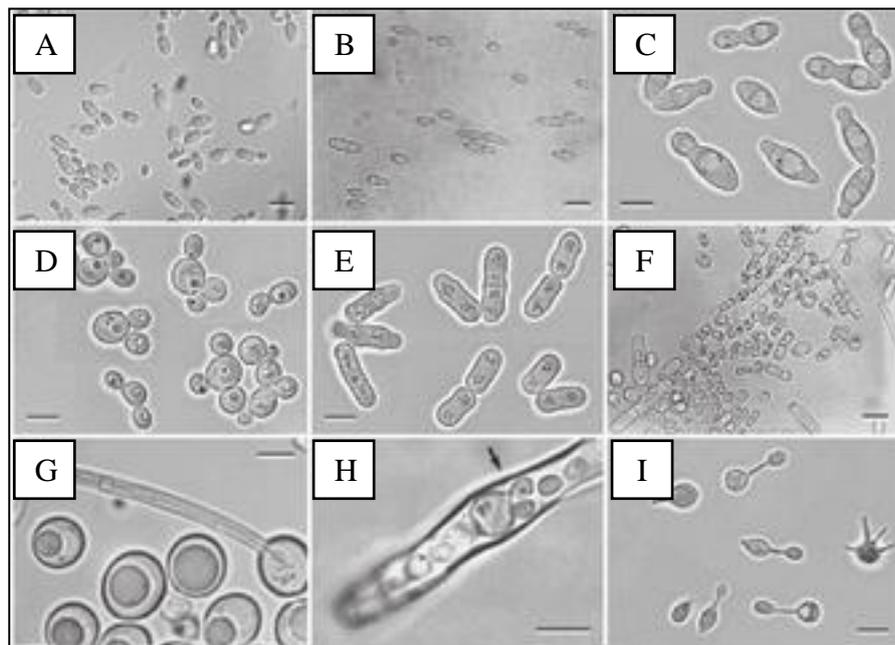


## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Khamir *Saccharomyces cerevisiae*

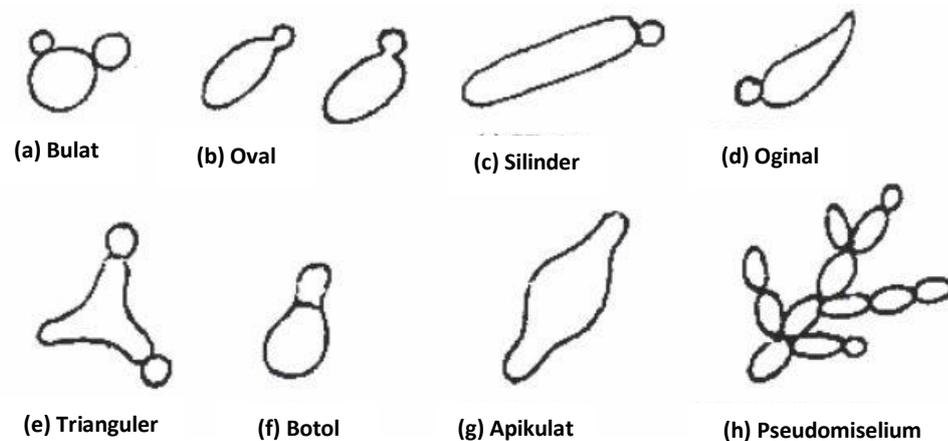
Khamir merupakan mikroorganisme golongan fungi yang berbentuk *uniseluler*, bersifat *eukariotik*, dan hidup sebagai saprofit atau parasit. Setiap sel Khamir memiliki ukuran yang beragam, dengan luas mulai dari 2-3  $\mu\text{m}$  hingga 20-50  $\mu\text{m}$ , panjang dan lebar mulai dari 1-10  $\mu\text{m}$ . Khamir dapat tumbuh pada larutan pekat misalnya larutan gula, asam dan garam. Khamir bersifat antimikroba sehingga dapat menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur. Khamir memiliki sifat tahan terhadap cekaman lingkungan, sehingga dapat bersaing dengan mikroorganisme lain (Widiastutik *et al.*, 2014). Reproduksi vegetatif khamir terutama dengan cara pertunasan (Gambar 1). Khamir mempunyai ukuran sel yang lebih besar, dan dinding sel yang lebih kuat daripada bakteri, serta tidak melakukan fotosintesis dan pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan ganggang atau alga. Jenis khamir yang merupakan produsen utama alkohol ialah *Saccharomyces cereviceae* (Rahmi, 2011).



Gambar 1. Pola perkembangbiakan aseksual khamir

Keterangan: A. Tunas polar; B. Tunas monopolar; C. Tunas bipolar; D. Tunas multilateral; E. Membelah diri; F. Artokonidia yang terbentuk dari membelah diri; G. Clamidospora; H. Endokonidia; I. Blastokonidia (Kurtzman *et al.*, 2011)

Sel khamir memiliki ukuran, bentuk, dan warna yang bervariasi. Umumnya khamir memiliki sel berbentuk bulat, semi bulat, oval, elips atau silindris seperti yang terlihat pada Gambar 2 (Hogg, 2005). Khamir dapat menghasilkan pigmen berwarna hitam, merah muda, merah, jingga, dan kuning (Kavanagh, 2005). Khamir dapat membentuk hifa palsu yang tumbuh menjadi miselium palsu (*pseudomycelium*), dan ada pula khamir yang dapat membentuk miselium sejati (*true mycelium*). Miselium palsu merupakan sel tunas khamir yang memanjang dan tidak melepaskan diri dari sel induknya, sehingga saling berhubungan membentuk rantai, misal pada *Candida* spp. dan *Pichia* spp. (Gandjar *et al.*, 2006).



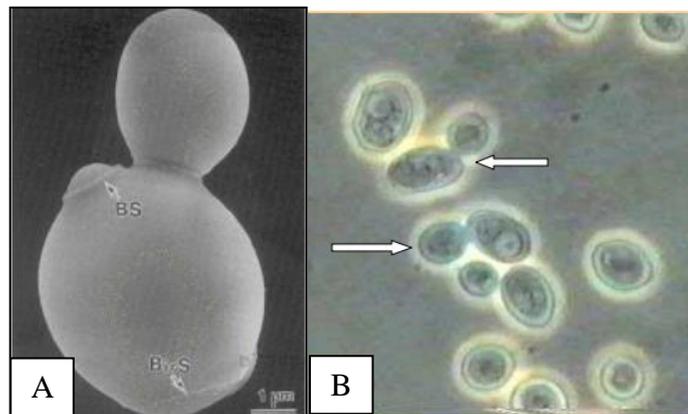
Gambar 2. Bentuk sel khamir (Hogg, 2005)

*Saccharomyces cerevisiae* merupakan mikrobia fakultatif aerob yang dapat menggunakan baik sistem aerob maupun anaerob untuk memperoleh energi dari proses pemecahan glukosa, tahan terhadap kadar gula yang tinggi dan tetap aktif melakukan aktifitasnya pada suhu 28-32 °C (Kartika *et al.*, 1992). Sel berbentuk silindris, dengan ukuran sel 5-20  $\mu\text{m}$ , dan biasanya 5-10 kali lebih besar dari ukuran bakteri. Khamir ini bersifat non-patogenik dan non-toksik sehingga banyak digunakan dalam berbagai proses fermentasi seperti pembuatan roti dan alkohol (Buckle *et al.*, 2007).

Menurut Yarow (1984) tingkatan taksonomi *Saccharomyces cerevisiae* adalah Kingdom: Fungi, Filum: Ascomycota, Sub Filum: Saccharomycotina, Kelas: Saccharomycetes, Ordo: Saccharomycetales, Famili: Saccharomycetaceae, Genus: *Saccharomyces* dan Spesies: *Saccharomyces cerevisiae*.

Khamir *Saccharomyces cerevisiae* tumbuh optimum pada kondisi lingkungan dengan pH optimum 4-5, suhu 28-30 °C, dan membutuhkan oksigen pada awal pertumbuhannya (Hidayat *et al.*, 2006). Sifat utama khamir adalah memiliki toleransi yang tinggi terhadap alkohol sehingga umum digunakan dalam proses fermentasi (Crueger, 1990). Beberapa jenis *Saccharomyces* mampu memproduksi etanol hingga 13,01%. Hasil ini lebih bagus dibanding marga lainnya seperti *Candida* dan *Trochosporon* (Ikram, 2005).

Khamir jenis *Saccharomyces cerevisiae* sangat mudah ditumbuhkan dan membutuhkan nutrisi yang sederhana, laju pertumbuhannya sangat cepat dan stabil, dan aman digunakan sebagai *food grade organism*. Dengan karakteristik tersebut *S. cerevisiae* lebih banyak berperan dalam pembuatan roti dibandingkan jenis khamir lainnya (Arnata, 2009).



Gambar 3. Kenampakan mikroskopik sel khamir *Saccharomyces cerevisiae*  
Keterangan: A. Sel khamir yang melakukan pertunasan; B. Koloni sel khamir dibawah mikroskop (Walker, 2011)

### 1.2 Peran Khamir *S. cerevisiae* dalam Pengendalian Hayati

Mikroba telah banyak dikembangkan dalam pengendalian penyakit tanaman sebagai agens hayati. Agens pengendalian hayati potensial meliputi mikroorganisme antagonis, metabolik toksik yang merupakan metabolit-metabolit sekunder tanaman, dan manipulasi tanaman inang. Mikroorganisme antagonis dapat langsung menghambat patogen dengan sekresi antibiotik, berkompetisi dengan patogen terhadap makanan atau tempat, menginduksi proses ketahanan dalam inang serta langsung berinteraksi dengan patogen. Mekanisme penghambatan agens pengendali hayati adalah cara kerja agens pengendali hayati di dalam mengendalikan patogen tanaman. Cara kerja yang dilakukan oleh agens pengendali hayati tersebut biasanya menggunakan hasil

metabolisme sekunder yang berupa antibiotik, toksin, enzim, atau hormon, serta tanpa melibatkan hasil metabolit sekunder tersebut misalnya parasitisme (Fitriati *et al.*, 2013).

Khamir *S. cerevisiae* dapat digunakan dalam menekan ancaman patogen tular pada benih. Pemanfaatan mikroba dalam biopestisida merupakan langkah awal dalam mewujudkan pertanian yang berwawasan lingkungan. Khamir *S. cerevisiae* menghasilkan etanol, enzim  $\beta$ -1,3-glucanase, chitinase, peroxidase, ethyl acetate, senyawa volatile yang bersifat antijamur, toksin dan antibiotik (Saksena *et al.*, 1987; Wilson dan Wisniewski, 1994; Ippolito *et al.*, 2000; Rojas *et al.*, 2001; El Ghaouth *et al.*, 2003). Passoth dan Schnurer (2003) menyatakan bahwa mekanisme penghambatan agens hayati khamir *S. cerevisiae* dalam menekan pertumbuhan patogen adalah melalui mekanisme parasitisme. Parasitisme ditunjukkan dengan melekatnya sel khamir *S. cerevisiae* secara kuat pada miselium jamur (Wisniewski *et al.*, 1991). Druvefors (2005) dan Droby *et al.*, (1991) juga menyatakan bahwa khamir *S. cerevisiae* dapat digunakan sebagai agens penginduksi respon pertahanan inang. Dalam kompetisi ruang, khamir *S. cerevisiae* dibantu oleh kapsul yang membentuk polisakarida ekstra seluler yang digunakan untuk melekat pada bagian permukaan tanaman. Kecepatan berkembangbiak dan berkolonisasi sangat menentukan keberhasilan khamir *S. cerevisiae* dalam kompetisi nutrisi (Piano *et al.*, 1997). Beyagoub *et al.*, (1996) mengemukakan bahwa khamir *S. cerevisiae* mempunyai daya antagonisme terhadap *Pythium aphanidermatum* penyebab penyakit rebah kecambah.

### 2.3 Limbah Cair Tahu

Limbah industri tahu pada umumnya dibagi menjadi 2 bentuk limbah, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat pabrik pengolahan tahu berupa kotoran hasil pembersihan kedelai (batu, tanah, kulit kedelai, dan benda padat lain yang menempel pada kedelai) dan sisa saringan bubur kedelai yang disebut dengan ampas tahu. Limbah padat yang berupa kotoran berasal dari proses awal (pencucian) bahan baku kedelai dan umumnya limbah padat yang terjadi tidak begitu banyak (0,3% dari bahan baku kedelai). Sedangkan limbah padat yang berupa ampas tahu terjadi pada proses penyaringan bubur kedelai. Ampas tahu yang terbentuk besarnya berkisar antara 25-35% dari produk tahu yang dihasilkan (Rossiana, 2006).

Limbah cair pada proses produksi tahu berasal dari proses perendaman, pencucian kedelai, pencucian peralatan proses produksi tahu, penyaringan dan pengepresan/pencetakan tahu. Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut dengan air dadih (*whey*). Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Limbah ini sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menghasilkan bau busuk dan mencemari lingkungan. Menurut Lisnasari (1995), jumlah kebutuhan air proses dan jumlah limbah cair yang dihasilkan dilaporkan berturut-turut sebesar 45-43,5 liter untuk tiap kilogram bahan baku kacang kedelai.

Tabel 1. Baku mutu air limbah tahu (Lisnasari, 1995)

No.	Parameter	Industri Tahu	
		Kadar Max (mg/lt)	Beban Pencemaran Max (kg/ton kedelai)
1.	Temperatur	38°C	-
2.	BOD	150	3
3.	COD	275	5,5
4.	TJK	100	2
5.	Ph	6,0-9,0	
6.	Debit Max		20 m <sup>3</sup> /ton kedelai

Karakteristik buangan industri tahu meliputi dua hal, yaitu karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi padatan total, padatan tersuspensi, suhu, warna, dan bau. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas. Suhu air limbah tahu berkisar 37-45 °C, kekeruhan 535-585 FTU, warna 2.225-2.250 Pt.Co, amonia 23,3-23,5 mg/1, BOD5 6.000-8.000 mg/1 dan COD 7.500-14.000 mg/1 (Herlambang, 2002).

Suhu buangan industri tahu berasal dari proses pemasakan kedelai. Suhu limbah cair tahu pada umumnya lebih tinggi dari air bakunya, yaitu 40-46 °C. Suhu yang meningkat di lingkungan perairan akan mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lain, kerapatan air, viskositas, dan tegangan permukaan. Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam buangan industri tahu pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik di dalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat dan lemak. Protein mencapai 40-60%, karbohidrat 25-50% dan lemak 10%. Air buangan industri tahu kualitasnya bergantung dari proses yang digunakan. Apabila air prosesnya baik, maka kandungan bahan organik pada air buangannya biasanya rendah.

Komponen terbesar dari limbah cair tahu yaitu protein (N-total) sebesar 226,06-434,78 mg/l, sehingga masuknya limbah cair tahu ke lingkungan perairan akan meningkatkan total nitrogen di perairan tersebut (Herlambang, 2002).

Tabel 2. Kandungan limbah cair tahu (Lisnasari, 1995)

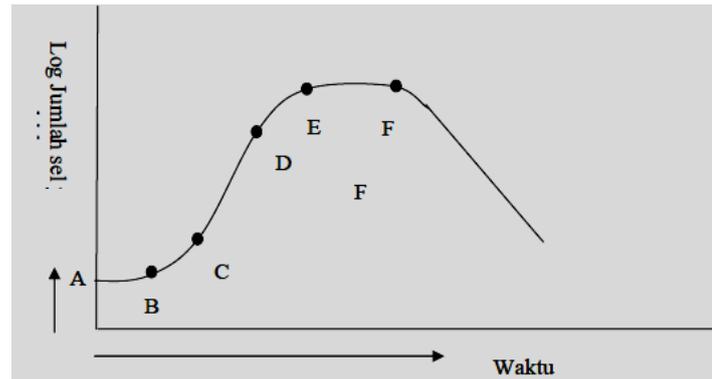
Senyawa	Kadar (mg/L)
Pb	0,24
Ca	34,1
Fe	0,19
Cu	0,12
Na	0,59

Triyanto (2008) mengemukakan bahwa penyimpanan limbah cair tahu mempunyai peranan yang baik terhadap komposisi unsur hara karena pada proses penyimpanan ini terjadi proses dekomposisi yang menyebabkan mikroorganisme yang hidup dalam limbah cair tahu dapat berkembang. Dekomposisi zat organik dalam lingkungan anaerobik hanya dapat dilakukan oleh mikroorganisme yang dapat menggunakan molekul selain oksigen sebagai akseptor hidrogen.

#### **2.4 Perkembangbiakan Khamir dalam Media Limbah Cair Tahu**

Khamir diperlukan untuk menguraikan bahan organik yang ada di dalam limbah cair tahu. Oleh karena itu, diperlukan jumlah khamir yang cukup untuk menguraikan bahan-bahan tersebut. Khamir itu sendiri akan berkembang biak apabila jumlah makanan yang terkandung didalamnya cukup tersedia, sehingga pertumbuhan khamir dapat dipertahankan secara konstan (Mahreni, 2011).

Dalam memanipulasi mikroorganisme tersebut diperlukan kondisi lingkungan yang sesuai bagi persyaratan hidupnya. Faktor-faktor lingkungan yang dimaksud meliputi faktor abiotik, misalnya temperatur, pengeringan, tekanan osmose, ion-ion dan listrik, tegangan muka, getaran, tekanan hidrostatis dan mekanik, radiasi. Sedangkan faktor biotiknya yaitu bentuk, sifat, penyebaran dan kemampuan mikroorganisme serta sistem kehidupannya (simbiose, antisimbiose).



Gambar 4. Fase pertumbuhan mikroorganisme (Volk dan Wheeler, 1998)

Fase pertumbuhan mikroorganisme dibagi menjadi beberapa tahap yaitu tahap istirahat yang dikenal dengan fase laten (Fase A-B), selanjutnya disebut fase lambat (*lag phase*). Fase lag adalah fase pertumbuhan awal, fase ini juga merupakan fase penyesuaian, seringkali disebut fase adaptasi. Waktu yang dibutuhkan pada fase lag sangat bervariasi tergantung pada spesies, umur dari sel, ukuran inokulum dan kondisi media tumbuh. Apabila sel tumbuh didalam medium yang kekurangan nutrisi maka waktu fase lag lebih lama, karena sel harus menghasilkan enzim yang sesuai dengan jenis nutrisi yang ada. Apabila sel dipindahkan dari media yang mempunyai konsentrasi nutrisi tinggi ke konsentrasi nutrisi rendah, biasanya tidak melalui fase lag. Parameter lain yang mempengaruhi waktu fase lag adalah ukuran inokulum. Apabila sel dengan ukuran kecil ditumbuhkan dalam media yang volumenya besar, sel akan mengalami fase lag yang lama (Lee, 1992). Pada tahap ini mikroorganisme akan hidup terus tetapi belum dapat berkembangbiak dengan baik. Waktu yang dibutuhkan yaitu untuk kegiatan metabolisme untuk persiapan dan penyesuaian dengan kondisi lingkungan, setelah itu baru diikuti dengan pembiakan.

Fase B-C dinamakan tahap tumbuh (*accelerate phase*), yaitu setelah mikroorganisme beradaptasi dengan keadaan yang baru, kemudian sel-sel mikroorganisme akan tumbuh dan membelah diri. Fase C-D yaitu tahap pertumbuhan ganas (*log phase*). Fase ini disebut dengan fase pertumbuhan logaritmik karena jumlah sel meningkat secara logaritmik. Fase D-E adalah tahap pertumbuhan mereda (*decelerate phase*). Pada tahap ini pertumbuhan mikroorganisme mulai menurun karena persediaan makanan mulai berkurang atau kalau adanya racun dari metabolisme mikroorganisme itu sendiri. Fase E-F disebut periode pertumbuhan tetap (*stationary phase*). Jumlah mikroorganisme yang tumbuh seimbang dengan yang mati sebagai kelanjutan dari menurunnya

jumlah bahan gizi atau penimbunan racun. Kecepatan pertumbuhan menurun dan akhirnya pertumbuhan terhenti. Sel-sel mikroorganisme pada periode ini umumnya lebih tahan terhadap perubahan-perubahan kondisi fisik seperti suhu tinggi, suhu rendah, penyinaran atau radiasi serta berbagai bahan kimia (Nakase *et al.*, 1998).

Fase F dan seterusnya disebut fase menurun (*decline phase*) atau periode kematian (*death phase*). Sel-sel yang berada dalam periode pertumbuhan tetap akhirnya akan mati. Kecepatan kematian beragam tergantung pada spesies mikroorganisme dan kondisi lingkungan (Rizal dan Hariyadi, 1993).

## 2.5 Fermentasi oleh *Saccharomyces cerevisiae*

Fermentasi adalah suatu aktivitas mikroba dalam kondisi anaerob. Faktor yang dapat berpengaruh dalam fermentasi adalah lama fermentasi. Lama fermentasi dapat berpengaruh secara langsung dan tidak langsung. Lama fermentasi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu substrat, suhu, pH, oksigen, karbondioksida, dan mikroorganisme yang digunakan (Kunaepah, 2008).

Azizah *et al.*, (2012) menyebutkan bahwa faktor-faktor yang dapat mempengaruhi lama fermentasi oleh khamir dijelaskan sebagai berikut:

### 1. Substrat fermentasi

Substrat merupakan bahan baku fermentasi yang mengandung nutrisi-nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroba untuk tumbuh maupun menghasilkan produk fermentasi. Nutrisi yang paling dibutuhkan oleh mikroba baik untuk tumbuh maupun menghasilkan produk fermentasi adalah karbohidrat. Karbohidrat merupakan sumber karbon yang berfungsi sebagai penghasil energi bagi mikroba, sedangkan nutrisi lain seperti protein dibutuhkan dalam jumlah sedikit daripada karbohidrat (Azizah *et al.*, 2012).

Khamir membutuhkan glukosa sebagai sumber karbon untuk pertumbuhannya. Pemanfaatan suatu senyawa karbon menjadi salah satu penciri genus khamir. Pemanfaatan glukosa oleh khamir akan menghasilkan produk samping berupa alkohol dan karbondioksida (Kurtzman *et al.*, 1998). Karbohidrat akan dikonversi menjadi gula dan dikonversi kembali menjadi alkohol dan karbondioksida dengan bantuan enzim. *S. cerevisiae* diketahui mampu mengonversi gula menjadi alkohol karena adanya enzim *invertase* dan *zymase*. Enzim *invertase* digunakan untuk menghidrolisis *disakarida* menjadi

*monosakarida*. Enzim *zymase* digunakan untuk mengubah *monosakarida* menjadi alkohol dan karbondioksida. Alkohol yang dihasilkan dalam fermentasi hanya berasal dari glukosa.

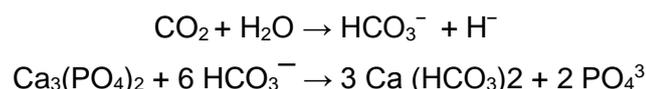
## 2. Suhu

Suhu fermentasi mempengaruhi lama fermentasi karena pertumbuhan mikroba dipengaruhi suhu lingkungan fermentasi. Mikroba memiliki kriteria pertumbuhan yang berbeda-beda yang salah satunya dipengaruhi oleh suhu. *Saccharomyces cerevisiae* memiliki kisaran suhu pertumbuhan antara 20-30 °C, dan dapat tumbuh optimal pada suhu 30-35 °C serta dapat memproduksi alkohol dalam jumlah optimal pada suhu 33 °C (Fardiaz, 1992; Kumalasari, 2011). Suhu yang terlalu rendah dapat berpengaruh pada lambatnya fermentasi, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat berpengaruh pada kematian *S. cerevisiae* sehingga fermentasi akan terhenti bahkan tidak berlangsung.

## 3. Derajat keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor penting yang perlu untuk diperhatikan pada saat proses fermentasi. Nilai pH dalam substrat fermentasi dapat dipengaruhi pula oleh produk samping yang dihasilkan suatu jenis mikroba. Khamir dalam melakukan fermentasi dapat menghasilkan produk samping berupa alkohol dan karbondioksida. Karbondioksida merupakan hasil respirasi oleh sel khamir, sehingga perubahan pH pada substrat fermentasi dapat menjadi indikator adanya metabolisme sel (Kartohardjono *et al.*, 2007).

pH akan menurun dengan cepat pada awal dilakukan inkubasi dan perlahan akan menurun pada akhir inkubasi. Penurunan pH dapat dipicu adanya produksi asam organik seperti *sitrat*, *propionat*, dan *laktat* yang merupakan hasil metabolisme glukosa (Nakase *et al.*, 1998). Penurunan pH yang terjadi selama fermentasi bahan organik oleh khamir mengakibatkan adanya *fosfat* terlarut dalam substrat. Selain itu, karbondioksida yang terlarut dalam air juga akan berkontribusi dalam keasaman suatu media fermentasi. Hal ini dijelaskan oleh Kanti (2006) sebagai berikut:



## 4. Oksigen dan Karbondioksida

Oksigen secara tidak langsung mempengaruhi lama fermentasi yang dilakukan oleh *S. cerevisiae*. *Saccharomyces cerevisiae* dapat tumbuh dengan

baik pada kondisi aerob, tetapi untuk melakukan proses fermentasi alkohol, dibutuhkan kondisi anaerob. Pada kondisi aerob, *S. cerevisiae* menghidrolisi gula menjadi air dan CO<sub>2</sub>. Tetapi dalam keadaan anaerob gula akan diubah oleh *S. cerevisiae* menjadi alkohol dan CO<sub>2</sub> (Azizah *et al.*, 2012).

Karbondioksida sebagai produk samping fermentasi oleh *S. cerevisiae* dapat dihasilkan lebih cepat apabila fermentasi berlangsung pada kondisi aerob. Semakin lama waktu fermentasi maka semakin banyak produksi karbondioksida yang dihasilkan, namun semakin sedikit alkohol yang diproduksi. Hal ini dikarenakan adanya gas karbondioksida selama fermentasi dapat menghentikan pertumbuhan khamir, namun khamir tetap masih dalam keadaan hidup. Khamir dapat menghasilkan alkohol kembali apabila karbondioksida dihilangkan. Oleh karena itu, oksigen dan karbondioksida dapat berpengaruh pada lama fermentasi (Azizah *et al.*, 2012).

#### 5. Jenis Mikroorganisme

Jenis mikroorganisme sangat berpengaruh pada fermentasi karena peranannya sebagai perombak bahan organik. Fermentasi alkohol umumnya menggunakan mikroorganisme golongan khamir karena kemampuannya yang dapat mengonversi gula menjadi alkohol dengan adanya enzim *zymase*. Jenis khamir yang berbeda akan berpengaruh pada produk hasil fermentasi yang berbeda pula. Hal ini juga dipengaruhi oleh waktu yang dibutuhkan suatu khamir dalam menghasilkan suatu produk. *S. cerevisiae* dapat mengonversi gula lebih cepat dari pada *Kluyveromyces fragilis*. *S. cerevisiae* dapat menghasilkan alkohol hingga 2% dalam waktu 72 jam, sedangkan *K. fragilis* membutuhkan waktu hingga 1 minggu untuk dapat memproduksi alkohol hingga 2%. *S. cerevisiae* lebih banyak menggunakan glukosa sebagai sumber karbonnya dibandingkan dengan *galaktosa* (Rubio *et al.*, 2005).

### 2.6 Tanaman Jagung

Jagung (*Zea mays* L.) merupakan tanaman semusim dari kelompok monokotil, termasuk famili Poaceae, genus *Zea*, dan spesies *Zea mays* L. Jagung memiliki bunga jantan yang tumbuh sebagai perbungaan ujung (*tassel*) pada batang utama (poros atau tangkai) dan bunga betina yang tumbuh terpisah sebagai perbungaan samping (tongkol) yang berkembang di ketiak daun. Batang tanaman jagung memiliki jumlah ruas yang bervariasi mulai dari 10 hingga 40 ruas. Batang jagung umumnya tidak bercabang. Panjang batang tanaman jagung

antara 60-300 cm bahkan lebih tergantung jenis dan tipe jagung dan terbungkus oleh pelepah daun yang berselang-seling. Tunas dari batang jagung yang sudah berkembang menghasilkan tajuk bunga betina (Rubatzky *et al.*, 1998). Menurut Singh (1987), jumlah buku pada batang tanaman jagung antara 10-20 buku per tanaman, dimana pada buku ke-6 atau ke-7 terdapat tongkol jagung. Daun tanaman jagung disebut lidah daun atau ligula yang terletak melingkupi batang pada ujung pelepah dengan lembar daun berselang-seling. Daun jagung memiliki lebar seragam dan tulang daun yang terlihat jelas, dengan banyak tulang daun kecil sejajar dengan panjang daun. Biji jagung berkeping tunggal, berderet rapi pada tongkolnya antar 10-14 deret biji jagung dan terdiri dari 200-400 butir biji jagung setiap tongkolnya (Suprpto dan Marzuki 2005). Biji jagung terdiri atas tiga bagian utama yaitu kulit biji (*seed coat*), endosperm, dan embrio.

Tanaman jagung merupakan salah satu jenis tanaman pangan yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan menjadi tanaman pangan nomor tiga terpenting di dunia setelah gandum dan padi. Menurut Krisnamurthi (2010), jagung merupakan tanaman pangan penting dikarenakan jagung mengandung banyak sumber mineral yang diperlukan oleh tubuh antara lain fosfor, magnesium, mangan, seng, besi, tembaga dan selenium. Jagung dimanfaatkan sebagai sumber karbohidrat utama dan sumber pangan alternatif. Jagung juga dimanfaatkan sebagai pakan ternak (biji maupun tongkolnya), minyak jagung, dibuat menjadi olahan tepung, dan sebagai bahan baku industri (Santosa *et al.*, 2011).

## **2.7 Patogen Tular Benih jagung**

Penyakit benih merupakan interaksi antara inang yang rentan, patogen virulen, lingkungan yang mendukung, dan agens penyebar, yang menghasilkan tanda penyakit dan gejala penyakit tanaman inang. Infeksi patogen pada benih berpotensi menyebabkan penyakit pada saat perkecambahan atau tanaman dewasa, sehingga tanaman sakit kembali menghasilkan benih yang terinfeksi patogen atau disebut patogen tular benih atau *seed transmitted*. Patogen terbawa benih antara lain bakteri, cendawan, virus, nematoda, atau mikroorganisme lainnya yang dapat masuk atau terbawa pada benih (Hanif, 2015).

Patogen terbawa benih mempunyai arti penting dari budidaya tanaman karena dapat mengurangi hasil produksi tanaman, menurunkan daya kecambah dan vigor benih, menyebabkan penyakit tanaman di lapang, perubahan bentuk

dan warna benih, perubahan biokimia benih, dan perubahan sifat fisik benih. Penyakit terbawa benih dapat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Patogen terbawa benih dapat menyebabkan benih busuk, nekrosis pada benih, penurunan daya perkecambahan, serta kerusakan bibit yang mengakibatkan pengembangan penyakit pada tahap akhir dari pertumbuhan tanaman oleh infeksi sistemik atau lokal. Benih merupakan wahana yang sangat efektif untuk membawa dan menyebabkan patogen penyakit tanaman. Selain itu, cendawan yang tumbuh di substrat benih menghasilkan mikotoksin yang berbahaya bagi manusia dan hewan (Naqvi *et al.*, 2013).

Penyakit tanaman jagung yang disebabkan oleh cendawan terbawa benih jagung diantaranya *Fusarium* sp. penyebab busuk batang, penyakit gosong, bercak daun, hawar daun, dan juga layu. Selain itu juga dilaporkan cendawan patogen penyebab penyakit antraknosa, *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Nigrospora* sp., *Botryodiplodia* sp., cendawan penyebab penyakit embun tepung, *Acremonium* sp., dan *Alternaria* sp. (Adjei, 2011). Berdasarkan data Badan Pemeriksaan dan Sertifikasi Benih Sumatera Utara (BPSB, 2013), cendawan patogen terbawa benih yang menginfeksi benih jagung di daerah Sumatera Utara adalah *Fusarium moniliforme* J. Sheld, *Cercospora acremonium*, *Bipolaris maydis* Y. Nisik dan C. Miyake, dan *Phoma* sp.