

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pisang

2.1.1 Botani Pisang

Pisang adalah tumbuhan yang berasal dari kawasan di Asia Tenggara (termasuk Indonesia). Tumbuhan pisang kemudian menyebar ke Afrika (Madagaskar), Amerika Selatan dan Amerika Tengah. Tumbuhan pisang banyak terdapat dan tumbuh didaerah tropis maupun sub tropis. Iklim tropis yang sesuai serta kondisi tanah yang banyak mengandung humus membuat tumbuhan pisang sangat cocok dan tersebar luas di Indonesia. Saat ini, hampir seluruh wilayah Indonesia merupakan daerah penghasil pisang. Tumbuhan pisang banyak terdapat dan tumbuh didaerah tropis maupun sub tropis (Suyanti dan Supriyadi, 2008).

Suyanti dan Supriyadi (2008), menyebutkan klasifikasi pisang kepok, adalah sebagai berikut:

Kingdom Plantae

Divisi Spermatophyta

Class Monocotyledoneae

Ordo Zingiberales

Famili Musaceae

Genus Musa

Spesies *Musa acuminata*

Pisang merupakan tumbuhan monokotil yang termasuk dalam familia *Musaceae*. Pohonnya memiliki tinggi 2 hingga 9 m, akar rizoma berada dalam

tanah dan pelepahnya terdiri dari lembaran daun dan mahkota terminal daun tempat munculnya bakal buah. Pisang merupakan buah klimaterik yang artinya memiliki fase perkembangan, dengan meningkatnya ukuran buah dan meningkatnya kadar karbohidrat yang terakumulasi dalam bentuk pati. Pertumbuhan terhenti saat buah telah benar-benar ranum dan fase pematangan buah terhambat. Selama fase pematangan, kekerasan buah menurun, pati berubah menjadi gula, warna kulit berubah dari hijau menjadi kuning dan kekelatan pada buah hilang, berkembang menjadi flavor dengan karakteristik yang khas (Simmonds, 1987). Hal ini juga dijelaskan Allah Subhanallahu Wa ta'ala dalam firmanNya surat Al-An'am [6] : 99 sebagai berikut:

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرَجُ مِنْهُ حَبًّا
مُتْرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِنْ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ
مُتَشَبِهٍ أَنْظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَلِكَُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾

“Dan Dialah yang menurunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan Maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau. Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak; dan dari mayang korma mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. perhatikanlah buahnya di waktu pohonnya berbuah dan (perhatikan pulalah) kematangannya. Sesungguhnya pada yang demikian itu ada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman”(QS. Al-Anam [6]: 99).

Ayat diatas menjelaskan bahwa segala sesuatu ciptaan Allah Subhanallahu Wa ta'ala selalu ada hikmah dibaliknya, seperti halnya proses kematangan buah, khususnya buah pisang, yang awalnya dari hijau menjadi kuning, keras menjadi empuk dan kekelatan berubah menjadi rasa manis. Semua itu terjadi semata-mata

untuk menuju ke hal yang lebih baik dan itu merupakan tanda-tanda kekuasaan Allah bagi-bagi orang yang beriman.

Satu tandan buah pisang kepok terdiri dari 10 -16 sisir dengan berat 14 –22 kg. Setiap sisir terdapat \pm 20 buah. Setiap 100 gram daging buah pisang mengandung zat gizi sebagai berikut : kalori 79 kkal, karbohidrat 21,2 gram, protein 1,1 gram, lemak 0,2 gram, air 75,5 gram, vitamin A 0,022 gram, vitamin C 0,0094 gram, tiamin 0,001 gram, dan riboflavin 0,002 gram (Medanense, 2011).



Gambar 2.1 Buah Pisang Kepok (Medanense, 2011).

Pisang dapat dijadikan sebagai buah meja, sale pisang, pure pisang dan tepung pisang. Kulit pisang dapat dimanfaatkan untuk membuat cuka melalui proses fermentasi alkohol dan asam cuka. Daun pisang dipakai sebagai pembungkus berbagai macam makanan tradisional Indonesia. Batang pisang dapat diolah menjadi serat untuk pakaian, kertas dan sebagainya. Batang pisang yang telah dipotong kecil dan daun pisang dapat dijadikan makanan ternak ruminansia (domba dan kambing) pada saat musim kemarau karena tidak atau kurang tersedianya rumput. Secara tradisional, air umbi batang pisang kepok dimanfaatkan sebagai obat disentri dan pendarahan usus besar sedangkan air

batang pisang dapat digunakan sebagai obat diabetes dan penawar racun (Suyanti dan Supriyadi, 2008).

2.1.2 Komoditas Pisang Indonesia

Pisang merupakan salah satu komoditas buah unggulan Indonesia. Indonesia termasuk penghasil pisang terbesar di Asia karena 50% produksi pisang Asia dihasilkan oleh Indonesia (Suyanti dan Supriyadi, 2008). Luas panen dan produksi pisang selalu menempati posisi pertama. Produksi pisang sebagian besar dipanen dari pertanaman kebun rakyat. Data produksi buah pisang di Indonesia pada tahun 2005-2008 disajikan pada tabel 2.1:

Tabel 2.1. Produksi buah dan kulit Pisang di Indonesia

Tahun	Produksi Pisang (ton)	Produksi Kulit Pisang (ton)
2005	4.874.439	1.624.813
2006	5.177.608	1.725.869
2007	5.037.472	1.679.157
2008	5.454.226	1.818.075

Sumber: BPS (2012).

Dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa produksi pisang di Indonesia cukup besar. Misal pada tahun 2008, produksi pisang mencapai 5.454.226 ton. Sementara produksi pisang di propinsi Jawa Tengah pada tahun 2008 mencapai 831.158 ton (BPS, 2012). Tingginya potensi produksi buah pisang tidak sebanding dengan potensi kulit pisang yang dihasilkan. Selama ini limbah kulit pisang umumnya digunakan sebagai makanan ternak dan kadang hanya dibuang begitu saja menjadi sampah. Hal ini akan menimbulkan kerugian, karena kulit pisang akan terbuang sia-sia dan bahkan hanya menjadi limbah yang akan mengganggu masyarakat (Wahyudi, 2011).

Jenis pisang yang paling dominan di Indonesia adalah pisang kepok (*Musa acuminata*), khususnya di daerah Kalimantan Timur yang merupakan pemasok pisang kepok terbesar di Indonesia. Pisang ini diperdagangkan hingga antar pulau diseluruh Indonesia. Rata-rata produksi pisang kepok Kalimantan Timur dari tahun 2003 sampai dengan 2007 mencapai 69 ribu ton dengan pertumbuhan rata-rata 6,8% per tahun. Produksi pisang Kalimantan Timur pada tahun 2007 lebih dari 74 ribu ton (BPS Kalimantan Timur, 2008).

2.1.3 Kulit Buah Pisang Kepok

Pisang kepok dapat diolah menjadi berbagai jenis makanan, seperti pisang sale, keripik pisang, pisang goreng, pisang keju, kolak pisang, makanan bayi, tepung pisang dan lain-lain. Pemanfaatan pisang kepok yang cukup besar tersebut menghasilkan limbah kulit pisang yang jumlahnya besar pula (Susanti, 2006).



Gambar 2.2 Kulit Pisang Kepok (Dokumentasi Pribadi, 2014).

Kulit pisang merupakan bahan buangan (limbah buah pisang) yang cukup banyak jumlahnya. Pada umumnya kulit pisang belum dimanfaatkan secara nyata, hanya dibuang sebagai limbah organik saja atau digunakan sebagai makanan ternak seperti kambing, sapi, dan kerbau. Jumlah kulit pisang yang cukup banyak

akan memiliki nilai jual yang menguntungkan apabila bisa dimanfaatkan lebih dari sekedar makanan ternak (Susanti, 2006).

Pisang kepok termasuk pisang berkulit tebal (\pm 3-4 mm) dengan warna kuning yang menarik kalau sudah matang. Menurut Basse (2000) jumlah dari kulit pisang cukup banyak, yaitu kira-kira 1/3 dari buah pisang yang belum dikupas yang dapat dilihat pada tabel 2.2 hal 15. Kandungan unsur gizi kulit pisang cukup lengkap, seperti karbohidrat, lemak, protein, kalsium, fosfor, zat besi, vitamin B, vitamin C dan air.

Tabel 2.2. Komposisi Kimia Kulit Pisang Kepok

Unsur	Komposisi (%)
Kadar air	11,09
Kadar abu	4,82
Kadar Lemak	16,47
Kadar Protein	5,99
Kadar serat kasar	20,96
Kadar karbohidrat	40,74
Kadar selulosa	17,04
Kadar Lignin	15,36

Sumber: Hernawati dan Ariyani (2007)

Kadar selulosa dan kadar karbohidrat kulit pisang kepok cukup tinggi yaitu 17,36 % dan 40,74 %. Karbohidrat ini merupakan sumber karbon bagi pertumbuhan kapang. Selain karbohidrat, selulosa juga merupakan sumber karbon sekaligus senyawa penginduksi bagi sintesis enzim selulase. Sebagian besar bahan selulosa yang ditemui di alam mengandung tiga komponen utama yaitu selulosa, lignin dan hemiselulosa dengan perbandingan 4:3:3. Kandungan lignin pada kulit pisang kepok cukup sedikit yaitu 15,36 % (Lai *et al*, 2001).

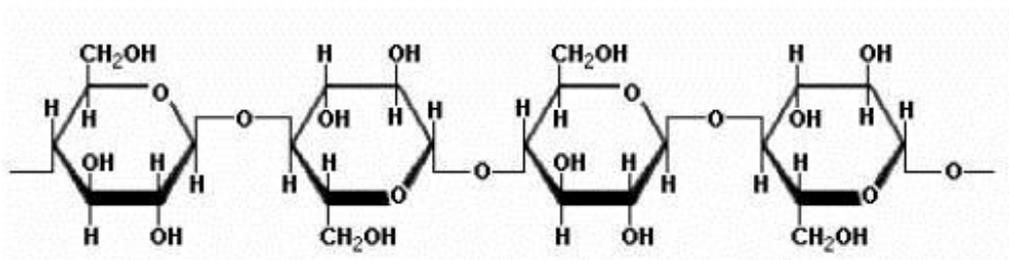
Analisis komposisi dari berbagai bagian tanaman pisang (termasuk kulit pisang kepok) yang dilakukan oleh Loesecke (2001), menunjukkan persentase kandungan K_2O tertinggi jika dibanding unsur lain terutama pada bagian tangkai dan kulit buah yaitu mencapai 14,28 % sedangkan unsur N (nitrogen) berada pada urutan kedua setelah unsur K (kalium). Menurut Meyer (1997), nitrogen merupakan unsur yang berperan pada pembentukan protein (enzim) dan kalium berperan dalam metabolisme tanaman termasuk pembentukan karbohidrat (KH).

2.2 Selulosa

Selulosa merupakan homopolisakarida dengan glukosa sebagai monomernya. Molekul selulosa berbentuk linier dan tak bercabang yang terdiri dari 10.000 sampai 15.000 unit D-glukosa. Ada dua tipe dasar selulosa yang terdapat di alam, yaitu pektoselulosa dan lignoselulosa. Contoh pektoselulosa seperti rami yang mengandung 80% selulosa dan contoh lignoselulosa adalah kenaf yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Sebagai senyawa utama penyusun dinding sel tanaman, selulosa mencakup sekitar 30% dari keseluruhan material tumbuhan (Lehninger, 2008).

Rantai selulosa terdiri dari satuan glukosa anhidrida yang saling berkaitan melalui atom karbon pertama dan keempat. Ikatan yang terjadi adalah ikatan β -1,4-glikosidik. Selulosa merupakan jenis polisakarida yang paling melimpah pada hampir setiap struktur tanaman. Kandungan selulosa pada kayu rata-rata 48-50% sedangkan pada bagas berkisar antara 50-55% dan pada kapas mencapai 85-90%. Molekul selulosa merupakan mikrofibril dari glukosa yang terikat satu dengan lainnya membentuk rantai polimer yang sangat panjang. Hidrolisis

sempurna selulosa akan menghasilkan monomer selulosa yaitu glukosa, dan hidrolisis tak sempurna akan menghasilkan disakarida dari selulosa yang disebut selobiosa. Secara singkat struktur selulosa dapat terlihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3. Struktur selulosa (Shofiyanto, 2008)

Selulosa memiliki 3 fasa yaitu α -Cellulose, β -Cellulose dan γ -Cellulose. α -Cellulose adalah selulosa berantai panjang, tidak larut dalam NaOH, larutan basa kuat dengan DP 600 – 1500, dipakai sebagai penduga atau penentu tingkat kemurnian selulosa. β -Cellulose merupakan selulosa berantai pendek, larut dalam NaOH atau basa kuat dan dapat mengendap bila dinetralkan sedangkan γ -Cellulose adalah selulosa dengan derajat polimerisasi lebih kecil dari β -Cellulose. α -Cellulose adalah kualitas selulosa yang paling tinggi (murni) dan memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan propelan dan bahan peledak. Sedangkan selulosa β dan γ digunakan sebagai bahan baku industri kertas, industri tekstil dan komponen alat olah raga (Pari, 2011). Selulosa dapat dikonversi menjadi produk-produk bernilai ekonomi yang lebih tinggi seperti glukosa, etanol dan pakan ternak dengan jalan menghidrolisis selulosa dengan bantuan selulase sebagai biokatalisator atau dengan hidrolisis secara asam/basa (Ariestaningtyas, 1991).

Iranmahboob *et al.*, (2002), menyebutkan bahwa selulosa secara alami diikat oleh hemiselulosa dan dilindungi oleh lignin. Adanya senyawa pengikat lignin inilah yang menyebabkan bahan-bahan lignoselulosa sulit untuk didegradasi bahkan tidak bisa ditembus air.

Tahapan terpenting untuk dapat mengolah selulosa adalah dengan melakukan perlakuan awal yang dikenal dengan *delignifikasi*. Tujuannya adalah untuk membuka struktur rapat dari bahan lignoselulosa agar air dan enzim selulosa dapat mencapai selulosa. Proses ini juga akan mempertegas perbedaan karakteristik selulosa, hemiselulosa dan lignin (Chen, *et.al.*, 2010).

Delignifikasi menurut Wiratmaja *et al.*, (2011), dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu:

1. Air panas atau kukus jenuh (160 – 250°C) : menyingkirkan sebagian hemiselulosa dan struktur lignin menjadi longgar. Cara ini lebih banyak dimanfaatkan oleh bahan lignoselulosa seperti jerami, bagas.
2. Larutan encer asam kuat (140 – 190°C): memiliki kesamaan efek dengan perendaman dalam air panas atau kukus jenuh. Proses lebih ringan karena ada penambahan asam penghidrolisis hemiselulosa.
3. Larutan/suspensi basa: Na/K-hidroksida/karbonat, kalsium hidroksida [Ca(OH)₂], amoniak (NH₄OH).
4. Pelarut organik Larutan akuatik zat-zat organik (etanol, butanol, fenol, dll), pada temperatur tinggi (mendekati 200°C), akan melarutkan lignin hampir utuh (relatif tak terdegradasi).

5. Aneka jamur pelapuk (white, brown, soft rot fungi). Lignin akan dimakan akan tetapi memerlukan waktu berbulan-bulan.

Seleksi bahan pada tahapan delignifikasi tetap mengedepankan aspek ekonomis dan kemudahan pelaksanaan di lapang. Bahan kimia yang dipilih umumnya mudah didapat dan harganya relatif murah, yaitu: menggunakan larutan encer NaOH, dengan keunggulannya :

1. Dapat dilakukan pada kondisi ruang (tidak memerlukan peralatan bertekanan dan bertemperatur tinggi)
2. Waktu yang dibutuhkan relatif singkat (beberapa jam)
3. Memisahkan lignin dengan tidak merusak strukrur lain
4. Lebih ekonomis .

Menurut penelitian Suparyana (2010), konsentrasi larutan NaOH 6% dan lama perendaman 12 jam dengan perbandingan substrat1:15 terhadap NaOH, menghasilkan serbuk ampas tebu terdelignifikasi terbaik dengan kadar selulosa, hemiselulosa, lignin, dan retensi air berturut-turut adalah 72,49, 9,09, 11,88, dan 15,90%.

2.3 Enzim Selulase

Enzim termasuk metabolit primer. Metabolit primer adalah produk akhir yang mempunyai berat molekul rendah dan dihasilkan pada fase eksponensial oleh mikroba (Mursyid, 2010). Metabolit primer dibutuhkan untuk pertumbuhan setiap mikroba (Gandjar, 2006)

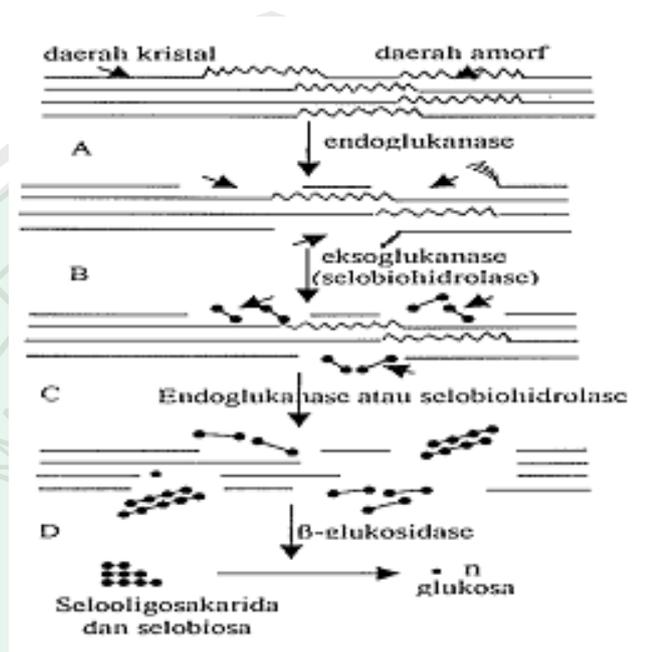
Selulase merupakan enzim yang berperan dalam proses biokonversi limbah-limbah organik berselulosa. Selulase adalah enzim kompleks yang

memotong secara bertahap rantai selulosa menjadi glukosa (Gerhartz, 1990). Menurut Belitz *et al* (2008), Selulase bekerja secara sinergis satu sama lain, termasuk dalam kelompok enzim hidrolase yang mengkatalisis reaksi hidrolisis pada substrat.

Selulase merupakan kumpulan dari beberapa enzim yang bekerja bersama untuk hidrolisis selulosa. Mikroorganisme tertentu menghasilkan partikel yang dinamakan selulosom. Partikel inilah yang akan terdisintegrasi menjadi enzim-enzim, yang secara sinergis mendegradasi selulosa (Belitz *et al*, 2008).

Sedikitnya ada tiga enzim yang terlibat dalam degradasi atau hidrolisis selulosa, yaitu endo- β -glukanase, ekso- β -glukanase, dan β -glukosidase. Endoglukanase atau Endo- β -1,4-glukanase bekerja lebih aktif pada selulosa amorf dan derivat terlarut seperti *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC), sehingga sering disebut enzim CMC-ase. Endoglukanase menghidrolisis ikatan β -1,4 glukosida secara acak pada rantai selulosa dan menghasilkan ujung rantai baru yang merupakan substrat untuk komponen enzim selulase yang kedua. Komponen enzim selulase kedua adalah eksoglukanase atau ekso- β -1,4-glukanase yang menghidrolisis bagian kristalin dari selulosa pada ujung pereduksi dan non pereduksi sehingga menghasilkan selobiosa dan glukosa. Enzim eksoglukanase memiliki aktivitas yang sangat tinggi pada substrat Avisel, sehingga sering disebut enzim aviselase. Komponen enzim selulase ketiga adalah β -1,4 glukosidase atau dikenal selobiase menghidrolisis selobiosa dan oligosakarida berantai pendek sehingga menghasilkan glukosa (Lynd *et al.*, 2002). Ketiga komponen enzim selulase tersebut memiliki spesifisitas terhadap bagian

tetentu dari substrat selulosa. Komponen-komponen tersebut bekerja bersama-sama dan secara bertahap menguraikan (hidrolisis) selulosa menjadi unit glukosa (Lynd *et al.*, 2002).



Gambar 2.4 Mekanisme hidrolisis selulosa oleh enzim selulase (Lynd *et al.*, 2002).

2.4 Kapang Penghasil Selulase

Kapang penghasil selulase umumnya merupakan pengurai karbohidrat dan tidak dapat memanfaatkan protein atau lipid sebagai sumber energi. Kapang menghasilkan enzim selulase ketika berada pada fase eksponensial (Gandjar, 2006). Menurut (Widjaja, 2009) kapang mengalami fase eksponensial ketika spora yang tumbuh memenuhi media. Menurut Safaria (2013), kapang *Trichoderma* sp. berada pada fase eksponensial ketika berumur 6 hari. Sedangkan kapang *Gliocladium* sp. dan *Botrytis* sp. berada pada fase eksponensial ketika berumur 7 hari.

Produksi enzim selulase secara komersial biasanya menggunakan kapang atau bakteri. kapang yang bisa menghasilkan selulase antara lain genus *Trichoderma*, *Aspergillus*, dan *Penicillium*. Sedangkan bakteri yang bisa menghasilkan selulase adalah *Pseudomonas*, *Cellulomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Cellovibrio*, dan *Sporosphytophaga* (Wahyudi, 2011).

Meskipun banyak mikroorganisme yang dapat mendegradasi selulosa, hanya beberapa mikroorganisme yang memproduksi selulase dalam jumlah yang signifikan yang mampu menghidrolisis selulosa kristalin. Kapang memiliki kemampuan memproduksi selulase yang mampu menghidrolisis selulosa kristalin yang merupakan komponen utama dalam selulosa alami (Nugraha, 2006).

Kelompok mikroorganisme terutama dari jenis kapang memiliki kemampuan untuk menghidrolisis selulosa alami melalui aktivitas selulase yang dimilikinya (Nugraha, 2006). Sebagian besar kapang merupakan mikroorganisme yang dianggap lebih baik dalam menghasilkan enzim ekstraseluler, termasuk selulase (Gianfreda dan Rao, 2004). Kapang bersifat heterotrof yang memerlukan senyawa organik termasuk selulosa sebagai sumber karbon dan energi (Rakhmawati, 2009).

2.4.1 Kapang *Trichoderma sp.*

Klasifikasi jamur *Trichoderma sp.* menurut Ismail (2010) adalah sebagai berikut:

Kingdom Fungi

Divisi Ascomycota

Class Deutromycetes

Ordo Moniliales

Famili Moniliaceae

Genus *Trichoderma*

Spesies *Trichoderma sp.*



Gambar 2.5 Kapang *Trichoderma sp.* (Ellis, 2014).

Trichoderma sp. adalah salah satu jamur tanah yang tersebar luas (kosmopolitan), yang hampir dapat ditemui di lahan-lahan pertanian dan perkebunan. *Trichoderma sp.* bersifat saprofit pada tanah, kayu, dan beberapa jenis bersifat parasit pada jamur lain. Pada spesies saprofit, kapang tumbuh pada kisaran suhu optimal 22-30°C (Mazur *et al.*, 2006). Suhu optimal untuk pertumbuhan kapang ini adalah 32-35°C. Suhu optimal untuk pertumbuhan *Trichoderma sp.* adalah 15-30°C dan maksimum 30°C-36°C (Gandjar, 1999).

Mazur *et al* (2006), juga menambahkan bahwa pH yang optimal untuk pertumbuhan *Trichoderma* sp. adalah sekitar 4,0.

Trichoderma sp. berkembang biak secara aseksual dengan membentuk spora diujung fialida atau cabang dari hifa (Mazur *et al.*, 2006). Ciri-ciri spesifik kapang *Trichoderma* sp. adalah mempunyai konidia, sterigmata, konidiofora, miselium bersepta . Kapang *Trichoderma* sp. mempunyai konidiofora bercabang banyak, ujung percabangannya merupakan sterigma, membentuk konidia bulat atau oval, berwarna hijau terang, dan berbentuk bola-bola berlendir (Fardiaz, 1989).

Trichoderma sp. merupakan mikroorganisme yang mempunyai potensi selulolitik karena menghasilkan enzim selulase pada substrat yang mengandung selulosa. Selulase yang dihasilkan kapang *Trichoderma* sp. memiliki komponen enzim yang lengkap yaitu C1 (*Selobiohidrolase*) yang aktif menghidrolisis selulase alam, Cx (*Endoglukanase*) yang aktif merombak selulosa terlarut seperti CMC (*Carboxil Methyl Cellulase*) dan B-glukosidase. Ketiga komponen ini bekerja sinergik dalam memecah kompleks substrat (Talanca, 2002).

Selain menghasilkan enzim selulase (pendegradasi selulase) miselium *Trichoderma* sp. juga dapat menghasilkan enzim kitinase (pendegradasi kitin). Oleh karena adanya enzim selulase, *Trichoderma* sp. dapat tumbuh secara langsung diatas kayu yang terdiri atas selulosa sebagai polimer dari glukosa. Oleh karena adanya kintinase, *Trichoderma* sp. dapat bersifat sebagai parasit bagi jamur yang lainnya (Talanca, 2002).

2.4.2 Kapang *Gliocladium* sp.

Klasifikasi jamur *Gliocladium* sp menurut Alexopaulus (1982) adalah:

Kingdom Fungi

Divisio Eumycota

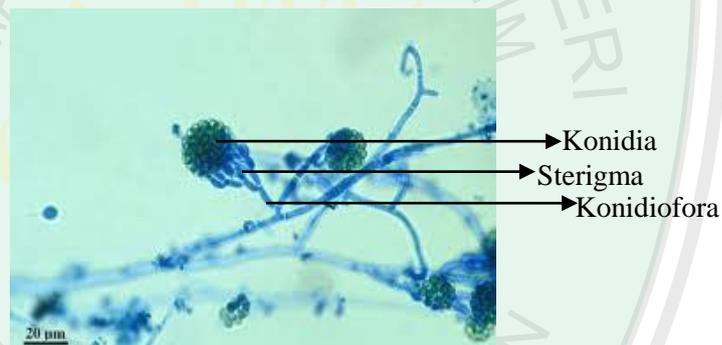
Kelas Hyphomycetes

Ordo Hyphomycetales

Famili Moniliaceae

Genus *Gliocladium*

Spesies *Gliocladium* sp.



Gambar 2.6 Kapang *Gliocladium* sp.(Ellis, 2014).

Gliocladium sp. mempunyai konidiofor tegak, bersepta bening dan tidak berwarna, pada cabang terakhir menghasilkan fialid dan kadang-kadang berbentuk botol. Fitur yang paling karakteristik dari genus ini adalah konidiofor tegak, hialin bersel satu dan konidia berdinding halus di kepala (Ramadhina, 2012). *Gliocladium* sp. digambarkan sebagai tiruan *Penicillium* dengan konidia berlendir. Koloni yang cepat tumbuh, memiliki tekstur berwarna putih pada awalnya, kadang-kadang merah muda, kemudian menjadi pucat sampai hijau tua dengan sporulasi (Howell, 2003).

Gliocladium sp. merupakan kapang yang bersifat selulolitik yang mampu mendekomposisi pektin, amilum, dan bahan-bahan organik lain, sehingga *Gliocladium* sp. dikenal sebagai cendawan pelapuk (Aktinidia, 2013). Menurut Nugroho (2010). *Gliocladium* isolat Riau mampu menghasilkan kitinase dan *N*-asetilglukosaminidase. Selain itu *Gliocladium* isolat Riau juga menghasilkan laminarinase. *Gliocladium* sp. dapat memarasit dan mematikan berbagai cendawan penyebab penyakit pada tanaman.

Kapang ini dapat ditemui pada tanah hingga kedalaman 80 cm yang memiliki kandungan bahan organik tinggi. Kapang ini hidup sebagai saprofit maupun parasit pada kapang lain, mampu mengkoloni batang atau ranting tanaman yang tertimbun tanah, serasah dedaunan, akar, buah, umbi, dan rizosfir tanaman (Aktinidia, 2013)

2.4.3 Kapang *Botrytis* sp.

Klasifikasi jamur *Botrytis* sp. menurut Mubarek (2009) adalah:

Kingdom Fungi

Divisi Ascomycota

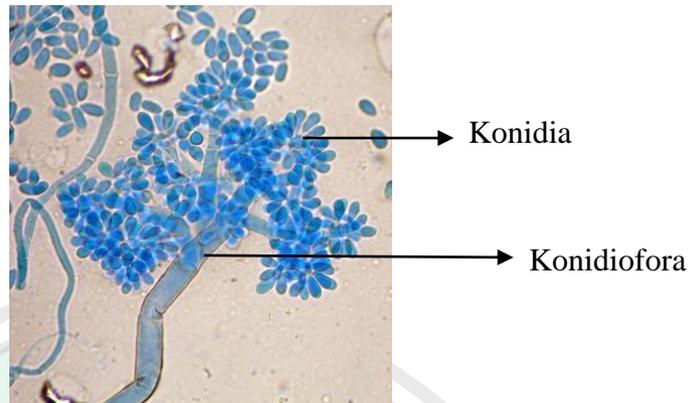
Kelas Leotiomyces

Ordo Leotiomyetales

Famili Moniliaceae

Genus *Botrytis*

Spesies *Botrytis* sp.



Gambar 2.7. Kapang *Botrytis sp.* (Ellis, 2014)

Koloni semula berwarna bening hingga putih, kemudian menjadi abu-abu hingga abu-abu kecoklatan. Konidiofor muncul tidak teratur tanpa pembengkakan basal, mempunyai panjang 750 μm hingga lebih dari 2 mm, mempunyai lebar 16-30 μm , pada bagian basis berwarna coklat, berdinding halus, dan pada bagian apikal terdapat percabangan. Konidia berbentuk obovoid, berwarna coklat pucat, berdinding halus, dan berukuran 8-14 μm . Pembentukan konidia umumnya simultan pada pembengkakan dari ujung percabangan konidiofor, dan membentuk sporangiola (Gandjar, 1999).

Botrytis adalah spesies yang paling parah menginfeksi lebih dari 200 spesies tanaman yang ditandai dengan adanya miselium yang berwarna abu-abu dan berair (Staats, 2004). *Botrytis* adalah agen penyebab penyakit botrytis atau kapang abu-abu. Spesies *Botrytis* terutama menyerang buah-buahan, semua jenis beri, dan bunga-bunga (Moore, 1996). Meskipun *Botrytis* sangat aktif pada suhu ruang, *Botrytis* juga memiliki kemampuan untuk bertahan hidup pada suhu 0°C yang membuatnya patogen berbahaya terhadap tanaman (Brooks, 1917).

Botrytis menghasilkan cairan ekstraseluler yang komposisinya terdiri dari 30 hingga 44% protein (Doss, 1995). Protein tersebut membentuk beberapa

enzim seperti selulase, pektinase, pektin methyl esterase, dan 7 polygalacturonase (Doss, 1999). Enzim yang dihasilkan oleh *Botrytis* dapat mendegradasi dinding sel tanaman.

Botrytis ini merupakan kapang yang tersebar luas, terutama didaerah yang lembab, dan dapat diisolasi dari tanah, lumpur, serta akar tanaman. Spesies ini kadang-kadang merupakan parasit fakultatif pada banyak tumbuhan, antara lain pada daun, bunga, dan buah dari tanaman *Asteraceae* dan *Liliaceae*. Spesies ini menyebabkan kerugian yang tidak sedikit pada tanaman ekonomi seperti anggur, strawberi, kobis, dan selada. Konidianya banyak terdapat di udara dan mudah menyebabkan kontaminan di laboratorium (Gandjar, 1999).

2.5 Aktivitas Enzim

Aktivitas enzim didefinisikan sebagai kecepatan pengurangan substrat atau kecepatan pembentukan produk pada kondisi optimum. Aktivitas selulase dinyatakan dalam satuan Unit (U/ml). Satu unit merupakan jumlah enzim yang dibutuhkan untuk memecah selulosa menjadi 1 μmol gula reduksi per menit pada kondisi pengujian (Anggrawati, 2012).

Aktivitas selulase didapat dengan menentukan kadar glukosa yang dihasilkan dari reaksi hidrolisis selulosa. Aktivitas enzim diuji menggunakan metode CMCase dalam satuan International Unit (IU) (Ibrahim, 2007).

Aktivitas enzim dihitung dengan menggunakan rumus (Anggrawati, 2012):

$$\text{Aktivitas selulase (U/ml)} = \text{konsentrasi glukosa sampel} \times \frac{1000}{v \times t \times \text{BM}}$$

$$\text{Absorbansi glukosa sampel : [(As - Ab) - (Ak - Ab)]}$$

Keterangan : As = Absorbansi sampel

Ab = Absorbansi blanko

Ak = Absorbansi kontrol

t = waktu inkubasi

V = volume enzim

BM = berat molekul glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) = 180

2.6 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Aktivitas Enzim

Kemampuan enzim dalam mempercepat reaksi dipengaruhi beberapa faktor yang menyebabkan enzim dapat bekerja dengan optimal dan efisien. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi aktivitas enzim adalah konsentrasi enzim, konsentrasi substrat, suhu, pH, senyawa inhibitor dan aktivator (Poedjiadi, 2006).

1. Konsentrasi Enzim

Seperti pada katalis lain, kecepatan suatu reaksi yang menggunakan enzim tergantung pada konsentrasi enzim tersebut. Pada konsentrasi substrat tertentu, kecepatan reaksi bertambah dengan bertambahnya konsentrasi enzim (Poedjiadi, 2006).

2. Konsentrasi Substrat

Pada konsentrasi substrat rendah, bagian aktif enzim ini hanya menampung substrat sedikit. Bila konsentrasi substrat diperbesar, makin banyak substrat yang dapat berhubungan dengan enzim pada bagian aktif tersebut. Dengan demikian konsentrasi kompleks enzim substrat makin besar dan hal ini menyebabkan makin besar kecepatan reaksi. Pada suatu batas konsentrasi substrat tertentu, semua bagian aktif telah dipenuhi oleh substrat atau telah jenuh dengan substrat. Dalam hal ini, bertambah besarnya konsentrasi substrat tidak menyebabkan bertambah besarnya konsentrasi kompleks enzim substrat, sehingga jumlah hasil reaksinya pun tidak bertambah besar (Poedjiadi, 2006).

3. Suhu

Suhu mempengaruhi aktivitas enzim. Pada suhu rendah, reaksi enzimatik berlangsung lambat, kenaikan suhu akan mempercepat reaksi, hingga suhu optimum tercapai dan reaksi enzimatik mencapai maksimum. (Wuryanti, 2004). Disamping itu, karena enzim itu adalah suatu protein, maka kenaikan suhu dapat menyebabkan terjadinya proses denaturasi. Apabila terjadi proses denaturasi, maka bagian aktif enzim akan terganggu dan dengan demikian konsentrasi efektif enzim menjadi berkurang dan kecepatan reaksinya pun akan menurun (Poedjiadi, 2006).

4. pH

Lehninger (1998) menyebutkan bahwa pH berpengaruh terhadap kecepatan aktivitas enzim dalam mengkatalis suatu reaksi. Setiap enzim memiliki pH optimum di mana pada pH tersebut struktur tiga dimensinya paling kondusif

dalam mengikat substrat. Bila konsentrasi ion hidrogen berubah dari konsentrasi optimal, aktivitas enzim secara progresif hilang sampai pada akhirnya enzim menjadi tidak fungsional. Selain itu pH rendah atau tinggi menyebabkan enzim terdenaturasi yang mengakibatkan menurunnya aktivitas enzim (Poedjiadi, 2006).

5. Pengaruh Inhibitor Dan Aktivator

Kerja enzim dapat terhalang oleh zat lain. Zat yang dapat menghambat kerja enzim disebut inhibitor. Ketika inhibitor berikatan dengan enzim maka akan menyebabkan penurunan kecepatan reaksi enzimatik. Zat penghambat atau inhibitor dapat menghambat kerja enzim untuk sementara atau secara tetap (Poedjiadi, 1992).

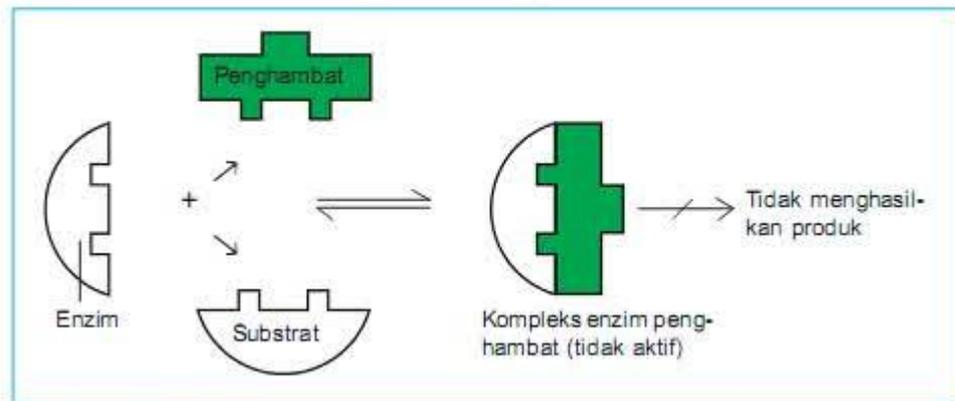
Inhibitor (hambatan) enzim dibagi menjadi dua, yaitu inhibitor reversibel dan inhibitor ireversibel.

A. Hambatan Reversibel

Hambatan reversible dapat berupa hambatan bersaing dan hambatan tidak bersaing.

1. Hambatan bersaing

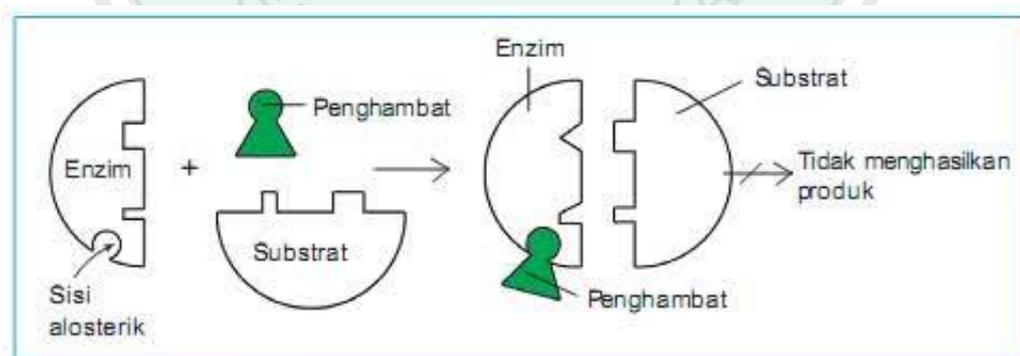
Hambatan ini disebabkan adanya molekul (inhibitor) yang mirip dengan substrat, sehingga terjadi persaingan antara inhibitor dengan substrat terhadap bagian aktif enzim. Inhibitor tersebut bersaing menghalangi terbentuknya kompleks enzim substrat (ES) dengan cara membentuk kompleks enzim inhibitor (EI) (Poedjiadi, 2006).



Gambar 2.8. Hambatan bersaing (Sukmana, 2012)

2. Hambatan Tidak Bersaing

Hambatan ini tidak dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi substrat dan inhibitor. Dalam hal ini inhibitor dapat bergabung dengan bagian enzim di luar bagian aktif. Penggabungan inhibitor dengan enzim bebas menghasilkan kompleks enzim inhibitor (EI), sedangkan penggabungan inhibitor dengan kompleks enzim substrat (ES) menghasilkan kompleks ESI (enzim substrat inhibitor). Baik kompleks EI maupun ESI bersifat inaktif (kedua kompleks tersebut tidak dapat menghasilkan hasil reaksi yang diharapkan (Poedjadi, 2006).



Gambar 2.9. Hambatan tidak bersaing (Sukmana, 2012)

B. Hambatan Ireversibel

Hambatan ireversibel terjadi karena inhibitor menggabungkan diri pada luar sisi aktif enzim. Sehingga bentuk enzim berubah dan sisi aktif enzim tidak

dapat berfungsi. Hal ini menyebabkan substrat tidak dapat masuk ke sisi aktif enzim. Hambatan ireversibel bersifat tetap dan tidak dapat dipengaruhi oleh konsentrasi substrat.

Selain inhibitor, terdapat juga aktivator yang mempengaruhi kerja enzim. Aktivator merupakan molekul yang mempermudah enzim berikatan dengan substratnya. Adanya aktivator yang berikatan dengan enzim dapat menyebabkan kenaikan kecepatan reaksi enzim (Whittaker, 1994).

2.7 Aplikasi Enzim Selulase

Beberapa jenis industri yang memanfaatkan enzim selulase diantaranya industri tekstil, makanan, deterjen, dan kertas.

1. Industri Tekstil

Selulosa telah menjadi kelompok enzim terbesar ketiga yang dimanfaatkan dalam industri semenjak dikenal. Selulase merupakan enzim yang paling sukses digunakan dalam pemrosesan tekstil basah, terutama bagian proses akhir tekstil berbasis selulosa, dengan tujuan meningkatkan kualitas. Selulase umumnya digunakan untuk *biostoning* bahan jeans dan *biopolishing* kapas dan fabrik selulosa lainnya. Selama proses *biostoning*, selulase bekerja pada fabrik kapas dan memutuskan fiber kecil pada permukaan tenunan, sehingga memudahkan pelepasan pewarna untuk menciptakan efek kabur atau luntur (Kuhad, 2011).

Selulase juga meningkatkan kelembutan dan sifat penyerapan air dari fiber, mengurangi kecenderungan pembentukan gumpalan dan menghasilkan struktur permukaan yang lebih bersih dengan sedikit bulu halus. Penyiapan selulase yang kaya dengan endoglukanase paling cocok untuk *biopolishing*

peningkatan penampilan, sentuhan dan warna fabrik tanpa perlu pelapisan dengan senyawa kimia lain. Aksi dari selulase dalam menghasilkan fiber kecil, bulu halus permukaan, menghasilkan tampilan yang licin dan mengkilap, serta meningkatkan kecerahan warna, hidrofilitas dan absorbansi kelembapan, dan proses yang lebih ramah lingkungan (Kuhad, 2011).

2. Industri Deterjen

Selulase tergolong unik dibandingkan dengan hidrolase lainnya di dalam deterjen, Jika enzim hidrolase lain seperti amilase dan lipase umumnya menyerang substrat yang terdapat pada kotoran atau noda, enzim selulase menghidrolisis selulosa pada kapas atau paduannya untuk memberi keuntungan dalam pencucian dan perawatan bahan. Aplikasi komersial enzim selulase dalam deterjen bermula pada tahun 1987, ketika salah satu produk deterjen menggunakan selulase alkalin dari *Bacillus* sp. Sejak 1991, sejumlah deterjen Eropa dan Amerika Utara juga melibatkan selulase. Selulase di dalam deterjen dapat membantu menjaga bahan kapas dan paduannya terlihat baru lebih lama dengan menghilangkan bulu halus yang terbentuk selama pemakaian. Dengan melepaskan fibril pada permukaan bahan, kotoran juga akan terlepas, sehingga selulase di sisi lain dapat memberikan efek pembersihan (Flickinger, 1999).

3. Industri Makanan dan Minuman

Selulase juga memiliki potensi yang besar dalam aplikasi bioteknologi makanan. Produksi jus buah dan sayur memerlukan pengembangan metode ekstraksi, klarifikasi, dan stabilisasi. Selulase memiliki aplikasi penting bersama-sama dengan xilanase dan pektinase yang digunakan dalam ekstraksi dan

klarifikasi jus buah dan sayuran untuk meningkatkan perolehan jus. Penggunaan enzim tersebut meningkatkan stabilitas dan tekstur cairan dan mengurangi viskositas sari buah tropis seperti mangga, pepaya, prem, dan pir (Sukumaran,2005).

4. Industri Kertas dan *pulp*

Aplikasi selulase dalam industri *pulp* dan kertas telah meningkat selama dekade terakhir. Proses *pulping* mekanik dengan menggunakan selulase dapat menghemat energi 20-40% selama *refining* dan meningkatkan kekuatan lembaran. Endoglukanase juga dapat mengurangi viskositas *pulp* dengan menurunkan derajat hidrolisis (Kuhad, 2011).

Selulase sendiri atau campurannya dengan xilanase dapat digunakan untuk proses *deinking* berbagai jenis limbah kertas. Aplikasi yang ada sekarang kebanyakan menggunakan fiber dengan hidrolisis parsial molekul karbohidrat. Keuntungan penggunaan enzim untuk proses *deinking* adalah mengurangi penggunaan alkali, meningkatkan kecerahan fiber, mempertahankan kekuatan kertas dan mengurangi partikel-partikel halus *pulp*. Akan tetapi penggunaan enzim untuk proses *deinking* tidak boleh berlebihan karena dapat mengurangi ikatan fiber antar fiber (Kuhad, 2011).

5. *Biofuel*

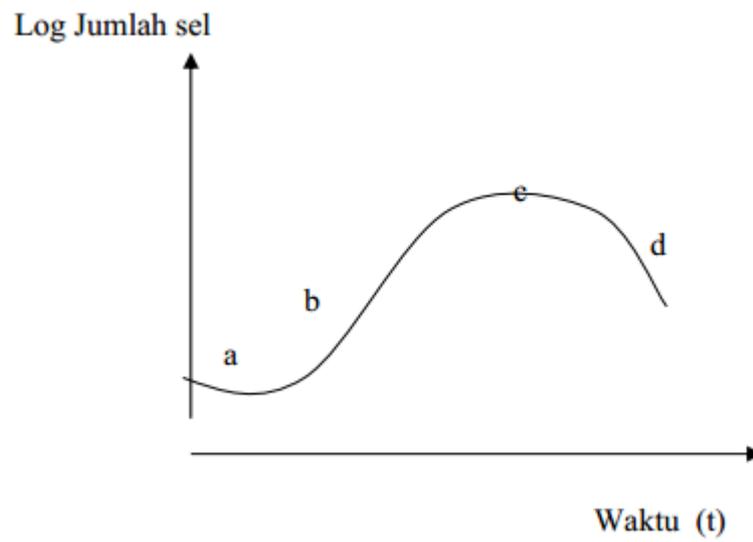
Penggunaan selulase untuk menghasilkan *biofuel* merupakan bidang yang paling populer dikembangkan saat ini terkait aplikasi selulase. Bahan lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) sangat berlimpah sehingga berpotensi besar menjadi sumber bioenergi yang murah. Mikroorganisme dengan

sistem selulase yang berpotensi untuk mengubah biomassa menjadi alkohol secara langsung juga telah banyak diteliti (Sukumaran, 2005).

Bioetanol merupakan salah satu biofuel yang hadir sebagai bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dan sifatnya yang terbarukan. Merupakan bahan bakar alternatif yang diolah dari tumbuhan yang memiliki keunggulan karena mampu menurunkan emisi CO₂ hingga 18%, dibandingkan dengan emisi bahan bakar fosil seperti minyak tanah. Bioetanol dapat diproduksi dari berbagai bahan baku yang banyak terdapat di Indonesia, sehingga sangat potensial untuk diolah dan dikembangkan karena bahan bakunya sangat dikenal masyarakat (Komarayati, 2010).

2.8 Pertumbuhan Mikroorganisme

Setiap mikroorganisme mempunyai kurva pertumbuhan. Kurva pertumbuhan kapang mempunyai beberapa fase, antara lain : (a) fase lag, yaitu fase penyesuaian sel-sel dengan lingkungan (b) fase eksponensial, merupakan fase perbanyakan jumlah sel, aktivitas sel sangat meningkat, dan fase ini merupakan fase yang penting bagi kehidupan kapang. Enzim yang dihasilkan oleh kapang juga diproduksi pada saat fase eksponensial. (c) fase stasioner, yaitu fase dimana jumlah sel yang bertambah dan jumlah sel yang mati relatif seimbang. Pada fase ini senyawa metabolit sekunder diproduksi (d) fase kematian dipercepat, jumlah sel-sel yang mati lebih banyak dari pada sel-sel yang masih hidup. Kurva pertumbuhan suatu fungi dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.10. Kurva pertumbuhan fungi
Keterangan: a. fase lag b. fase eksponensial c. fase stationer d. fase kematian
(Gandjar, 2006).

