4.31	4.34
A5B5	4.49	3.54	4.02	4.31	2.88	3.60
A5B6	4.43	3.59	4.01	5.30	6.75	6.03
A5B7	4.52	2.61	3.57	2.40	4.32	3.36

Lampiran 4a. Analisa sidik ragam kadar pati pada mikroba *Aspergillus niger* L51

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	39	54651.719	1401.326	877.650	1.69	2.10
A	4	324.633	81.158	50.829	2.61	3.83
B	7	54066.258	7723.751	4837.383	2.25	3.12
AB	28	260.828	9.315	5.834	1.74	2.20
ERROR	40	63.867	1.597			
TOTAL	79	54715.586	692.602			

Lampiran 4b. Analisa sidik ragam kadar pati pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	39	57041.812	1462.611	1275.735	1.69	2.10
A	4	54.797	13.699	11.949	2.61	3.83
B	7	56867.055	8123.865	7085.892	2.25	3.12
AB	28	119.961	4.284	3.737	1.74	2.20
ERROR	40	45.859	1.146			
TOTAL	79	57087.672	722.629			

mpiran 5. Rekapitulasi Data Hasil Pengukuran Efisiensi Konversi Pati Menjadi Protein

Kode produk	Mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51 Efisiensi Konversi Pati Menjadi Protein (% bk)			Mikroba <i>Aspergillus Oryzae</i> TA1 Efisiensi Konversi Pati Menjadi Protein (% bk)		
	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata
B1	3.57	1.89	2.73	5.87	3.43	4.65
B2	15.37	15.65	15.51	18.23	18.44	18.34
B3	17.48	15.32	16.40	12.82	11.09	11.96
B4	19.20	20.03	19.62	9.78	12.16	10.97
B5	18.38	18.11	18.25	12.90	12.55	12.73
B6	17.60	17.84	17.72	13.06	11.79	12.43
B7	17.54	17.42	17.48	12.67	10.54	11.61
31	2.68	3.46	3.07	5.64	5.77	5.71
32	15.34	15.58	15.46	20.90	20.02	20.46
33	14.93	15.92	15.43	18.70	19.41	19.06
34	15.92	13.46	14.69	18.12	18.19	18.16
35	18.94	22.44	20.69	13.28	16.97	15.13
36	19.26	14.46	16.86	15.79	17.34	16.57
37	15.92	14.95	15.44	15.04	15.40	15.22
41	14.24	12.93	13.59	18.76	17.44	18.10
42	14.79	16.50	15.65	16.36	16.85	16.61
43	22.20	21.54	21.87	17.69	16.96	17.33
44	22.91	21.35	22.13	17.90	19.60	18.75
45	21.36	21.04	21.20	18.11	19.00	18.56
46	24.87	25.89	25.38	21.79	20.64	21.22
47	19.99	20.33	20.16	19.82	19.04	19.43
51	20.66	21.13	20.90	20.14	19.13	19.64
52	23.94	22.53	23.24	18.73	18.83	18.78
53	25.61	23.09	24.35	19.14	20.19	19.67
54	26.67	23.11	24.89	21.29	21.85	21.57
55	22.66	22.38	22.52	18.46	19.24	18.85
56	25.89	26.01	25.95	25.08	24.82	24.95
57	23.24	23.57	23.41	22.62	22.36	22.49
61	16.49	13.21	14.85	12.90	12.29	12.60
62	16.81	13.51	15.16	18.41	17.50	17.96
63	18.25	17.29	17.77	14.93	16.89	15.91
64	21.33	18.07	19.70	18.45	18.19	18.32
65	21.37	20.22	20.80	22.58	21.47	22.03
66	25.36	24.19	24.78	24.58	24.57	24.58
67	23.12	22.20	22.66	22.78	23.22	23.00

Lampiran 5a. Analisa sidik ragam efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba *Aspergillus niger* L51

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	34	1909.037	56.148	32.954	1.84	2.39
A	4	764.682	191.170	112.199	2.69	4.02
B	6	811.963	135.327	79.424	2.42	3.47
AB	24	332.393	13.850	8.128	1.89	2.47
ERROR	35	59.635	1.704			
TOTAL	69	1968.672	28.531			

Lampiran 5b. Analisa sidik ragam efisiensi konversi pati menjadi protein pada mikroba *Aspergillus oryzae* TA₁

SOURCE	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	34	1511.605	44.459	19.455	1.84	2.39
A	4	820.621	205.155	89.773	2.69	4.02
B	6	345.744	57.624	25.215	2.42	3.47
AB	24	345.240	14.385	6.295	1.89	2.47
ERROR	35	79.984	2.285			
TOTAL	69	1591.590	23.067			

Lampiran 6. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Kadar Abu

Kode produk	Mikroba <i>Aspergillus niger</i> L51 Kadar abu (% bb)			Mikroba <i>Aspergillus Oryzae</i> TA1 Kadar abu (% bb)		
	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata	Ulangan 1	Ulangan 2	Rata-rata
A1B0	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
A1B1	2.37	2.37	2.37	2.97	2.97	2.97
A1B2	2.98	3.00	2.99	2.91	2.96	2.94
A1B3	2.42	2.42	2.42	2.57	2.63	2.60
A1B4	2.46	2.40	2.43	2.29	2.44	2.37
A1B5	2.26	2.06	2.16	2.52	2.56	2.54
A1B6	2.64	3.20	2.92	2.63	2.70	2.67
A1B7	2.84	2.86	2.85	2.41	2.43	2.42
A2B0	2.40	2.41	2.41	2.40	2.41	2.41
A2B1	2.26	2.18	2.22	2.50	2.14	2.32
A2B2	2.88	2.34	2.61	2.86	1.97	2.42
A2B3	2.34	2.12	2.23	3.08	2.03	2.56
A2B4	2.05	2.15	2.10	2.79	2.69	2.74
A2B5	2.36	2.50	2.43	1.58	2.80	2.19
A2B6	2.76	2.54	2.65	2.84	2.35	2.60
A2B7	2.36	2.54	2.45	2.63	2.51	2.57
A3B0	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39
A3B1	2.47	2.41	2.44	2.74	2.81	2.78
A3B2	2.16	2.38	2.27	2.90	2.89	2.90
A3B3	2.42	2.43	2.43	2.46	1.23	1.85
A3B4	2.31	2.08	2.20	2.90	2.91	2.91
A3B5	2.42	2.34	2.38	2.04	2.11	2.08
A3B6	2.26	2.40	2.33	2.93	2.98	2.96
A3B7	2.36	2.90	2.63	2.38	3.11	2.75
A4B0	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37
A4B1	2.64	2.76	2.70	2.05	3.00	2.53
A4B2	2.00	2.30	2.15	2.92	2.93	2.93
A4B3	2.55	2.22	2.39	2.97	2.97	2.97
A4B4	2.37	2.16	2.27	2.15	2.11	2.13
A4B5	2.42	2.24	2.33	2.32	2.20	2.26
A4B6	2.44	2.70	2.57	2.63	2.66	2.65
A4B7	2.20	2.74	2.47	2.43	2.43	2.43
A5B0	2.36	2.38	2.37	2.36	2.38	2.37
A5B1	2.46	2.20	2.33	2.58	2.65	2.62
A5B2	2.04	3.10	2.57	2.53	2.51	2.52
A5B3	2.08	2.24	2.16	1.98	1.93	1.96
A5B4	2.82	2.92	2.87	2.13	2.12	2.13
A5B5	2.38	2.34	2.36	2.90	3.00	2.95
A5B6	2.41	2.05	2.23	2.49	2.47	2.48
A5B7	2.32	2.40	2.36	2.82	2.86	2.84

Lampiran 7. Komposisi Nutrien

B A H A N	UNIT	KONSENTRASI
KH_2PO_4	% w/w	4,5
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	% w/w	9,0
Urea	% w/w	1, 2, 3, 4, 5
Larutan Mineral :	% v/w	5
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	% w/v	0,21
- CaCl_2	% w/v	0,21
- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	% w/v	0,035
- $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	% w/v	0,01092
- $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	% w/v	0,0098
- CoCl_2	% w/v	0,014
- Ekstrak khamir	% w/v	3,50