

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Tanah Gambut

Tanah gambut di daerah Kalimantan Barat merupakan hasil timbunan tumbuh-tumbuhan yang telah mati. Sebagian besar telah mengalami penguraian biologis, sehingga berbentuk material sisa tumbuhan sampai *koloidal*. Timbunan bahan organik ini dalam keadaan jenuh air, warnanya kuning sampai coklat tua tergantung dari tingkat penguraian biologisnya, jumlah serat tumbuhan dan sedimen (anorganik). Unsur utama pembentuk gambut adalah karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen dan beberapa oksida dalam jumlah kecil seperti Si O₂, Al₂ O₃, Fe₂ O₃ dan sulfur (Hamid, 1987).

Tanah gambut ini mempunyai kisaran pH yang rendah dan mempunyai ketebalan lapisan organik yang sangat tebal (Isworo, 1994). Dilihat komposisi dan strukturnya tanah gambut di Pontianak disebut gambut *ombrogeen* (Rosmarkam, dkk., 1987). Tanah gambut ombrogeen ini mengandung berbagai macam bahan organik, antara lain hemiselulosa, selulosa, lignin, dan protein (Tabel 01).

Tabel 01. Susunan Bahan Organik Gambut Ombrogeen pada Dua Tempat di Pontianak, Terhitung dalam Porsen Berat Kering

Tempat Ditemukan	Hemiselulosa (%)	Selulosa (%)	Lignin (%)	Protein (%)
Pontianak	1,95	3,61	75,67	3,83
Pontianak	0,73	4,21	68,85	3,97

Sumber : Wicaksono (1953)

Bahan organik ini akan terdekomposisi dengan adanya berbagai mikrobia yang ada dalam tanah gambut tersebut. Mikrobia tersebut antara lain kapang, *Actinomyces* dan bakteri anaerobik yang mendekomposisi hemiselulosa dan

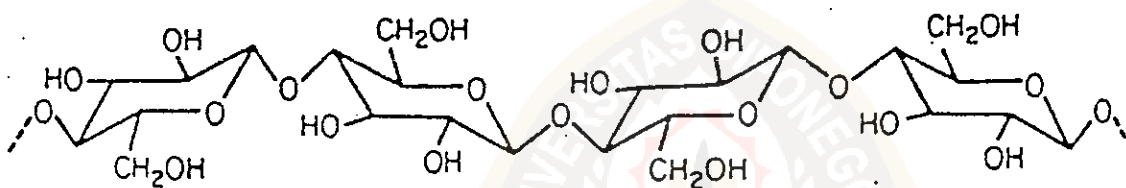
beberapa protein. Dari hasil eksplorasi mikrobial pada tanah gambut di Pontianak, Kalimantan Barat ditemukan genus-genus kapang yang mampu mendekomposisi pektin dan selulosa. Kapang-kapang ini dapat ditemukan pada daerah permukaan, tetapi lebih banyak ditemukan pada daerah yang lebih dalam dari tanah gambut (Isworo, 1994).

Mikrobia yang ada dalam tanah gambut ini mempunyai peranan yang penting dalam pembentukan tanah gambut, karena ternyata beberapa jenis kapang dapat melapukkan atau mempunyai daya lapuk yang kuat terhadap sisa-sisa tanaman yang mengandung jenis-jenis karbohidrat yang tidak mudah dilapukkan atau dihancurkan oleh bakteri (Kartosapoetra dan Mulyani, 1988). Santosa, dkk., (1996) menyatakan bahwa mikrobial dapat bermanfaat untuk mempercepat kematangan tanah gambut, sehingga secara efektif dapat berperan meningkatkan kualitas lingkungan tumbuh daerah perakaran dalam media gambut. Peningkatan kualitas tersebut dapat melalui peningkatan proses kematangan, mengurangi kehilangan hara melalui penguapan, pencucian maupun penyerapan, atau merangsang pembentukan hormon yang dapat mempercepat pertumbuhan tanaman.

2. Selulosa

Selulosa adalah salah satu pembentuk dinding sel tumbuhan yang berupa karbohidrat. Dua molekul glukosa bila dihubungkan secara 1,4 maka akan terbentuk selobiosa. Molekul selulosa ini terdiri dari rangkaian unit-unit selobiosa dengan ikatan β -1,4-glikosida (Chichester, *et al.*, 1975).

Rantai molekul selulosa tersusun sejajar dan dipengaruhi oleh ikatan hidrogen antara gugus-gugus OH yang bersebelahan. Dengan adanya ikatan hidrogen dari gugus-gugus hidroksil antar rantai akan terjadi orientasi paralel dari sumbu rantai, sehingga rantai-rantai tersebut tersusun paralel memanjang. Apabila susunannya teratur maka akan terjadi daerah yang disebut daerah kristalin, disamping susunan yang teratur ini terdapat pula bagian yang kurang teratur yang disebut daerah amorf. Selulosa mempunyai kemampuan untuk mengikat air, yang teradsorpsi pada gugus hidroksil oleh karena terbentuknya ikatan hidrogen (Wirahadikusumah dan Rahwono, 1990). Struktur selulosa terlihat pada Gambar 01.



$\rightarrow 4)\text{-}\beta\text{-D-Glucp} - (1 \rightarrow 4)\text{-}\beta\text{-D-Glucp} - (1 \rightarrow 4)\text{-}\beta\text{-D-Glucp} - (1 \rightarrow 4)\text{-}\beta\text{-D-Glucp} - (1 \rightarrow$
Gambar 01. Struktur kimia selulosa (Fogarty and Kelly, 1990)

3. Bekatul — Jerami Sebagai Media Fermentasi

Bekatul merupakan limbah dari hasil pengolahan gabah. Bekatul merupakan salah satu pakan unggas yang cukup memberikan nilai gizi bagi pertumbuhannya (Rasyaf, 1993). Dalam bekatul ini terkandung komposisi bahan yang mendukung pertumbuhan mikrobia, karena terdapat sumber karbon, nitrogen, mineral dan vitamin (Kumalaningsih dan Hidayat, 1995). Komposisi bekatul terlihat dalam Tabel 02.

Tabel 02. Komposisi bekatul

Kandungan	Jumlah
Protein	13,5 %
Lemak	0,6 %
Serat kasar	13 %
Kalsium	0,1 %
Pospor	1,7 %
Metionin	0,17 %
Cysteine	0,3 %
Lysin	0,5 %
Triptopan	0,1 %
Threonin	0,4 %
Isoleusin	0,39 %
Histidin	0,25 %
Valin	0,6 %
Leusin	1,2 %
Arginin	0,45 %
Phenilalanin	0,41 %
Glisin	1,0 %
Thiamin	22,8 mg/kg
Riboflavin	3,0 mg/kg
Asam Pantotenat	22 mg/kg
Biotin	4200 mg/kg
Cholin	303 mg/kg
Magnesium	0,95 %
Sulfur	0,18 %
Mangan	1,37 ppm
Besi	190ppm
Cuprum	13 ppm
Zink	29,9 ppm

(Rasyaf, 1993)

Jerami merupakan limbah dari tanaman padi setelah panen. Komponen utama jerami antara lain serat kasar, protein, lemak, selulosa dan abu (Sutrisno, 1992). Bahan-bahan ini dapat dimanfaatkan oleh mikrobia untuk melangsungkan proses penguraian yang nantinya akan berguna bagi pertumbuhan mikrobia (Kumalaningsih dan Hidayat, 1995). Komposisi jerami secara lengkap terlihat pada Tabel 03.

Tabel 03. Komposisi Jerami

Kandungan	Prosentase (%)
Protein	3,66
Lemak	1,52
Serat kasar	41,53
Selulosa	36,08
Abu	25,27

(Sutrisno, 1992)

4. Morfologi dan Klasifikasi Kapang

Seperti diketahui bahwa dalam alam dikenal ratusan ribu spesies jamur, baik yang termasuk kapang maupun *yeast* (khamir). Kapang bersifat non-klorofil, baik yang berbentuk unisel maupun multisel. Kapang dapat hidup sebagai saprofit dan parasit bagi manusia, binatang maupun tumbuh-tumbuhan, namun demikian kapang ini dapat bermanfaat bagi manusia antara lain untuk pembuatan bahan organik, pembuatan enzim, pembuatan antibiotika, pembuatan bahan pangan : tape, oncom, kecap, taoco, keju, roti dan lain-lain. Tranggono (1991), menyatakan bahwa beberapa kapang dapat pula menghasilkan racun (mikotoksin) yang dapat mengganggu kesehatan manusia. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan kapang antara lain suhu, air, gas oksigen dan karbondioksida, makanan, cahaya dan bahan-bahan yang bersifat *antifungal* (*fungicide* atau *fungistatik*).

Pelczar dan Chan (1986), menyatakan bahwa secara umum pada media pertumbuhan, kapang *Aspergillus* akan tumbuh membentuk benang-benang yang bercabang atau tidak bercabang. Masing-masing benang disebut hifa. Kumpulan hifa disebut miselium. Hifa ini ada yang bersepta maupun tidak bersepta (*nonseptat, coenocytic*).

Ada dua tipe hifa :

1. Hifa vegetatif, yaitu yang berada dalam substrat yang berfungsi untuk mendapatkan zat makanan.
2. Hifa reproduktif, yaitu hifa yang bertanggung jawab untuk pembentukan spora dan biasanya tumbuh meluas ke udara dari miselium (Tranggono, 1991).

Koloni kapang ada yang berbentuk sebagai *yeast colony*, *yeast like colony*, dan ada yang *filamentous colony*. Hampir semua kapang bertipe *filamentous colony*. Bentuk dan sifat dari permukaan kapang dalam media dapat berbentuk seperti bubuk. Warna dari koloni kapang coklat sampai hitam. Kepala konidia mempunyai bentuk yang bervariasi dan khas bagi tiap kapang, yaitu *oval*, *radiate* dan *columnar*. Kepala ini terbentuk oleh vesikel, phialid, metula dan konidia. Vesikel merupakan ujung dari konidiophora. Dari permukaan vesikel ini tumbuh sel yang disebut sterigma. Sterigma ini bertipe uniseriate ataupun biseriate. Tipe uniseriate hanya terdiri dari phialid saja dan tipe biseriate terdiri dari phialid dan metula. Pada ujung sterigma tumbuh konidia yang mempunyai warna dan bentuk khas (Raper and Fennel, 1965).

4.1. *Aspergillus niger*

Kapang *A. niger* mempunyai ciri morfologi yang khas. Klasifikasi kapang

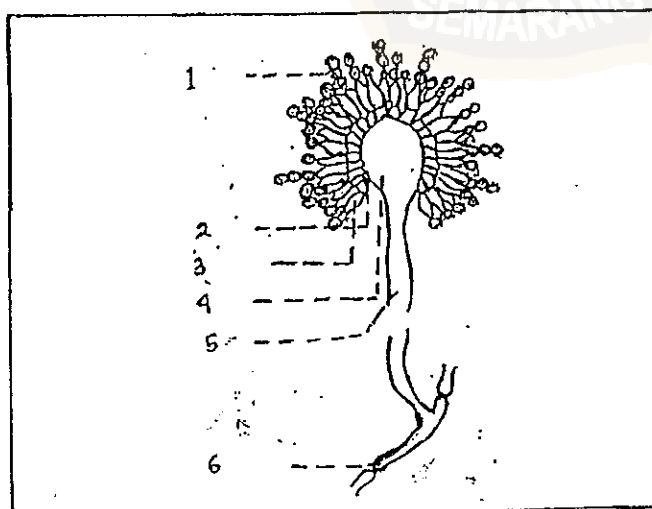
A. niger sebagai berikut :

Divisi	: Eumycota
Sub divisi	: Ascomycotina
Kelas	: Ascomycetes
Bangsa	: Eurotiales
Suku	: Eurotiaceae
Marga	: <i>Aspergillus</i>
Spesies	: <i>Aspergillus niger</i>

(Sharma, 1992)

Miselium koloni kapang ini tumbuh cepat, pada hifa bagian dasar berwarna kuning pada waktu muda (Raper and Fennel, 1965). Hifa ini tidak bersekat dan tidak bercabang disebut konidiophora. Sel hifa yang menghasilkan konidiophora disebut sel kaki/*foot cell*. Ujung konidiophora mengalami pembengkakan disebut vesikel. Vesikel ini berbentuk globose. Dari permukaan vesikel ini tumbuh sel konidiogenous yang disebut sterigma. Sterigma kapang *A. niger* bersifat biseriata (Sharma, 1992). Tipe biseriata ini terdiri dari phialid dan metula, dimana phialid tumbuh di atas metula (Samsom, *et al.*, 1984).

Pada ujung phialid yang telah masak, tumbuh konidia yang berbentuk globose, uniseluler dan berukuran kecil. Perkembangan konidia bersifat suksesi basipetal, yaitu konidia termuda terletak pada pangkal rantai konidia, dan semakin ke ujung semakin tua (Sharma, 1992). Rantai konidia berbentuk radier. Vesikel, phialid, metula dan konidia membentuk kepala konidia atau *conidial head*. Kepala konidia ini berwarna hitam kecoklatan, berbentuk radier (Raper and Fennel, 1965). Struktur morfologi *A. niger* dilukiskan pada Gambar 02. Tanda karakteristik kapang *A. niger* terlihat pada Lampiran 1.



Keterangan :

1. Konidia
2. Metula
3. Phialid
4. Vesikel
5. Konidiophora
6. Sel kaki

√ Gambar 02. Struktur morfologi *A. niger* (Samsom, *et al.*, 1984)

5. Enzim

Enzim adalah biokatalisator yang dapat mempercepat kecepatan reaksi tanpa mengubah keadaan semula. Enzim ini mempunyai struktur protein globuler yang dihasilkan oleh jasad hidup. Enzim merupakan suatu protein, maka enzim mempunyai sifat-sifat seperti protein, antara lain akan terdenaturasi oleh panas yang tinggi. Molekul enzim ada yang terdiri dari 100 % protein seperti pepsin, tripsin dan yang paling banyak terdiri dari gugus protein dan non protein. Gugus protein disebut apoenzim dan gugus non protein disebut gugus prostetik (koenzim). Jika gugus apoenzim dan prostetik bersatu membentuk enzim lengkap, yang disebut holoenzim. Beberapa bagian dari gugus prostetik (koenzim) adalah vitamin. Beberapa vitamin B merupakan komponen utama dari koenzim yaitu biotin, thiamin, pyridoxin (Wirahadikusumah dan Rahwono, 1990).

Oleh karena enzim merupakan bagian dari sel, maka semua faktor yang mempengaruhi sel juga mempengaruhi kegiatan enzim. Faktor-faktor tersebut yang terpenting diantaranya temperatur, konsentrasi enzim, konsentrasi substrat dan pH. Adanya perubahan faktor lingkungan akan mempengaruhi muatan protein enzim yang berakibat terjadinya perubahan aktivitas enzim. Enzim sangat sensitif terhadap perubahan pH. Perubahan pH ini akan mempengaruhi muatan substrat dan asam-asam amino yang sangat menentukan efisiensi ikatan antara enzim dengan substrat. Aktivitas maksimum enzim akan terlihat pada kisaran pH tertentu yang disebut pH optimum. Di sekitar pH tersebut enzim memiliki stabilitas yang tinggi dan perubahan yang terjadi pada enzim bersifat reversible. Perubahan pH yang ekstrim (asam/basa) yang permanen yang akan berakibat hilangnya aktivitas enzim (Holme and Peck, 1983).

Molekul enzim secara fungsional dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu pertama bagian katalitik, terdapat pusat aktif dari enzim (*active site*) yang berperan dalam reaksi katalisis. Kedua yaitu bagian regulator, terdapat suatu ruang yang disebut sebagai *allosteric site* yang berfungsi mengatur interaksi substrat dengan pusat aktif dari enzim. Fungsi katalitik enzim adalah merendahkan energi aktivasi dan mencari jalur pemecahan dengan energi aktivasi yang terendah dan mempunyai fungsi kontrol (Wirahadikusumah dan Rahwono, 1990).

Sebelum dapat aktif mengkatalisis, enzim harus bergabung terlebih dahulu dengan substrat sehingga terbentuk kompleks enzim substrat. Enzim bisa bergabung dengan substrat melalui suatu sisi yang disebut sisi aktif, disini terdapat gugus-gugus aktif yang disebut gugus katalitik dan gugus pengikat. Selanjutnya produk pemecahan substrat akan dibebaskan dari enzim, dan enzim menjadi bebas untuk bergabung dengan molekul substrat berikutnya, proses ini terjadi secara berulang-ulang (Winarno, 1986).

5.1. Selulase

Selulase merupakan enzim ekstraseluler yang disintesis di dalam sitoplasma dan dikeluarkan melalui membran sel yang bekerjanya di luar struktur tersier sel. Proses sintesis enzim ekstraseluler disebut juga sebagai sekresi kontraksional (Aunstrup, 1979).

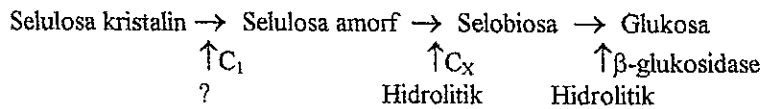
Selulase merupakan nama umum atau trivial bagi enzim, sedang nama sistematiknya adalah β -1,4-glukan-4-glukanohidrolase (EC 3.2.1.4). Selulase termasuk jenis enzim hidrolase yang dapat memecahkan ikatan glukosidik β -1,4

(Winarno, 1986). Selulase merupakan enzim yang mengkatalisis pemecahan selulosa menjadi glukosa, enzim ini sangat penting dalam proses biokonversi limbah-limbah organik yang mengandung selulosa menjadi glukosa (Yani dan Djajasukma, 1991).

Terdapat tiga jenis selulase yang dikenal :

1. Faktor C_1 (selobiohidrolase), yaitu suatu faktor yang masih belum jelas peranannya, diperlukan untuk menghancurkan selulosa dalam bentuk kristal dengan tingkat polimerisasi yang tinggi.
2. β -glukanase yang terbagi dalam dua jenis, yaitu :
 - a. Ekso β -1,4-glukanase.
 - b. Endo β -1,4-glukanase menghidrolisis molekul selulosa secara acak, endo β -1,4-glukanase inilah yang disebut faktor C_X .
3. β -1,4-glukosidase, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap molekul kecil (Winarno, 1986).

C_1 merupakan komponen selulase yang memecah ikatan hidrogen antar molekul selulosa dalam struktur mikrofibril menjadi senyawa dengan derajat polimerisasi yang lebih rendah. Jika komponen-komponen selulase dipisahkan, maka baik C_1 maupun C_X tidak memiliki afinitas hidrolitik sama sekali terhadap selulosa kristalin, tetapi komponen C_X sendiri mampu menghidrolisis selulosa amorf dan turunan-turunan selulosa (Rahman, 1992). Reaksi keseluruhan dari pemecahan selulosa oleh selulase dapat dilihat pada Gambar 03.



Gambar 03. Skema reaksi keseluruhan pemecahan selulosa oleh selulase

(Chichester, *et al.*, 1975)

Selulase terdapat pada mikrobia anaerob maupun aerob yang terdapat pada saluran pencernaan herbivor dan juga terdapat pada jamur (kapang), serangga pemakan kayu, dan yang dihasilkan oleh bakteri atau protozoa yang terdapat pada saluran pencernaan makanannya. Selain terdapat pada binatang tersebut di atas, selulase juga terdapat pada ketam dan siput (Wirahadikusumah dan Rahwono, 1990). Kapang yang dapat menghasilkan selulase antara lain *A. niger*, *Trichoderma reesi*, *T. koningii*, *Myrothecium verrucaria*, *Chaetomium thermophile*, *Sporotrichum thermophile* dan *Thresmoascus aurantiacus* (Chichester, *et al.*, 1975; Isworo, 1994; Limtong, *et al.*, 1980). Di antara berbagai jenis kapang selulolitik, kapang *A. niger* telah banyak digunakan dalam penelitian. Limtong, *et al.* (1980), menyatakan bahwa kapang *A. niger* mampu menghasilkan selulase optimum pada suhu 48° C selama 7 hari inkubasi pada media cair dan padat dengan pH media optimum 6.5, yaitu sebesar 2,93 unit/ml/menit. Chichester, *et al.* (1975), menyatakan pula bahwa secara komersial, kapang *A. niger* mampu menghasilkan selulase optimum pada pH 4.

Penentuan aktivitas katalisis enzim merupakan alat yang sensitif dan spesifik untuk menentukan jumlah enzim yang dihasilkan oleh suatu mikrobia. Jika aktivitas katalisis murni telah diketahui, maka jumlah enzim yang terdapat dalam filtrat dapat pula diketahui. Walaupun demikian tidak mudah untuk

menentukan jumlah enzim yang ada, oleh karena itu jumlah enzim dinyatakan dengan unit enzim. Unit enzim dinyatakan dalam mikromol (μmol ; 10^{-6} mol) dari substrat yang bereaksi atau produk yang dihasilkan per menit (Rodwell, 1987).

Penentuan aktivitas selulase dalam ini penelitian menggunakan metode DNS (*Dinitrosalicylic acid*). Gula tereduksi yang dihasilkan dihitung sebagai glukosa (Darwis dan Sukara, 1990). Satu unit aktivitas selulase sebanding dengan jumlah selulase yang dapat menghasilkan 1 mikromol glukosa dari larutan CMC (*Carboxymethyl Cellulose*) selama 1 menit (Rahman, 1992).

