

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum Protein Sel Tunggal

Protein sel tunggal merupakan istilah yang digunakan untuk protein kasar yang berasal dari mikrobia bersel satu atau bersel banyak yang sederhana, seperti bakteri, khamir, jamur, ganggang (Hardjo, Indrasti, dan Bantacut, 1989). Atau dengan kata lain, istilah protein sel tunggal ini digunakan bagi protein mikrobia untuk membedakannya dari protein tumbuhan dan hewan multiseluler (Sardjoko, 1991). Sel-sel mikrobia ini juga mengandung lemak, karbohidrat, vitamin, serta mineral, oleh karena itu dapat digunakan sebagai makanan manusia dan pakan ternak. Sebagai bahan baku dapat digunakan bahan non pangan atau limbah bermutu rendah (Sa'id, 1987).

Penelitian terhadap protein sel tunggal ini digalakkan sebagai akibat adanya ancaman krisis makanan bila populasi penduduk dunia tidak terkontrol. Banyak ilmuwan percaya bahwa pemanfaatan fermentasi oleh jasad mikrobia dan industri untuk memproduksi dan mensuplai protein sel tunggal dapat dikembangkan untuk mengatasi kekurangan protein. Hal ini disadari karena penyediaan protein dari hasil perikanan dan pertanian tidak akan mencukupi (Frazier and Westhoff, 1983).

Produksi protein sel tunggal untuk bahan pangan manusia telah banyak dimulai pada tahun 1910 di Berlin. Beribu-ribu ton protein sel tunggal dari khamir telah diproduksi dan diberikan pada prajurit selama Perang Dunia I dan Perang Dunia II. Protein sel tunggal tidak hanya diberikan kepada tentara, tetapi juga tawanan perang maupun kepada penduduk sipil, dalam bentuk tepung, pasta, sirup, atau dikeringkan untuk dimasukkan dalam sup. Khamir yang diproduksi khusus untuk dimakan dikenal dengan sebutan *food yeast*. Dalam Perang Dunia II, *food yeast* tidak saja digunakan di Jerman, tapi juga di Jepang dan Rusia. *Food yeast* tidak saja merupakan sumber protein, tetapi juga sumber zat gizi lainnya, seperti lemak, mineral, dan vitamin (Hardjo, dkk, 1989).

B. Potensi Protein Sel Tunggal Sebagai Pakan dan Pangan

Berbagai alasan telah dikemukakan dalam penggunaan protein sel tunggal sebagai pakan dan pangan. Makanan ternak dianggap sangat penting dan potensial dalam penggunaan protein sel tunggal. Pembuatan protein sel tunggal untuk pakan ternak dilakukan untuk mengubah kelebihan limbah dan tingginya harga karbohidrat untuk memproduksi makanan lembu, babi, dan binatang pertanian lainnya (Hardjo, dkk, 1989). Mikrobia tidak hanya mengawetkan dan mengubah rasa, tetapi juga merupakan sumber protein bagi manusia (Sardjoko, 1991).

Mengonsumsi mikrobia sebagai makanan manusia bukan peristiwa baru. Sejak dulu manusia telah memakannya dalam bentuk lain, misalnya sel ragi yang merupakan komponen dalam adonan roti, bakteri asam laktat yang terkandung dalam keju, dan susu yang difermentasi seperti *yoghurt*. Dan kapang adalah bahan yang digunakan untuk membuat makanan dari kedelai, seperti tempe, dan oncom (Litchfield, dalam Marx, 1991).

Frazier and Westhoff (1983) mengungkapkan bahwa penggunaan protein sel tunggal memiliki beberapa keuntungan. Keuntungan tersebut antara lain : (a) sebagai substrat produksi protein sel tunggal dapat digunakan bahan non pangan, (b) kandungan protein dalam mikrobia tinggi, (c) pertumbuhan sel cepat karena waktu generasinya pendek, serta (d) produksi protein sel tunggal tidak tergantung iklim.

C. Nilai Gizi dan Keamanan Produk Protein Sel Tunggal

1. Nilai Gizi Protein Sel Tunggal.

Protein sel tunggal mengandung bahan nutrisi seperti karbohidrat, lemak, vitamin, dan mineral. Nilai gizi dari protein sel tunggal tergantung dari mikrobia dan bahan dasar yang digunakan. Kandungan protein dari protein sel tunggal bervariasi diantara spesies mikrobia, tapi macam asam amino yang ada adalah hampir sama pada berbagai spesies (Hang, dalam Green and Kramer, 1979).

Komposisi asam amino pada jenis mikrobia yang berbeda dijelaskan oleh Dabbah, 1970 (Hang, dalam Green et al, 1979) bahwa semua asam amino essensial ada, meskipun kandungan asam amino sulfur, seperti sistein dan metionin rendah. Macam dan kandungan asam amino dalam protein sel tunggal itu hampir sama dengan tumbuhan dan hewan. Yang membedakannya adalah asam amino metionin, dimana ada beberapa sumber protein sel tunggal kandungan metionin ini lebih rendah (Jay, 1978).

Tabel 01 : Analisis Proksimat (% bahan kering dari Beberapa Mikrobia (Lipinsky and Litchfield, 1970; Thatcher, 1955; Foster, 1949)

	<i>C. utilis</i>	<i>M. cere- ficans</i>	<i>C. pyre- noidosa</i>	Kapang
Nitrogen	8,8	11,5	9,55	5,21-7,61
Protein kasar (NX6,25)	55,0	72,0	59,7	32,6-47,6
Lemak	5,0	-	-	0,2 - 87*
Abu	8,0	-	8,88	1 - 29*

Sumber : data sekunder oleh Suhardi, 1988.

* data primer oleh Cochrane, 1958; Foster, 1949; Weete, 1974 (dalam Griffin, 1981)

Tabel 02 : Komposisi Asam Amino (g/100 g) dari Beberapa Mikrobia (Lipinsky and Litchfield, 1970; Thatcher, 1954; Foster, 1949)

	<i>C. utilis</i>	<i>M. cere- ficans</i>	<i>C. pyre- noidosa</i>	Mold	FAO
Arginin	5,4	4,51	5,6	4,3	-
Histidin	1,9	1,88	1,4	2,96	-
Isoleusin	5,3	4,08	3,4	3,52	4,2
Leusin	7,0	6,57	4,0	4,46	4,8
Lisin	6,7	5,7	7,9	5,53	4,2
Metionin	1,2	2,13	1,8	1,6	2,2
Fenilalanin	4,3	3,38	4,5	2,5	2,8
Treonin	5,5	4,50	3,2	3,34	2,8
Triptofan	1,2	0,92	1,4	0,74	1,4
Valin	6,3	5,12	5,1	4,0	4,2

Sumber : data sekunder oleh Suhardi, 1988.

Kandungan asam amino lisin dari protein sel tunggal umumnya memadai bila dibandingkan dari tanaman, sehingga protein sel tunggal merupakan suplai kekurangan lisin. Oleh karena itulah protein sel tunggal dapat digunakan untuk suplementasi bahan yang kekurangan lisin, seperti gandum dan beras (Suhardi, 1988). Hal inilah yang turut mendukung protein mikrobial sebagai sumber nutrisi.

2. Keamanan produk.

Dalam pemanfaatannya untuk konsumsi manusia, protein sel tunggal ini perlu mendapat perhatian, karena kandungan asam nukleatnya tinggi, yaitu pada ganggang 4,0-6,0%, kapang 2,5-6,0%, khamir 6,0-11,0%, dan bakteri lebih dari 11,0% (Sa'id, 1987).

WHO dan FAO memberikan rekomendasi bahwa penggunaan asam nukleat lebih besar dari 2 gram per hari akan berbahaya (Suhardi, 1988). Oleh karena itu tingkatan maksimum yang boleh dikonsumsi dari asam nukleat adalah 2 gram asam nukleat per hari (Hang, 1979; Rose, 1979), atau setara dengan konsumsi protein sel tunggal khamir 30 gram per hari (Hang, dalam Green et al, 1979).

D. Organisme Penghasil Protein Sel tunggal

Sebagai organisme penghasil protein sel tunggal dapat digunakan mikrobia yang berfotosintesis maupun yang tidak berfotosintesis. Protein sel tunggal dari mikrobia yang berfotosintesis dapat diperoleh dari ganggang dan bakteri, sedangkan protein sel tunggal dari mikrobia tak berfotosintesis dapat diperoleh dari bakteri, kapang, khamir, dan jamur jenis lain. Mikrobia-mikrobia tersebut memerlukan sumber karbon dan sumber energi, sumber nitrogen, dan suplai unsur lain, seperti : fosfor, sulfur, besi, kalsium, magnesium, natrium, kalium, dan unsur jarang, untuk tumbuh dalam lingkungan air (Litchfield, 1991).

Sel mikrobia mempunyai ukuran kecil, perbandingan permukaan dan volume yang tinggi, dan keseluruhan permukaan sel mikrobia dapat digunakan untuk mengambil nutrisi, serta mempunyai kecepatan pertumbuhan yang lebih tinggi daripada tumbuhan atau hewan ternak. Babi muda atau anak ayam misalnya, dapat mencapai

berat dua kali semula dalam satu bulan, sementara sel khamir hanya tiga jam. Sekitar separuhnya sel mikrobia mengandung protein, dan cepatnya sintesa protein oleh mikrobia merupakan suatu keuntungan bila dibandingkan dengan pertanian konvensional (Norris, dalam Norris and Richmond, 1981).

Namun tidak semua jenis mikrobia dapat digunakan dalam protein sel tunggal. Mikrobia yang berpotensi menyediakan makanan dan dapat memproduksi protein sel tunggal harus mempunyai kriteria yang memenuhi syarat ekonomi, gizi, dan aspek kesehatan (Anonymus, 1982).

Persyaratan lain yang harus dipenuhi diantaranya adalah selama proses tidak menghasilkan senyawa racun, cepat beradaptasi dengan lingkungan yang baru, cepat tumbuh dan berkembangbiak, serta mudah dipanen (Suriawiria, 1986).

E. Proses Produksi Protein Sel Tunggal

Dalam memproduksi protein sel tunggal, kondisi yang diperlukan untuk propagasi, pemanenan, dan pengeringan, pada umumnya adalah hampir sama. Penekanan diutamakan pada kondisi untuk propagasi, seperti penyediaan substrat, kontrol suhu dan pH, kondisi aerasi dan agitasi, serta pemanfaatan kembali sel-sel yang dihasilkan (Sa'id, 1987).

1. Penyediaan media.

Salah satu hal menarik dalam membiakkan mikrobia untuk pangan adalah berbagai bahan dapat

digunakan sebagai media. Dua strategi utama yang berkaitan dengan pemilihan bahan sebagai media adalah pertimbangan untuk menggunakan bahan bermutu rendah, atau menggunakan karbohidrat yang mudah diperoleh untuk menghasilkan bahan mikrobial yang mengandung protein yang tinggi (Higgins, Best, and Jones, 1985).

Disamping itu, agar mikrobia dapat tumbuh dan berkembang baik diperlukan media yang memenuhi syarat. Syarat tersebut antara lain: dalam media terkandung semua unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan mikrobia, mempunyai pH yang sesuai untuk pertumbuhan mikrobia, serta media harus dalam keadaan steril, artinya sebelum ditanami mikrobia yang dimaksud media tidak ditumbuhi oleh mikrobia lain yang tidak dikehendaki (Suriawiria, 1986).

2. Kontrol suhu dan pH.

Menentukan suhu dan pH merupakan salah satu usaha untuk mengoptimalkan pertumbuhan, karena suhu dan pH sangat menentukan laju pertumbuhan mikrobia. Selama fermentasi akan dibebaskan panas, sehingga akan menaikkan suhu substrat, oleh karenanya perlu pendinginan untuk mengatur atau mempertahankan suhu seperti yang dikehendaki (Suhardi, 1988).

3. Aerasi dan agitasi.

Aerasi dan agitasi juga merupakan hal yang sangat penting dalam propagasi. Pada pertumbuhan secara aerobik, suplai oksigen merupakan faktor terpenting untuk penggunaan sumber karbon yang efisien (Sa'id, 1987).

Proses aerasi tidak terlepas dari proses agitasi (Wibowo, 1988). Agitasi dapat menaikkan kecepatan transfer oksigen dari udara ke media cair, transfer oksigen dan nutrien dari medium ke sel, transfer produk metabolisme dari sel ke medium, serta mencegah pengumpulan sel atau miselium (Brown, Campbell, and Priest, 1988). Dengan demikian aerasi dan agitasi tersebut selain untuk memenuhi kebutuhan oksigen, juga untuk menjaga agar mikrobia tetap tersuspensi dan larutan medium tetap homogen (Wibowo, 1988).

4. Pemanfaatan sel-sel kembali (cell recovery)

Pada akhirnya, aspek penting dalam keseluruhan proses produksi protein sel tunggal tersebut adalah pemanfaatan sel-sel kembali (cell recovery). Pemulihan sel dimaksudkan untuk mengambil sel yang dihasilkan. Langkah tersebut dapat dilakukan dengan cara sentrifugasi, filtrasi, dan pengeringan (Sa'id, 1987).

F. Protein Sel Tunggal dari Air Kelapa

1. Komposisi Air Kelapa

Air kelapa mengandung karbohidrat, sejumlah bahan-bahan organik seperti dalam tabel berikut ini :

Tabel 03 : Komposisi Kimia Air Kelapa (Ketaren dan Djatmiko, 1978)

Sumber	Air kelapa tua (%)	Air kelapa muda (dalam 100 gr)
Kalori	-	17,0 kal
Protein	0,14	0,2 g
Lemak	1,50	1,0 g
Karbohidrat	4,6	3,8 g
Kalsium	-	15,0 g
Fosfor	5,5	8,0 g
Besi	-	0,2 g
Asam askorbat	-	1,0 mg
Air	-	95,9 mg
Bagian yang dapat dimakan	-	100,0 g

Sumber : data sekunder oleh Jefri dan Kaunang, 1990

Selain itu air kelapa juga mengandung vitamin dan mineral, seperti dalam Tabel 04 dan Tabel 05 berikut :

Tabel 04 : Komposisi Vitamin Air Kelapa (Van Belt, 1945)

Jenis Vitamin	Jumlah
Vitamin C	2,2 - 3,7 mg/100 g
Asam nikotinat	0,64 µg/ml
Asam pantotenat	0,52 µg/ml
Biotin	0,02 µg/ml
Riboflavin	0,01 µg/ml
Asam folat	0,03 µg/ml

Sumber : data sekunder oleh Jefri dan Kaunang, 1990

Tabel 05 : Komposisi Mineral air Kelapa (Shantz and Steward, 1952)

Jenis Mineral	Jumlah ($\mu\text{g}/100 \text{ ml}$)
Kalium	312
Natrium	105
Kalsium	29
Besi	0,1
Tembaga	0,04
Belerang	24
Klor	184

Sumber : data sekunder oleh Jefri dan Kaunang, 1990

2. Spesifikasi air kelapa.

Beberapa hal yang perlu diketahui mengenai spesifikasi air kelapa dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 06 : Spesifikasi Air Kelapa

Spesifikasi	
pH	5,59
Bahan padat ($\text{gr}/100 \text{ ml}$)	3,54
Abu	0,24
Gula	1,79
Lemak	0,02
6,25 N (protein kasar)	0,07

Sumber : Suhardiyono, 1988

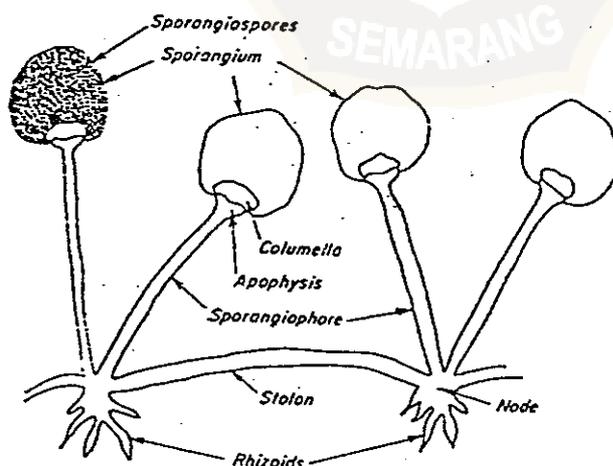
3. Jasad Pemroses

Mikrobia yang digunakan dalam pembuatan protein sel tunggal dari air kelapa adalah kapang *Rhizopus oryzae* (Rumokoi, 1990).

Sistematik. Kedudukan *Rhizopus oryzae* dalam sistematika adalah sebagai berikut :

Divisio : Eumycetes
 Classes : Phycomycetes
 Sub classes : Zygomycetes
 Ordo : Mucorales
 Familia : Mucoraceae
 Genus : Rhizopus
 Species : *Rhizopus oryzae*
 (Funder, 1953)

Morfologi. Karakteristik dari *Rhizopus oryzae* ini adalah miselium tidak bersekat, mempunyai stolon dan rhizoid. Sporangiofor muncul pada tempat dimana rhizoid juga dibentuk. Sporangium besar dan berwarna hitam. Kolumela hemisferik dan pada dasar sporangium terbentuk apofisis. Miselium menyebar seperti kapas, dan seringkali memenuhi tempat tumbuhnya, misalnya cawan petri (Frazier, and Westhoff, 1983).



Gambar 01 : Morfologi *Rhizopus oryzae*

Pertumbuhan. *Rhizopus oryzae* bersifat aerob, oleh karena itu harus cukup mendapat oksigen agar bisa tumbuh optimal. Selain itu, kapang memerlukan karbon dan sumber energi, sumber nitrogen, fosfor, sulfur, dan unsur mineral. Dalam keadaan aerob, kapang mengubah karbon dan nitrogen serta mineral bahan nutrisi, sehingga dihasilkan protein sel tunggal, karbondioksida, air, serta panas (Litchfield, dalam Marx, 1991).

Suhu dan pH. Kisaran pH untuk pertumbuhan kapang adalah 3 - 7. Pertumbuhan kapang ini dengan jalan memanjang (elongasi), dengan waktu penggunaan 4 - 8 jam, dan beberapa spesies hanya 60 - 90 menit (Sa'id, 1987). Sedangkan suhu optimum bagi pertumbuhan kapang adalah 31-32°C (Tjokroadikoesoemo, 1986).

4. Formulasi media.

Selain karbohidrat, air, sejumlah bahan organik, vitamin, dan mineral, yang telah ada dalam air kelapa, perlu juga ditambahkan sumber karbon dan sumber nitrogen. Kapang memerlukan karbon dengan dua tujuan utama, yaitu sebagai bahan utama pembentuk sel dan sebagai sumber energi. Sedangkan senyawa nitrogen (protein) diketahui merupakan senyawa pembentuk protoplasma dan dinding sel (Darwis dan Sukara, 1990).

Sebagai sumber karbon dapat digunakan gula (glukosa atau maltosa), sedangkan sumber nitrogen dapat menggunakan garam amonium, urea (Crueger and Crueger, 1984; Alexopoulos and Bold, 1967), dapat pula digunakan nitrat, nitrit (Gaudy and Gaudy, 1981).

Konsentrasi karbohidrat dalam media biakan adalah 2 - 10% (Litchfield, 1991), sedangkan batas konsentrasi untuk ion amonium adalah 5 gr/lt, nitrat sebesar 5 gr/lt (Sa'id, 1987), dan urea sebesar 0,345% (Tjokroadikoesoemo, 1986).

5. Aerasi dan agitasi.

Aerasi dan agitasi dalam skala laboratorium biasanya dilaksanakan dengan menggoyang-goyangkan labu berisi larutan. Dalam skala yang lebih besar, aerasi diberikan dengan cara menghembuskan udara bertekanan ke dalam cairan medium, dan kadang-kadang dilaksanakan pengadukan (Wibowo, 1990).

6. Pemanfaatan sel-sel kembali.

Kapang lebih mudah dipisahkan dari media pertumbuhan karena miselium berbentuk benang, dimana dimungkinkan penggunaan filter atau saringan. Karena pertumbuhan kapang yang menggumpal inilah yang menyebabkan kapang disukai dalam fermentasi cairan (Litchfield, 1978).