

2. TINJAUAN PUSTAKA

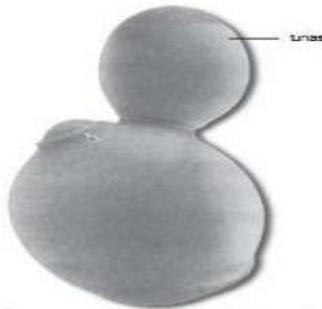
2.1 Khamir

2.1.1 Morfologi khamir

Khamir merupakan fungi uniseluler yang memiliki ukuran sel dengan panjang sekitar 2-3 μm hingga 20-50 μm dan lebar 1-10 μm , tidak berflagel, (Kavanagh, 2005). bereproduksi secara aseksual yaitu dengan pertunasan (*budding*), pseudohifa, hifa sejati, konidia bertangkai pendek (*sterigmata*), kladospora, atau ballistokonidia (Gandjar *et al.*, 2006). Sel khamir memiliki komponen berupa: dinding sel (CW), membran sel (CM), lipatan membran sel (CMI), tunas (BS), mitokondria (M), nukleus (N), vakuola (V), dan retikulum endoplasma (ER) (Walker, 2011).

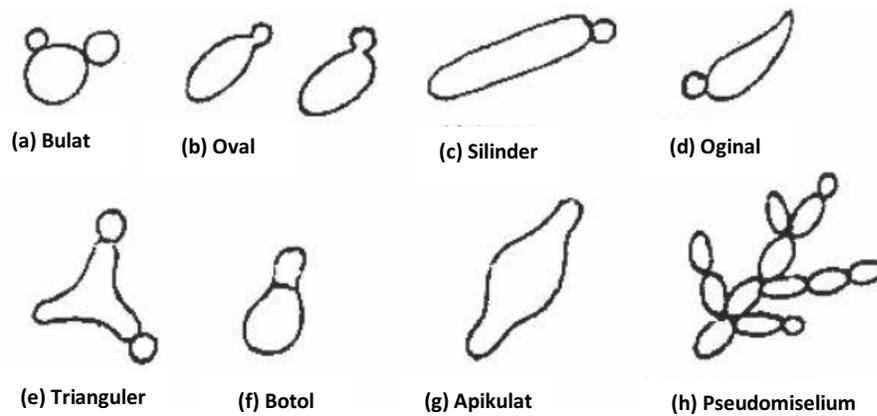
Khamir memiliki sel tunggal dengan proses tumbuh dan berkembang biak yang lebih cepat dibanding jamur yang tumbuh dengan pembentukan filamen. Khamir lebih efektif dalam memecah komponen kimia dibanding jamur, karena mempunyai perbandingan luas permukaan dengan volume yang lebih besar. Dinding sel sangat tipis untuk sel-sel yang masih muda, dan semakin lama semakin tebal jika sel semakin tua. Dinding selnya berupa glukukan (selulosa khamir), mannan, protein, kitin, dan lipid (waluyo, 2005).

Sel khamir memiliki ukuran, bentuk, dan warna yang bervariasi. Umumnya khamir memiliki sel berbentuk bulat, semi bulat, oval, elips, atau silindris (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 1. Bentuk khas dari sel khamir (Kavanagh, 2005)

Khamir yang terdapat pada kultur yang sama memiliki ukuran dan bentuk yang mungkin berbeda karena pengaruh umur sel dan kondisi lingkungan selama pertumbuhan. Sel muda mungkin berbeda bentuknya dari sel yang tua karena adanya proses otogeni, yaitu perkembangan individu sel. Contoh, khamir yang berbentuk apikulat (lemon) pada umumnya berasal dari tunas berbentuk bulat sampai oval yang terlepas dari induknya, kemudian tumbuh dan membentuk tunas sendiri, karena proses pertunasannya bersifat bipolar, sel muda yang berbentuk oval membentuk tunas pada kedua ujungnya sehingga memiliki bentuk seperti lemon. Bentuk-bentuk sel khamir dapat dilihat pada (Gambar 2).



Gambar 2. Bentuk-bentuk sel khamir (Fardiaz, 1992)

2.1.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi kehidupan khamir

Ada berbagai faktor yang mempengaruhi kehidupan khamir menurut Nurhidayat *et al.*, (2006), yaitu sebagai berikut:

1. Nutrisi (Zat Gizi)

Dalam kegiatannya khamir memerlukan penambahan nutrisi untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan, yaitu:

- a. Unsur C, karbohidrat
 - b. Unsur N, dengan penambahan pupuk yang mengandung nitrogen, misal ZA, urea, amonia, dan sebagainya.
 - c. Unsur P, dengan penambahan pupuk fosfat, misal NPK, TSP, DSP, dan sebagainya.
 - d. Mineral-mineral
 - e. Vitamin-vitamin
- #### 2. Keasaman (pH)

Untuk fermentasi alkohol, khamir memerlukan media dengan suasana asam, yaitu antara pH 4,8 – 5,0. Pengaturan pH dapat dilakukan dengan penambahan asam sulfat jika substratnya alkalis atau dengan natrium bikarbonat jika substratnya asam.

3. Suhu

Suhu optimum untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan adalah 28 – 30 °C. Pada waktu fermentasi terjadi kenaikan panas, karena reaksinya eksoterm. Untuk mencegah agar suhu fermentasi tidak naik, perlu pendingin agar dipertahankan tetap 26 – 30 °C.

4. Udara

Fermentasi alkohol berlangsung secara anaerobik (tanpa udara). Namun demikian udara diperlukan pada proses pembibitan sebelum fermentasi untuk perkembangbiakan khamir tersebut.

2.1.3 Macam-macam medium pertumbuhan khamir

Untuk menumbuhkan dan mengembangbiakkan mikroorganisme diperlukan suatu substrat yang disebut media. Dikarenakan dengan media yang cocok, maka pertumbuhan mikroorganisme akan maksimal, subur dan cepat. Media biak (larutan biak) dapat di buat dari senyawa-senyawa tertentu. Media biak dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu:

1. Media biak sintetik : media ini dibuat dari senyawa – senyawa kimia.
2. Media biak kompleks, media ini dibuat dari senyawa yang mengandung ekstrak ragi, otolitas ragi, pepton dan ekstrak daging.
3. Media biak padat, media ini dibuat dari larutan biak cair kemudian ditambahkan bahan pematat yang memberi konsistensi seperti selai pada larutan air.

Salah satu syarat untuk pertumbuhan mikroorganisme adalah kadar ion hidrogen yang ada dilingkungannya. Perubahan kadar yang kecil saja sudah mampu menimbulkan pengaruh yang besar. Alasan inilah yang amat penting untuk menggunakan nilai pH awal yang optimum dan mempertahankannya sepanjang pertumbuhan. Organisme hidup paling baik pada pH 7. selain kadar ion hydrogen, dibutuhkan juga karbondioksida dan kadar air, suhu dan tekanan osmatik. Pertumbuhan mikroorganisme tergantung dari bahan-bahan makanan. Pada dasarnya larutan biak sekurang-kurangnya harus mengandung sebagai berikut :

1. Kebutuhan nutrien pokok. Diantaranya karbon, oksigen, hidrogen, nitrogen, belerang, fosfat, kalium, magnesium dan besi.
2. Sumber-sumber karbon dan energi.

3. Zat-zat pelengkap, yaitu suplemen yang termasuk komponen dasar dan yang oleh beberapa mikroorganisme tidak dapat disintesis dari komponen-komponen sederhana (Sutedjo, 1996).

Dalam upaya mendukung pertumbuhan mikroorganisme secara berkelanjutan dapat dilakukan dengan menyediakan media yang dikayakan. Kondisi pengkayaan adalah kondisi dimana organisme dapat tetap tumbuh dengan kehadiran saingan dengan menetapkan sejumlah faktor (sumber energi, sumber karbon dan sumber nitrogen akseptor hidrogen dan atmosfer gas, cahaya, suhu, pH dan selanjutnya) dapat ditetapkan kondisi lingkungan tertentu dan dapat ditanamkan populasi campur yang terdapat dalam tanah atau dalam lumpur.

Bahan-bahan penanaman yang menguntungkan ialah bahan-bahan yang berasal dari tempat dimana telah terjadi "pengkayaan alamiah" seperti : mikroorganisme pengolah CO dalam limbah air pabrik gas, pengolah hemoglobin dalam limbah pajagalan dan oksidator hidrokarbon di ladang minyak bumi dan bak minyak. Untuk mikroorganisme yang sangat terspesialisasi harus dibuat kondisi pengkayaan yang sangat selektif. Medium mineral yang bebas nitrogen terikat dan tanpa cahaya merupakan medium yang amat selektif untuk sianobakteri yang memfiksasi nitrogen. Bila larutan medium yang sama dilengkapi dengan suatu sumber energi atau sumber energi dan sumber karbon maka pada keadaan gelap dan pada kondisi aerob dan tumbuh *Azotobacter* dan kalau Biak Murni.

Untuk menumbuhkan dan mengembang-biakan mikroorganisme, diperlukan suatu substrat yang disebut media. Sedang media itu sendiri sebelum dipergunakan harus dalam keadaan steril, artinya tidak ditumbuhi oleh mikroorganisme lain yang tidak diharapkan. Susunan bahan, baik berbentuk bahan alami (seperti tauge, kentang, daging, telur, wortel), ataupun bahan buatan (berbentuk senyawa kimia organik ataupun anorganik) yang dipergunakan untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan mikroorganisme dinamakan media. Secara garis besar media dibedakan berdasarkan konsentrasinya:

- a. Media padat, terbagi media agar miring, agar deep dan agar sebar. Media ini umumnya dipergunakan untuk bakteri, ragi, jamur.
- b. Media cair, jika media tidak ditambahkan zat pematat, biasanya media cair dipergunakan untuk pembiakan mikroalga, bakteri dan ragi.
- c. Media semi padat atau semi cair, jika penambahan zat pematat hanya 50% atau kurang dari yang seharusnya. Ini umumnya diperlukan untuk pertumbuhan

mikroorganisme yang banyak memerlukan kandunga air dan hidup anaerobik atau fakultatif (Sutedjo, 1996).

2.1.4 Nutrisi medium pertumbuhan khamir

Khamir adalah *Chemoorganotroph* karena menggunakan senyawa organik sebagai sumber energi dan tidak membutuhkan cahaya matahari untuk pertumbuhannya. Sebagian besar karbon didapat dari gula heksosa seperti glukosa dan fruktosa, atau disakarida seperti sukrosa dan maltosa. Beberapa spesies dapat memetabolisme gula pentosa seperti ribosa, alkohol, dan asam organik (Broach, 1990). Dari beberapa penelitian, khamir dapat ditumbuhkan dibeberapa media yang mudah didapatkan dilapang, diataranya yaitu ekstrak cabai, ekstrak biji trembesi, ekstrak buah avokad, air limbah tahu, jagung, air kelapa, air leri dan taoge.

Dari beberapa media tersebut tentunya terdapat kandungan yang dibutuhkan untuk pertumbuhan khamir. Kandungan gizi cabai merah segar per 100 gr menurut Wiryanta (2002) adalah protein 1 gr, lemak 0.3 gr, karbohidrat 7.3 gr, kalsium 29 mg, fosfor 24 mg, besi 0.5 mg, vitamin A470 SI, vitamin C 18 mg, vitamin B1 0.05 mg, vitamin B2 0.03 mg, Niasin 0.20 mg, Kapsaikin 1.5%, Pektin 2.33%, Pentosan 8.57%, dan pati 1.4%. Kandungan kimia buah cabai antara lain kapsaisin, kapsisin, kapsatin, kapsarubin, karoten, karotenoid, minyak lemak, vitamin A, B, dan C.

Dalam 100 gr taoge terdapat kandungan gizi yang diantaranya: Energi 23 kal, Protein 2,9 gr, Lemak 0,2 gr, Karbohidrat 4,1 gr, Serat 1,0 gr, Kalsium 29 mg, Fosfor 69 mg, Zat Besi 0,8 mg, Vitamin A 10 IU, Vitamin B1 0,07 mg, Vitamin C 15 mg, Air 92,4 g. Selain itu terdapat juga air kelapa yang memiliki kandungan natrium, kalsium, magnesium, ferum, cuprum, fosfor, dan sulfur. Selain kaya mineral air kelapa juga mengandung gula antara 1,7-2,6%, protein 0,07-0,55%, dan mengandung berbagai macam vitamin seperti asam sitrat, asam nikotin, asam pantotenat, asam folat, niacin, riboflavin, thianin, hormon auksin, dan sitokinin (pujiastuti, 2012).

Spesies khamir ada yang membutuhkan oksigen untuk respirasi seluler aerobik (aerob obligat) atau anaerob, namun juga dapat menghasilkan energi secara aerobik (anaerob fakultatif). Tidak seperti bakteri, belum ada spesies khamir yang dapat tumbuh secara anaerob (anaerob obligat). Khamir tumbuh dengan baik pada lingkungan pH netral atau sedikit asam dengan pH optimum 4.0-5.0 tetapi juga dapat tumbuh pada kisaran pH 2.5-8.5. Suhu optimal pertumbuhan

khamir bervariasi antar spesies. Sebagai contoh *Leucosporidium frigidum* dapat bertumbuh pada (-2)-20 °C (28-68 °F), *Saccharomyces telluris* pada 5-35 °C (41-95 °F), dan *Candida slooffi* pada 28 to 45 °C (85-113 °F). Sel dapat tetap bertahan hidup saat dibekukan dalam kondisi tertentu, namun dengan daya hidup yang menurun seiring waktu (Broach, 1990).

Umumnya, khamir ditumbuhkan di laboratorium pada media pertumbuhan padat maupun cair (*broth*). Media yang umum digunakan untuk menumbuhkan khamir adalah *potato dextrose agar* atau *potato dextrose broth*, *Wallerstein Laboratories nutrient agar*, *yeast peptone dextrose agar*, dan *yeast mould agar* atau *broth*. Pembuat minuman alkohol dalam skala rumahan umumnya menggunakan ekstrak *malt* dan agar sebagai media pertumbuhan padat. Antibiotik cycloheximide terkadang ditambahkan pada media pertumbuhan khamir untuk menghambat pertumbuhan khamir *Saccharomyces* dan menyeleksi spesies.

2.1.5 Perhitungan kerapatan khamir

Mikroorganisme adalah mikroba atau organisme yang berukuran sangat kecil sehingga untuk mengamatinya diperlukan alat pembesar. Mikroorganisme seringkali bersel tunggal meskipun beberapa protista bersel tunggal masih dapat terlihat oleh mata telanjang dan ada beberapa spesies multisel yang tidak dapat terlihat oleh mata telanjang. Mikroorganisme biasanya dianggap mencakup semua prokariota, protista dan alga renik. Penghitungan mikroba secara langsung menurut Dwidjoseputro (2005) antara lain:

1. *Plate Count* (hitungan cawan)

Plate count atau *viable count* didasarkan pada asumsi bahwa setiap sel mikroorganisme hidup dalam suspensi akan tumbuh menjadi satu koloni setelah ditumbuhkan dalam media pertumbuhan dan lingkungan yang sesuai. Setelah diinkubasi, jumlah koloni yang tumbuh dihitung dan merupakan perkiraan atau dugaan dari jumlah mikroorganisme dalam suspensi tersebut.

2. Turbidimetri

Turbidimetri merupakan metode yang cepat untuk menghitung jumlah bakteri dalam suatu larutan menggunakan spektrofotometer. Bakteri menyerap cahaya sebanding dengan volume total sel (ditentukan oleh ukuran dan jumlah). Ketika mikroba bertambah jumlahnya atau semakin besar ukurannya dalam biakan cair, terjadi peningkatan kekeruhan dalam biakan. Kekeruhan dapat disebut *optical density* (absorpsi cahaya, biasanya diukur pada panjang gelombang 520 – 700 nm). Untuk mikroba tertentu, kurva standar dapat memperlihatkan jumlah

organisme/ml (ditentukan dengan metode hitungan cawan) hingga pengukuran *optical density* (ditentukan dengan spektrofotometer).

3. Hemasitometer

Hemasitometer adalah metode perhitungan secara mikroskopis. Ruang hitung terdiri dari 9 kotak besar dengan luas 1 mm². Satu kotak besar di tengah, dibagi menjadi 25 kotak sedang dengan panjang 0,05 mm. Satu kotak sedang dibagi lagi menjadi 16 kotak kecil. Dengan demikian satu kotak besar tersebut berisi 400 kotak kecil. Tebal dari ruang hitung ini adalah 0,1 mm. Sel bakteri yang tersuspensi akan memenuhi volume ruang hitung tersebut sehingga jumlah bakteri per satuan volume dapat diketahui.

2.1.6 Khamir *Saccharomyces cerevisiae*

2.1.6.1 Karakteristik *S. cerevisiae*

Khamir merupakan mikroba bersel tunggal yang berukuran 5-20 mikron. Khamir sejati tergolong eukariot yang secara morfologi hanya membentuk blastospora berbentuk bulat lonjong, silindris, oval atau bulat telur yang dipengaruhi oleh strainnya (Gambar 3) (Heru, 2011). Menurut Judoamidjojo (1990), dalam ragi terdapat banyak jenis khamir, tetapi hanya satu spesies yang dikenal dapat mengkonversi gula menjadi etanol yang sangat tinggi yaitu *S. cerevisiae*. Jenis ini menghasilkan enzim zimase dan invertase. Fungsi enzim invertase adalah untuk memecah sukrosa ataupun polisakarida (pati) yang belum terhidrolisis untuk diubah menjadi monosakarida (glukosa). Sedangkan enzim zimase selanjutnya mengubah monosakarida menjadi etanol dengan proses fermentasi.



Gambar 3. Mikroskopis sel *S. cerevisiae* (Judiamidjojo, 1990)

S. cerevisiae berkembang biak dengan membelah diri melalui "*budding cell*". Reproduksiya dapat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan serta jumlah nutrisi yang tersedia bagi pertumbuhan sel. Taksonomi *S. cerevisiae* adalah sebagai berikut :

Super Kingdom	: Eukaryota
Phylum	: Fungi
Subphylum	: Ascomycota
Class	: Saccharomycetes
Order	: Saccharomycetales
Family	: Saccharomycetaceae
Genus	: <i>Saccharomyces</i>
Species	: <i>Saccharomyces cerevisiae</i>

S. cerevisiae dapat berkembang biak dalam gula sederhana seperti glukosa, maupun gula kompleks disakarida yaitu sukrosa. Khamir ini merupakan mikroba yang umum digunakan dalam fermentasi yang banyak terdapat dalam ragi pasar (Dwidjoseputro, 2005).

S. cerevisiae mempunyai keadaan lingkungan tempat hidup yang spesifik. Kisaran suhu optimal untuk kebanyakan sama dengan kapang, yaitu pada 25-30 °C. *S. cerevisiae* lebih menyukai tumbuh pada keadaan asam, yaitu pada pH 4-5, dan tidak dapat tumbuh dengan baik pada medium alkali, kecuali jika telah beradaptasi. Khamir tumbuh dengan baik pada kondisi aerobik, tetapi yang bersifat fermentatif dapat tumbuh secara anaerobik meskipun lambat. *S. cerevisiae* merupakan organisme fakultatif anaerob yang dapat menggunakan baik sistem aerob maupun anaerob untuk memperoleh energi dari pemecahan glukosa. *S. cerevisiae* dapat menghasilkan alkohol dalam jumlah yang besar (Elevri & Putra, 2006).

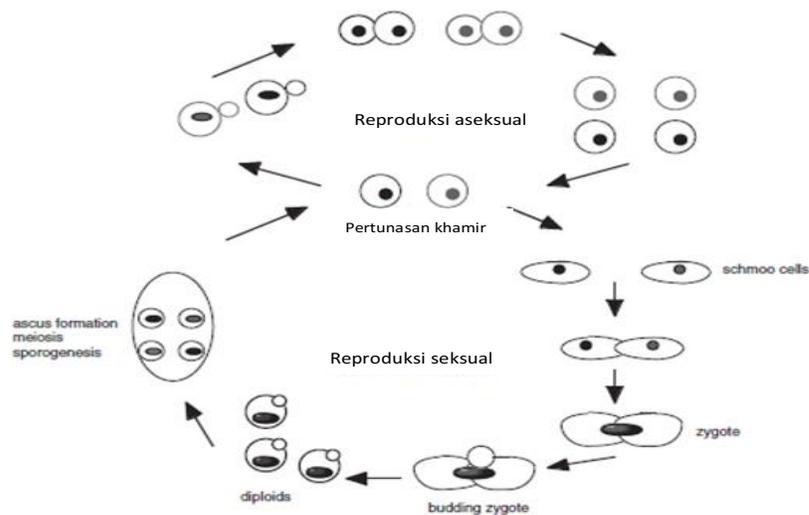
2.1.6.2 Siklus hidup *S. cerevisiae*

S. cerevisiae adalah mikroorganisme sangat baik dipelajari, dengan jelas dan siklus hidup dapat dimanipulasi. Siklus hidup *S. cerevisiae* dengan *mitotically* (pembelahan sel) dan menyebar (propagasi) dalam bentuk haploid dari dua jenis perkawinan yang berbeda, dan bentuk diploid yang dapat tumbuh baik secara vegetatif atau diinduksi menjadi jalur perkembangan meiosis melalui manipulasi kondisi nutrisi medium pertumbuhan. Jalur selular seperti proses mitosis proliferasi, sel yang mengatur pengenalan (*recognition*) dan perkawinan (*mating*), meiosis dan sporulasi telah dipelajari secara ekstensif pada tingkat molekuler, dan

dipahami secara umum baik. Pertumbuhan mitosis sel *S. cerevisiae* melibatkan pembelahan (*budding*) (Gambar 4) (Kavanagh, 2005).

Selama proses pertumbuhan ini sel diarahkan ke lokasi tertentu di permukaan sel induk, dan sel baru terbentuk agak seperti meledakkan balon melalui lubang di sel induk. Hal ini melibatkan pertumbuhan yang sangat terpolarisasi dari mengembangkan sel anak, yang melibatkan baik aktin dan mikrotubulus berbasis jaringan cytoskeletal, dan erat dikoordinasikan dengan siklus sel. koordinasi ini memastikan bahwa sel anak menerima salinan lengkap dari bahan genetik. Kedua sel haploid dan diploid membagi pada proses awal, meskipun ada perbedaan halus dalam pilihan situs pembelahan munculnya antara haploid dan diploid. Selain itu, beberapa sel diploid juga dapat memodifikasi koordinasi dari siklus sel dan pertumbuhan terpolarisasi untuk beralih ke pseudo hyphal (menyerupai hifa) sebuah modus pertumbuhan (Kavanagh, 2005).

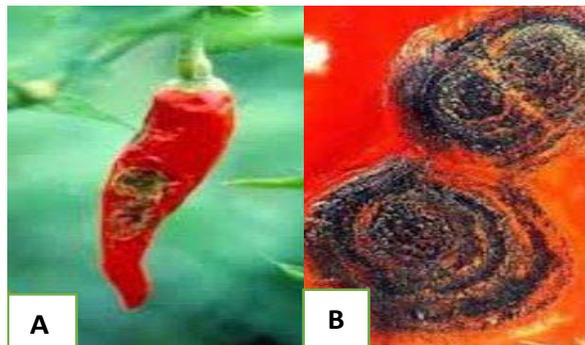
Dalam pola pertumbuhan ini sel-sel individual yang lebih memanjang, dan pola pembelahan mengarah pada pembentukan rantai sel lebih kompak dari pada karakteristik koloni awal. Analisis genetik sangat berkembang pada *S. cerevisiae*. Ketika secara vegetatif tumbuh sel haploid dari jenis kawin berlawanan dibawa lebih dekat, mereka berkomunikasi satu sama lain dengan feromon diffusible, sinkronisasi siklus sel mereka, konjugat dan kemudian inti mereka melebur yang memperlihatkan tidak adanya proses perkawinan. Diploid ini dapat dikenali secara visual dalam bentuk zigot awal mereka, dan dipisahkan dari haploid oleh mikromanipulasi, atau diidentifikasi secara selektif karena mengandung pola sifat genetik yang tidak dimiliki oleh salah satu haploid induk (Kavanagh, 2005).



Gambar 4. Siklus hidup *S. cerevisiae* (Kavanagh, 2005)

2.2 Antraknosa pada Cabai

Salah satu jenis penyakit pada tanaman cabai adalah penyakit antraknosa yang disebabkan oleh jamur *Colletotrichum* spp. Adanya serangan jamur *Colletotrichum* spp. pada tanaman cabai mempunyai arti ekonomi yang sangat penting, karena dapat menurunkan hasil produksi cabai dan merugikan para petani sampai 50% (Semangun, 2007). Menurut Suhardi (1989) penyakit antraknosa di Kabupaten Demak menyebabkan kerugian sebesar 50-65%. Penyakit antraknosa tersebar luas di Jawa, Madura, Bali dan Lombok (Duriat, 1990).

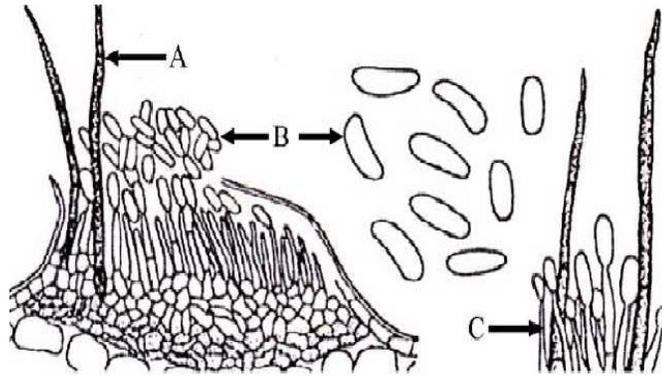


Gambar 5. Antraknosa pada cabai (Semangun, 2007)
Keterangan (A) Buah cabai terserang (B) Bagian yang terserang

2.2.1 Penyebab penyakit antraknosa pada tanaman cabai

Penyakit antraknosa pada tanaman cabai disebabkan oleh jamur *Colletotrichum* spp. Hannden & Black (1989) menyebutkan jenis jamur *Colletotrichum* yang umum menyebabkan penyakit antraknosa pada buah cabai terdiri atas empat spesies yaitu: *C. gloeosporioides*, *Colletotrichum* sp., *C. acutatum*, dan *C. coccodes*. Menurut Kim *et al.*, (1999) penyakit antraknosa pada tanaman cabai disebabkan oleh jamur *Colletotrichum* terdiri atas lima spesies yaitu: *C. gloeosporioides*, *Colletotrichum* sp., *C. acutatum*, *C. dematium*, dan *C. coccodes*. Menurut hasil penelitian Sudiarta & Sumiartha (2012) penyakit antraknosa pada tanaman cabai di Bali kebanyakan disebabkan oleh jamur *Colletotrichum acutatum*.

Jamur *Colletotrichum* spp. merupakan jamur parasit fakultatif dari Ordo Melanconiales dengan ciri-ciri konidia tersusun dalam aservulus (struktur aseksual jamur parasit, Gambar 6). Jamur dari Genus *Colletotrichum* termasuk dalam Class Deuteromycetes yang merupakan bentuk anamorfik (aseksual), dan pada saat jamur tersebut dalam telemorfik (seksual) masuk dalam Class Ascomycetes yang dikenal dengan jamur dalam Genus *Glomerella* (Alexopoulos *et al.*, 1996). Struktur aservulus jamur *Colletotrichum* spp. disajikan pada (Gambar 6).

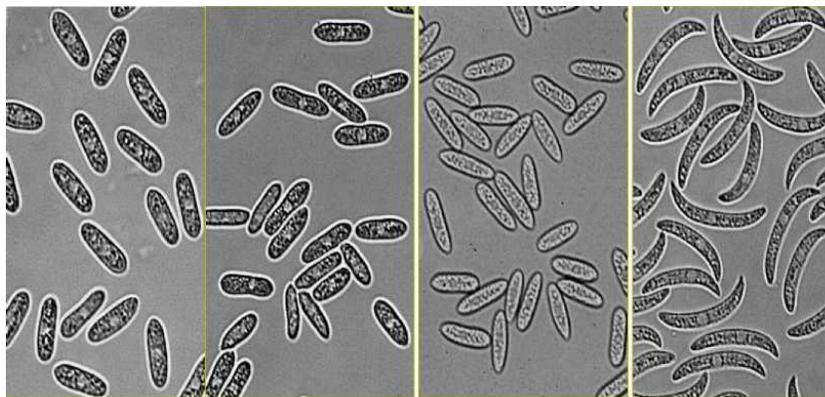


Gambar 6. Struktur aservulus jamur *Colletotrichum* sp.

Keterangan: A. Setae, B. Konidia, C. Konidiofor (Barnet & Hunter, 1998)

Ciri-ciri umum jamur dari Genus *Colletotrichum* yaitu memiliki hifa bersekat, menghasilkan konidia yang transparan, memanjang dengan ujung membulat atau meruncing panjangnya antara 10-16 pm dan lebarnya 5-7 pm. Massa dari konidia berwarna hitam dan hifanya berwarna abu-abu (Dickman, 1993).

Jamur *C. gloeosporioides* mempunyai bentuk spora silindris, ujung spora tumpul, ukuran spora 16,1 x 5,6 pm dengan kecepatan tumbuh 12,5 mm per hari. Jamur *C. acutatum* mempunyai bentuk spora silindris, ujung spora meruncing, ukuran spora 16,1 x 5,3 pm dengan kecepatan tumbuh 6,8 mm per hari. Jamur *C. cocodes* mempunyai bentuk spora silindris, ujung spora runcing, ukuran spora 14,9 x 4,2 pm dengan kecepatan tumbuh 8,4 mm per hari. Sedangkan jamur *Colletotrichum capsici* mempunyai bentuk spora seperti bulan sabit, ujung spora runcing, ukuran spora 24,3 x 4,4 pm dengan kecepatan tumbuh 9,8 mm per hari (AVRDC, 2010). Bentuk spora beberapa jenis jamur *Colletotrichum* spp. tersaji dalam (Gambar 7).



C. gloeosporioides

C. acutatum

C. cocodes

C. capsici

Gambar 7. Bentuk spora beberapa jenis *Colletotrichum* spp. (AVRDC, 2010)

2.2.2 Gejala penyakit antraknosa pada tanaman cabai

Jamur *Colletotrichum* dapat menginfeksi cabang, ranting, daun dan buah cabai. Infeksi pada buah cabai terjadi biasanya pada buah menjelang tua dan sesudah tua. Gejala diawali dengan adanya bintik-bintik kecil berwarna kehitam-hitaman dan sedikit melekok pada permukaan buah. Gejala lebih lanjut buah mengkerut, kering, membusuk dan jatuh (Gambar 8) (Rusli & Zulpadli, 1997). Bercak berbentuk bundar atau cekung dan berkembang pada buah yang belum dewasa/matang dari berbagai ukuran. Biasanya bentuk bercak beragam pada satu buah cabai dan ketika penyakit semakin parah, bercak akan bersatu. Gejala pada buah cabai yang sudah menua tampak seperti pada Gambar 8. Spora terbentuk dan memencar secara cepat pada buah cabai, sehingga mengakibatkan kehilangan hasil sampai 100%. Penyakit dapat menginfeksi sampai ke tangkai buah cabai dan menimbulkan bercak seperti bintik yang tidak beraturan berwarna merah tua (Damme *et al.*, 2010).



Gambar 8. Buah cabai terserang antraknosa dengan gejala berat (Than, 2008)

Menurut Kim *et al.*, (1999) gejala penyakit antraknosa pada buah cabai dimulai dengan kulit buah akan tampak mengkilap, diikuti dengan pelunakan jaringan, kemudian permukaan buah akan menjadi cekung dan berwarna kecoklatan, sehingga terlihat adanya seperti luka atau lebih dikenal dengan sebutan lesio. Lesio muncul sedikit demi sedikit kemudian pada akhirnya dapat menutupi sebagian besar permukaan buah. Permukaan buah cabai yang terserang penyakit antraknosa akan berair dan aservulus jamur *Colletotrichum* spp. terlihat seperti bercak kehitaman yang kemudian meluas dan membusuk. Pada buah cabai dengan gejala penyakit antraknosa berat buah mengering dan keriput, sehingga buah yang seharusnya berwarna merah menjadi berwarna seperti jerami (Kim *et al.*, 1999).

2.2.3 Mekanisme terjadinya penyakit antraknosa pada tanaman cabai

Gejala serangan jamur *Colletotrichum* spp. penyebab penyakit antraknosa pada buah cabai secara umum hampir sama dengan gejala serangan jamur patogen lainnya. Gejala serangan jamur *Colletotrichum* spp. diawali dengan adanya inokulasi jamur *Colletotrichum* spp. pada buah cabai, kemudian diikuti dengan proses penetrasi, infeksi, kolonisasi, dan diseminasi. Inokulasi merupakan proses deposisi atau kontakannya inokulum (spora) pada permukaan jaringan inang. Proses penetrasi yaitu proses masuknya organisme patogen ke dalam tubuh inang. Kemudian setelah organisme patogen tersebut masuk ke dalam tubuh inang, maka akan terjadi proses perkecambahan spora (Sinaga, 2006).

Proses perkecambahan spora pada tubuh inang dapat digambarkan sebagai berikut: pada mulanya spora patogen membentuk tabung kecambah (*germ tube*). Bagian spora yang memproduksi *germ tube* bertambah panjang dan menembus dinding sel inang. Kemudian *germ tube* akan termodifikasi menjadi *apresorium* yang berfungsi untuk melekat dengan kuat pada permukaan jaringan inang (Yudiarti, 2007). Proses infeksi terjadi setelah proses penetrasi yaitu patogen sudah berada pada jaringan inang dan memperoleh makanan dari inangnya.

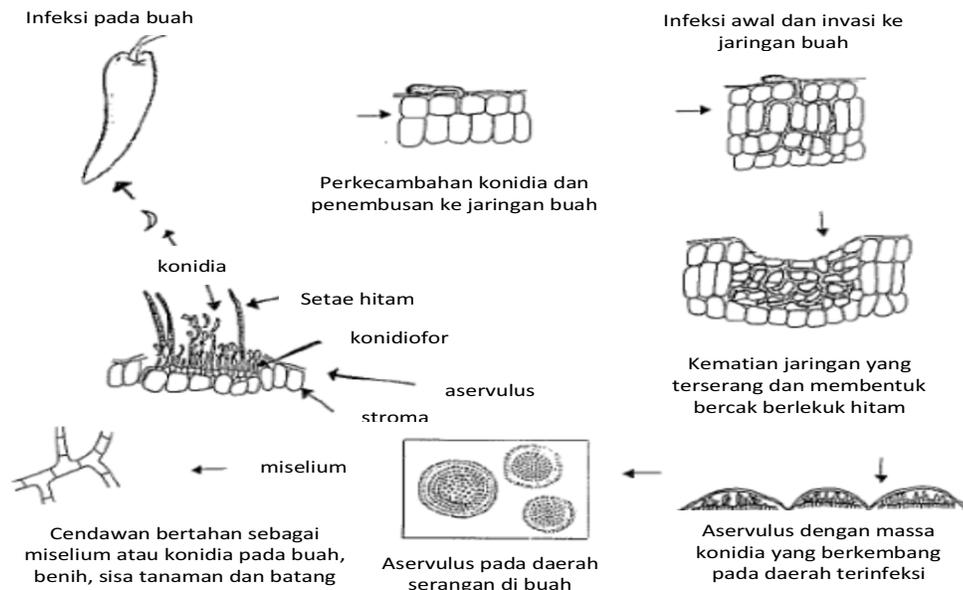
Kolonisasi merupakan proses kelanjutan dari infeksi yaitu patogen melanjutkan pertumbuhan dan perluasan aktivitas patogen melalui jaringan inang. Proses kolonisasi tersebut akan merusak seluruh jaringan pada tubuh inang (Wharton & Uribeondo, 2004). Periode inkubasi merupakan waktu yang dibutuhkan patogen sejak mulai inokulasi sampai timbul gejala penyakit. Bila gejala penyakit telah timbul berarti patogen telah melakukan reproduksi inokulum sekunder. Sedangkan proses diseminasi merupakan proses penyebaran inokulum sekunder yang dihasilkan oleh patogen melalui agen penyebar seperti angin, air dan serangga (Sinaga, 2006).

Terdapat tiga jalan atau cara yang digunakan oleh patogen dalam melakukan penetrasi yaitu, luka, lubang alami, dan penetrasi langsung. Luka yang ada pada tanaman dapat disebabkan oleh manusia, faktor fisik seperti angin, air hujan, atau serangan dari hama. Lubang alami yang biasa digunakan oleh patogen untuk masuk ke dalam tubuh tanaman inang antara lain, stomata, hidatoda dan lenti sel. Sedangkan untuk cara penetrasi langsung, dibutuhkan usaha dari patogen antara lain dengan memproduksi zat kimia berupa enzim atau toksin yang berfungsi untuk mendegradasi dinding sel dan atau merubah permeabilitas

membran sel tanaman. Keadaan cuaca yang lembab sangat cocok untuk pembentukan spora dan terjadinya infeksi sehingga diameter lesio akan cepat membesar (Martinez *et al.*, 2009).

2.2.4 Siklus hidup cendawan *Colletotrichum* spp.

Spora jamur *Colletotrichum* spp. dapat disebarkan oleh angin dan percikan air hujan dan pada inang yang cocok akan berkembang dengan cepat (Dickman, 1993). Pertumbuhan awal jamur *Colletotrichum* spp. membentuk koloni miselium yang berwarna putih dengan miselium yang timbul di permukaan. Kemudian perlahan-lahan berubah menjadi hitam dan akhirnya berbentuk aservulus. Aservulus berwarna merah muda sampai coklat muda merupakan kumpulan massa konidia (Rusli & Zulpadli, 1997). Tahap awal infeksi *Colletotrichum* umumnya dimulai dari perkecambahan spora pada permukaan jaringan tanaman, menghasilkan tabung kecambah. Setelah penetrasi maka akan terbentuk jaringan hifa, hifa intra dan interseluler menyebar melalui jaringan tanaman (Yudiarti, 2007). Siklus penyakit antraknosa pada tanaman cabai yang disebabkan oleh jamur *Colletotrichum* spp. disajikan pada (Gambar 9).



Gambar 9. Siklus penyakit antraknosa pada tanaman cabai yang disebabkan oleh jamur *Colletotrichum* spp. (Agrios, 2005)

Infeksi terjadi setelah *aporesorium* dihasilkan, *aporesorium* mempenetrasi kutikula dan tumbuh di bawah dinding kutikula dan dinding periklinal dari sel epidermis. Kemudian, hifa tumbuh dan menghancurkan dinding sel utama. Hal ini terjadi karena matinya sel yang berdampingan secara meluas. Ketika jaringan

membusuk, hifa masuk ke pembuluh sklerenkim dan langsung tumbuh menembus dinding sklerenkim (Pring *et al.*, 1995).

2.2.5 Pengendalian penyakit antraknosa pada tanaman cabai

Pengendalian penyakit antraknosa pada tanaman cabai yang sering dilakukan oleh petani adalah dengan menggunakan fungisida, karena sampai saat ini belum ada tanaman cabai merah yang tahan terhadap penyakit antraknosa. Penggunaan fungisida didasarkan pada prinsip antibiotik terhadap tanaman. Cara lainnya yang digunakan untuk mengendalikan penyakit yaitu penggunaan bahan kimia sintetik yang mampu memicu ketahanan tanaman (Suhendro *et al.*, 2000).

Bila patogen sudah menginfeksi jaringan tanaman, umumnya fungisida tidak efektif dalam pengendalian penyakit. Dalam banyak kasus, informasi spesifik tentang siklus penyakit sangat dibutuhkan dalam aplikasi fungisida yang tepat untuk melindungi tanaman. Dalam label fungisida memberikan petunjuk pengaplikasian, biasanya dengan jarak interval 7-14 hari. Jika kelembaban tinggi atau pertumbuhan tanaman cepat, maka interval terendah antar aplikasi yang sering digunakan, dan jika kelembaban rendah maka digunakan interval tertinggi (Suryaningsih & Suhardi, 1993).

Cara aplikasi dan jenis fungisida berpengaruh nyata terhadap masa inkubasi dan intensitas penyakit antraknosa pada buah cabai selama di penyimpanan. Fungisida dari kelompok sistemik menunjukkan yang terbaik dibandingkan dengan fungisida kontak. Tetapi tidak ada interaksi antara waktu aplikasi dan fungisida dalam mempertahankan masa inkubasi dan menekan intensitas penyakit tersebut (Sudarmo, 2005). Jenis fungisida yang digunakan seperti Dithane M-45 80 WP merupakan jenis fungisida bersifat sistemik karena cara kerjanya ditranslokasikan ke dalam jaringan tanaman dan fungisida Dakonil 500 F merupakan jenis fungisida kontak atau non sistemik (Semangun, 2007).

2.3 Pengendalian Hayati

Pengendalian hayati pada penyakit tanaman dengan menggunakan mikroorganisme telah dimulai sejak lebih dari 70 tahun yang lalu. Perhatian pakar penyakit tumbuhan terhadap metode pengendalian hayati bangkit kembali ketika diadakan simposium internasional pengendalian hayati di Barkley pada tahun 1963. Sekarang ini sudah menjadi pengetahuan bahwa pengendalian hayati akan memainkan peranan penting dalam pertanian pada masa yang akan datang (Hasanudin, 2003).

Pengendalian hayati patogen tanaman bisa terjadi melalui berbagai mekanisme. Agens pengendali hayati secara umum memiliki mekanisme penghambatan terhadap patogen melalui antibiotik yang dihasilkannya, kompetisi terhadap nutrisi, atau parasitisme langsung terhadap patogen. Agens pengendali hayati tidak memberi peluang pada patogen untuk mencapai populasi yang cukup tinggi hingga dapat menyebabkan tingkat keparahan penyakit yang tinggi (Agrios, 2005).

Pada patogen jamur, beberapa virus dapat menurunkan daya virulensi terhadap inangnya atau menyebabkan hipovirulensi, sehingga dapat dikembangkan menjadi agensia pengendali hayati. Telah banyak mikovirus yang telah dikarakterisasi dengan baik dan telah dilaporkan bahwa isolat tersebut bisa digunakan sebagai agens hayati. Hingga kini ada lebih dari 10 sistem hipovirulensi yang telah dikaji yang meliputi lebih dari 8 spesies jamur dan 10 spesies virus (Supyani, 2009).

Figueiredo *et al.*, (2012) menyatakan bahwa penyakit pada suatu tanaman yang disebabkan oleh patogen jamur dapat dikendalikan oleh isolat hipovirulen dari jamur yang jenisnya sama. Beberapa mikovirus menjanjikan besar untuk dijadikan sebagai agens hayati yang dapat mengendalikan penyakit, misalnya virus yang menginfeksi *Cryphonectria parasitica* telah berhasil digunakan untuk mengontrol hawar kastanye di Eropa (Yu *et al.*, 2013). Demikian juga, dua mikovirus lainnya yaitu *Rosellinia necatrix* mega binavirus 1 dan strain hipovirulen dari *Sclerotinia sclerotium* yang terbukti memiliki potensi untuk mengendalikan penyakit akibat patogen jamur. Hambatan untuk menggunakan mikovirus sebagai agens biokontrol adalah ketidakcocokan vegetatif, yang mencegah transmisi mikovirus dari strain hipovirulen untuk strain sasaran.

2.3.1 Peran khamir dalam pengendalian hayati

Pengendalian hayati adalah pengurangan jumlah inokulum dalam keadaan aktif maupun dorman atau aktivitas patogen sebagai parasit oleh satu atau lebih organisme yang berlangsung secara alami atau melalui manipulasi lingkungan, inang atau agens antagonis dengan introduksi secara massal satu atau lebih organisme antagonis (Cook & Baker, 1983). Agens pengendali hayati potensial meliputi mikroorganisme antagonis, metabolit 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 agensia pengendali hayati adalah cara kerja agensia pengendali hayati di dalam mengendalikan patogen tanaman. Cara kerja yang dilakukan oleh agensia tersebut biasanya menggunakan hasil metabolisme sekunder yang berupa antibiotik, toksin, enzim, atau hormon, serta dalam melibatkan hasil metabolit sekunder tersebut misalnya parasitisme (Cook & Baker, 1983).

Kemampuan khamir dalam menekan kejadian penyakit diduga karena khamir mampu menghasilkan enzim yang berpotensi menghambat, menekan, dan mampu merangsang beberapa jenis respon pertahanan inang. Jijakli & Lepoivre (1998) menyatakan bahwa *Pichia anomala* strain K mampu menghasilkan enzim β 1,3-glukanase yang mampu menghancurkan dinding sel jamur.

2.3.2 Mekanisme antagonis khamir

Khamir antagonis memiliki mekanisme antagonis dalam menghambat pertumbuhan patogen yaitu kompetisi ruang dan nutrisi, antibiosis, parasitisme, dan predasi (Pimenta *et al.*, 2009). Mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi merupakan mekanisme yang dilakukan oleh khamir dalam mendominasi habitat karena pertumbuhan khamir yang lebih cepat menyebabkan populasi khamir meningkat, sehingga nutrisi yang tersedia di lingkungan digunakan untuk menunjang pertumbuhan khamir. Keberhasilan kompetisi ditunjukkan melalui pertumbuhan sel serta kolonisasi khamir antagonis yang lebih cepat atau sejumlah molekul organik hasil metabolisme khamir yang lebih banyak dibandingkan jamur patogen (Morricca & Ragazzi, 2008).

Antibiosis merupakan mekanisme antagonisme yang dilakukan oleh khamir dengan menghasilkan senyawa penghambat pertumbuhan mikroorganisme lain (Madigan *et al.*, 2012). Beberapa senyawa tersebut adalah enzim litik, senyawa volatil, siderofor, serta *killer toxin*. Kemampuan khamir dalam menekan kejadian penyakit diduga karena khamir mampu menghasilkan enzim yang berpotensi menghambat, menekan dan mampu merangsang beberapa jenis respon pertahanan inang. Enzim tersebut mampu mendegradasi dinding sel patogen (Haggag & Mohamed, 2007).

Parasitisme terjadi ketika khamir memperoleh nutrisi dari sel jamur yang digunakan untuk menunjang pertumbuhan khamir (Barton & Northup, 2011).

Mekanisme parasitisme terjadi melalui kontak langsung antara sel khamir dengan jamur. Sel khamir memanfaatkan jamur sebagai inang yang merupakan habitat dan sumber nutrisi untuk melakukan pertumbuhan (Sharma, 2009).

Predasi merupakan mekanisme khamir dalam memangsa mikroorganisme lain sebagai sumber makanan (Barton & Northup, 2011). Mekanisme predasi terjadi melalui kontak langsung atau melalui struktur hifa atau spora sehingga mengganggu viabilitas jamur patogen (Morrica & Ragazzi, 2008).