

MODUL AJAR
TEKNOLOGI FERMENTASI



DISUSUN OLEH :
SUHARMAN, S.TP., M.Sc.

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS PGRI YOGYAKARTA

2022

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Bahan Ajar : Teknologi Fermentasi
2. Pelaksana
 - a. Nama Lengkap : Suharman, S.TP, M.Sc
 - b. Jenis Kelamin : Laki-Laki
 - c. Pangkat/Golongan : Penata Muda Tk 1/IIIb
 - d. NIP/NIS : 19940730 201910 1 004
 - e. Program Studi/Fakultas : Teknologi Hasil Pertanian
 - f. Telpon/Faks/E-mail/HP : suharman@upy.ac.id/082349408605

Mengetahui,
Kaprosdi Teknologi Hasil Pertanian



Suharman, S.TP, M.Sc
NIS. 19940730 201910 1 004

Yogyakarta, 12 Maret 2023
Pelaksana/Penulis



Suharman, S.TP, M.Sc
NIS. 19940730 201910 1 004

Menyetujui,
Kepala Lembaga Pengembangan Pendidikan



Setya Ramawati, M.Pd
NIS. 19870723 201302 2 002

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT yang telah melimpahkan berkah dan rahmat-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan bahan ajar Teknologi Fermentasi yang merupakan salah satu dari luaran yang harus dipenuhi oleh dosen yang mengampu mata kuliah Teknologi Fermentasi di program studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas PGRI Yogyakarta.

Dalam pembuatan bahan ajar Teknologi Fermentasi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan baik berupa bimbingan, saran dan kritik dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini, ijin penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang membantu dalam penyelesaian bahan ajar Teknologi Fermentasi.

Penulis menyadari bahwa dalam bahan ajar Teknologi Fermentasi ini, banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis ucapkan terimakasih, harapan penulis semoga bahan ajar Teknologi Fermentasi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak terutama mahasiswa Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas PGRI Yogyakarta.

Yogyakarta, 12 Maret 2023



Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB I. Pengantar Teknologi Fermentasi	1
BAB II. Peranan Mikroorganisme.....	5
BAB III . Pertumbuhan Mikroorganisme	10
BAB IV. Mikroba untuk Industri Fermentasi	20
BAB V. Substrat Fermentasi	24
BAB VI .Produk Teknologi Fermentasi	30
BAB VII . Desain Fermentor	39
DAFTAR PUSTAKA	39

BAB 1

PENGANTAR TEKNOLOGI FERMENTASI

A. Teknologi Fermentasi

Fermentasi bahan pangan adalah sebagai hasil kegiatan beberapa jenis mikroorganisme baik bakteri, khamir, dan kapang. Mikroorganisme yang memfermentasi bahan pangan dapat menghasilkan perubahan yang menguntungkan (produk-produk fermentasi yang diinginkan) dan perubahan yang merugikan (kerusakan bahan pangan). Dari mikroorganisme yang memfermentasi bahan pangan, yang paling penting adalah bakteri pembentuk asam laktat, asam asetat, dan beberapa jenis khamir penghasil alkohol. Jenis-jenis mikroorganisme yang berperan dalam teknologi fermentasi adalah :

2.2.1 Bakteri Asam Laktat. Dari kelompok ini termasuk bakteri yang menghasilkan sejumlah besar asam laktat sebagai hasil akhir dari metabolisme gula (karbohidrat). Asam laktat yang dihasilkan dengan cara tersebut akan menurunkan nilai pH dari lingkungan pertumbuhannya dan menimbulkan rasa asam. Ini juga menghambat pertumbuhan dari beberapa jenis mikroorganisme lainnya. Dua kelompok kecil mikroorganisme dikenal dari kelompok ini yaitu organismeorganisme yang bersifat homofermentative dan heterofermentative. Jenis-jenis homofermentatif yang terpenting hanya menghasilkan asam laktat dari metabolisme gula, sedangkan jenis-jenis heterofermentatif menghasilkan karbondioksida dan sedikit asam-asam volatil lainnya, alkohol, dan ester disamping asam laktat.

Beberapa jenis yang penting dalam kelompok ini: 1. *Streptococcus thermophilus*, *Streptococcus lactis* dan *Streptococcus cremoris*. Semuanya ini adalah bakteri gram positif, berbentuk bulat 5 (coccus) yang terdapat sebagai rantai dan semuanya mempunyai nilai ekonomis penting dalam industri susu. 2. *Pediococcus cerevisiae*. Bakteri ini adalah gram positif berbentuk bulat, khususnya terdapat berpasangan atau berempat (tetrads). Walaupun jenis ini tercatat sebagai perusak bir dan anggur, bakteri ini berperan penting dalam fermentasi daging dan sayuran. 3. *Leuconostoc mesenteroides*, *Leuconostoc dextranicum*. Bakteri ini adalah gram positif berbentuk bulat yang terdapat secara berpasangan atau rantai pendek. Bakteri-bakteri ini berperan dalam perusakan larutan gula dengan produksi pertumbuhan dekstran berlendir. Walaupun demikian, bakteri-bakteri ini merupakan jenis yang penting dalam permulaan fermentasi sayuran dan juga ditemukan dalam sari buah, anggur, dan bahan pangan lainnya. 4. *Lactobacillus lactis*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus delbrueckii*. Organismeorganisme ini adalah bakteri berbentuk batang, gram positif dan sering berbentuk pasangan dan rantai dari sel-selnya. Jenis ini

umumnya lebih tahan terhadap keadaan asam dari pada jenis-jenis *Pediococcus* atau *Streptococcus* dan oleh karenanya menjadi lebih banyak terdapat pada tahapan terakhir dari fermentasi tipe asam laktat. Bakteri-bakteri ini penting sekali dalam fermentasi susu dan sayuran (Suprihatin, 2010) Arti kata fermentasi selama ini berubah-ubah. Kata fermentasi berasal dari Bahasa Latin “fervere” yang berarti merebus (to boil). Arti kata dari Bahasa Latin tersebut dapat dikaitkan dengan kondisi cairan bergelembung atau mendidih. Keadaan ini disebabkan adanya aktivitas ragi pada ekstraksi buah-buahan atau biji-bijian. Gelembung-gelembung karbondioksida dihasilkan dari katabolisme anaerobik terhadap kandungan gula.

Fermentasi mempunyai arti yang berbeda bagi ahli biokimia dan mikrobiologi industri. Arti setiap proses untuk menghasilkan produk dari pembiakan mikroorganisme fermentasi pada bidang biokimia dihubungkan dengan pembangkitan energi oleh katabolisme senyawa organik. Pada bidang mikrobiologi industri, fermentasi mempunyai arti yang lebih luas, yang menggambarkan setiap proses untuk menghasilkan produk dari pembiakan mikroorganisme.

Perubahan arti kata fermentasi sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh para ahli. Arti kata fermentasi berubah pada saat Gay Lussac berhasil melakukan penelitian yang menunjukkan penguraian gula menjadi alkohol dan karbondioksida. Selanjutnya Pasteur melakukan penelitian mengenai penyebab perubahan sifat bahan yang difermentasi, sehingga dihubungkan dengan mikroorganisme dan akhirnya dengan enzim.

Untuk beberapa lama fermentasi terutama dihubungkan dengan karbohidrat, bahkan sampai sekarang pun masih sering digunakan. Padahal pengertian fermentasi tersebut lebih luas lagi, menyangkut juga perombakan protein dan lemak oleh aktivitas mikroorganisme.

Meskipun fermentasi sering dihubungkan dengan pembentukan gas yang disebabkan oleh mikroorganisme yang hidup, pada saat ini pembentukan gas maupun terdapatnya sel mikroorganisme hidup tidak merupakan kriteria yang esensial. Dalam beberapa proses fermentasi misalnya fermentasi asam laktat, tidak ada gas yang dibebaskan. Fermentasi dapat juga berlangsung (meskipun jarang terjadi) dengan menggunakan ekstrak enzim yang berfungsi sebagai katalisator reaksi.

Dari uraian diatas dapat disarikan bahwa fermentasi mempunyai pengertian suatu proses terjadinya perubahan kimia pada suatu substrat organik melalui aktivitas enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme.

Untuk hidup semua mikroorganisme membutuhkan sumber energi yang diperoleh dari metabolisme bahan pangan dimana mikroorganisme berada di dalamnya. Bahan baku energi yang paling banyak digunakan oleh mikroorganisme adalah glukosa. Dengan adanya oksigen, beberapa mikroorganisme mencerna glukosa dan menghasilkan air, karbondioksida, dan

sejumlah besar energi (ATP) yang digunakan untuk tumbuh. Ini adalah metabolisme tipe aerobik. Akan tetapi beberapa mikroorganisme dapat mencerna bahan baku energinya tanpa adanya oksigen dan sebagai hasilnya bahan baku energi ini hanya sebagian yang dipecah. Bukan air, karbondioksida, dan sejumlah besar energi yang dihasilkan, tetapi hanya sejumlah kecil energi, karbondioksida, air, dan produk akhir metabolik organik lain yang dihasilkan. Zat-zat produk akhir ini termasuk sejumlah besar asam laktat, asam asetat, dan etanol, serta sejumlah kecil asam organik volatil lainnya, alkohol dan ester dari alkohol tersebut. Pertumbuhan yang terjadi tanpa adanya oksigen sering dikenal sebagai fermentasi.

B .EVALUASI BELAJAR

1. Rangkuman

Fermentasi mempunyai arti yang berbeda bagi ahli biokimia dan mikrobiologi industri. Arti fermentasi pada bidang biokimia dihubungkan dengan pembangkitan energi oleh katabolisme senyawa organik. Pada bidang mikrobiologi industri, fermentasi mempunyai arti yang lebih luas, yang menggambarkan setiap proses untuk menghasilkan produk dari pembiakan mikroorganisme. Perubahan arti kata fermentasi sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh para ahli. Arti kata fermentasi berubah pada saat Gay Lussac berhasil melakukan penelitian yang menunjukkan penguraian gula menjadi alkohol dan karbondioksida. Selanjutnya Pasteur melakukan penelitian mengenai penyebab perubahan sifat bahan yang difermentasi, sehingga dihubungkan dengan mikroorganisme dan akhirnya dengan enzim. Untuk beberapa lama fermentasi terutama dihubungkan dengan karbohidrat, bahkan sampai sekarang pun masih sering digunakan. Padahal pengertian fermentasi tersebut lebih luas lagi, menyangkut juga perombakan protein dan lemak oleh aktivitas mikroorganisme (Suprihatin, 2010).

Arti kata fermentasi selama ini berubah-ubah. Kata fermentasi berasal dari Bahasa Latin “fervere” yang berarti merebus (to boil). Arti kata dari Bahasa Latin tersebut dapat dikaitkan dengan kondisi cairan bergelembung atau mendidih. Fermentasi mempunyai arti yang berbeda bagi ahli biokimia dan mikrobiologi industri. Arti setiap proses untuk menghasilkan produk dari pembiakan mikroorganisme fermentasi pada bidang biokimia dihubungkan dengan pembangkitan energi oleh katabolisme senyawa organik. Pada bidang mikrobiologi industri, fermentasi mempunyai arti yang lebih luas, yang menggambarkan setiap proses untuk menghasilkan produk dari pembiakan mikroorganisme.

Perubahan arti kata fermentasi sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh para ahli. Arti kata fermentasi berubah pada saat Gay Lussac berhasil melakukan penelitian yang

menunjukkan penguraian gula menjadi alkohol dan karbondioksida. Selanjutnya Pasteur melakukan penelitian mengenai penyebab perubahan sifat bahan yang difermentasi, sehingga dihubungkan dengan mikroorganisme dan akhirnya dengan enzim.

Dari uraian diatas dapat disarikan bahwa fermentasi mempunyai pengertian suatu proses terjadinya perubahan kimia pada suatu substrat organik melalui aktivitas enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Untuk beberapa lama fermentasi terutama dihubungkan dengan karbohidrat, bahkan sampai sekarang pun masih sering digunakan. Padahal pengertian fermentasi tersebut lebih luas lagi, menyangkut juga perombakan protein dan lemak oleh aktivitas mikroorganisme.

2. Latihan

1. Apa yang dimaksud dengan fermentasi ?
2. Apa bahan baku proses fermentasi ?

3. Tugas

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan ATP !
2. Apakah proses fermentasi dapat dilakukan pada kondisi tanpa oksigen ? Jelaskan jawaban anda !

C. Penilaian Tugas

- 1) Tugas dibuat dalam eleraning UPY

D. Daftar Pustaka

Arpiwi NL, (2015). *Petunjuk Praktikum Bioenergi*, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali

Dwidjoseputro, D, (1994). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Edisi ke-12, Djambatan, Jakarta

Sikyta, B, *Methods In Industrial Microbiology*. Ellis Horwood Limited, Marked Cross

House, Cooper Street, Chichester, Sussex, England

Suprihatin. (2010). *Modul Teknologi Fermentasi*, Universitas Negri Surabaya, UNESA Press, Surabaya

Fardiaz, S, (1988). *Fisiologi Fermentasi*. Pusat Adiministrasi Universitas, IPB, Bogor

BAB II

PERANAN MIKROORGANISME

A. Mikroorganisme

Fermentasi bahan pangan adalah sebagai hasil kegiatan beberapa jenis mikroorganisme baik bakteri, khamir, dan kapang. Mikroorganisme yang memfermentasi bahan pangan dapat menghasilkan perubahan yang menguntungkan (produk-produk fermentasi yang diinginkan) dan perubahan yang merugikan (kerusakan bahan pangan). Dari mikroorganisme yang memfermentasi bahan pangan, yang paling penting adalah bakteri pembentuk asam laktat, asam asetat, dan beberapa jenis khamir penghasil alkohol. Jenis-jenis mikroorganisme yang berperan dalam teknologi fermentasi adalah :

Bakteri Asam Laktat.

Dari kelompok ini termasuk bakteri yang menghasilkan sejumlah besar asam laktat sebagai hasil akhir dari metabolisme gula (karbohidrat). Asam laktat yang dihasilkan dengan cara tersebut akan menurunkan nilai pH dari lingkungan pertumbuhannya dan menimbulkan rasa asam. Ini juga menghambat pertumbuhan dari beberapa jenis mikroorganisme lainnya. Dua kelompok kecil mikroorganisme dikenal dari kelompok ini yaitu organisme-organisme yang bersifat homofermentative dan heterofermentative.

Jenis-jenis homofermentatif yang terpenting hanya menghasilkan asam laktat dari metabolisme gula, sedangkan jenis-jenis heterofermentatif menghasilkan karbondioksida dan sedikit asam-asam volatil lainnya, alkohol, dan ester disamping asam laktat.

Beberapa jenis yang penting dalam kelompok ini:

1. *Streptococcus thermophilus*, *Streptococcus lactis* dan *Streptococcus cremoris*. Semuanya ini adalah bakteri gram positif, berbentuk bulat (coccus) yang terdapat sebagai rantai dan semuanya mempunyai nilai ekonomis penting dalam industri susu
2. *Pediococcus cerevisiae*. Bakteri ini adalah gram positif berbentuk bulat, khususnya terdapat berpasangan atau berempat (tetrads). Walaupun jenis ini tercatat sebagai perusak bir dan anggur, bakteri ini berperan penting dalam fermentasi daging dan sayuran
3. *Leuconostoc mesenteroides*, *Leuconostoc dextranicum*. Bakteri ini adalah gram positif berbentuk bulat yang terdapat secara berpasangan atau rantai pendek. Bakteri-bakteri ini berperan dalam perusakan larutan gula dengan produksi pertumbuhan dekstran berlendir. Walaupun demikian, bakteri-bakteri ini merupakan jenis yang penting dalam permulaan fermentasi sayuran dan juga ditemukan dalam sari buah, anggur, dan bahan pangan lainnya

4. *Lactobacillus lactis*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus delbrueckii*. Organisme-organisme ini adalah bakteri berbentuk batang, gram positif dan sering berbentuk pasangan dan rantai dari sel-selnya. Jenis ini umumnya lebih tahan terhadap keadaan asam dari pada jenis-jenis *Pediococcus* atau *Streptococcus* dan oleh karenanya menjadi lebih banyak terdapat pada tahapan terakhir dari fermentasi tipe asam laktat. Bakteri-bakteri ini penting sekali dalam fermentasi susu dan sayuran

Bakteri Asam Propionat

Jenis-jenis yang termasuk kelompok ini ditemukan dalam golongan *Propionibacterium*, berbentuk batang dan merupakan gram positif. Bakteri ini penting dalam fermentasi bahan pangan karena kemampuannya memfermentasi karbohidrat dan juga asam laktat dan menghasilkan asam-asam propionat, asetat, dan karbondioksida. Jenis-jenis ini penting dalam fermentasi keju Swiss

Bakteri Asam asetat

Bakteri ini berbentuk batang, gram negatif dan ditemukan dalam golongan *Acetobacter* sebagai contoh *Acetobacter aceti*. Metabolismenya lebih bersifat aerobik (tidak seperti spesies tersebut di atas), tetapi peranannya yang utama dalam fermentasi bahan pangan adalah kemampuannya dalam mengoksidasi alkohol dan karbohidrat lainnya menjadi asam asetat dan dipergunakan dalam pabrik cuka

Khamir

Khamir sejak dulu berperan dalam fermentasi yang bersifat alkohol dimana produk utama dari metabolismenya adalah etanol. *Saccharomyces cerevisiae* adalah jenis yang utama yang berperan dalam produksi minuman beralkohol seperti bir dan anggur dan juga digunakan untuk fermentasi adonan dalam perusahaan roti

Kapang

Kapang jenis-jenis tertentu digunakan dalam persiapan pembuatan beberapa macam keju dan beberapa fermentasi bahan pangan Asia seperti kecap dan tempe. Jenis-jenis yang termasuk golongan *Aspergillus*, *Rhizopus*, dan *Penicillium* sangat penting dalam kegiatan tersebut. Dalam proses fermentasi, mikroorganisme harus mempunyai 3 karakteristik penting yaitu:

1. Mikroorganisme harus mampu tumbuh dengan cepat dalam suatu substrat dan lingkungan yang cocok untuk memperbanyak diri
2. Mikroorganisme harus memiliki kemampuan untuk mengatur ketahanan fisiologi dan memiliki enzim-enzim esensial yang mudah dan banyak supaya perubahan-perubahan

kimia yang dikehendaki dapat terjadi

3. Kondisi lingkungan yang diperlukan bagi pertumbuhan harus sesuai supaya produksi maksimum

Berdasarkan sumber mikroorganisme, proses fermentasi dibagi 2 dua yaitu:

- (1) fermentasi spontan, adalah fermentasi bahan pangan dimana dalam pembuatannya tidak ditambahkan mikroorganisme dalam bentuk starter atau ragi, tetapi mikroorganisme yang berperan aktif dalam proses fermentasi berkembang baik secara spontan karena lingkungan hidupnya dibuat sesuai untuk pertumbuhannya, dimana aktivitas dan pertumbuhan bakteri asam laktat dirangsang karena adanya garam, contohnya pada pembuatan sayur asin
- (2) fermentasi tidak spontan adalah fermentasi yang terjadi dalam bahan pangan yang dalam pembuatannya ditambahkan mikroorganisme dalam bentuk starter atau ragi, dimana mikroorganisme tersebut akan tumbuh dan berkembangbiak secara aktif merubah bahan yang difermentasi menjadi produk yang diinginkan, contohnya pada pembuatan tempe dan oncom

B. EVALUASI BELAJAR

1. Rangkuman

Fermentasi bahan pangan adalah sebagai hasil kegiatan beberapa jenis mikroorganisme baik bakteri, khamir, dan kapang. Mikroorganisme yang memfermentasi bahan pangan dapat menghasilkan perubahan yang menguntungkan (produk-produk fermentasi yang diinginkan) dan perubahan yang merugikan (kerusakan bahan pangan). Dari mikroorganisme yang memfermentasi bahan pangan, yang paling penting adalah bakteri pembentuk asam laktat, asam asetat, dan beberapa jenis khamir penghasil alkohol.

Selain itu, berdasarkan sumber mikroorganisme, proses fermentasi dibagi 2 dua yaitu:

- (1) fermentasi spontan, adalah fermentasi bahan pangan dimana dalam pembuatannya tidak ditambahkan mikroorganisme dalam bentuk starter atau ragi, tetapi mikroorganisme yang berperan aktif dalam proses fermentasi berkembang baik secara spontan karena lingkungan hidupnya dibuat sesuai untuk pertumbuhannya, dimana aktivitas dan pertumbuhan bakteri asam laktat dirangsang karena adanya garam, contohnya pada pembuatan sayur asin
- (2) fermentasi tidak spontan adalah fermentasi yang terjadi dalam bahan pangan yang dalam pembuatannya ditambahkan mikroorganisme dalam bentuk starter atau ragi, dimana mikroorganisme tersebut akan tumbuh dan berkembangbiak secara aktif

merubah bahan yang difermentasi menjadi produk yang diinginkan, contohnya pada pembuatan tempe dan oncom

2. Latihan

1. Apa saja bakteri penghasil alkohol yang anda ketahui ? Sebutkan !
2. Pada pembuatan tempe, mikroorganismenya apa saja yang dapat digunakan ?
3. Apa perbedaan fermentasi spontan dan tidak spontan ?

3. Tugas

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan salah satu sifat mikroorganismenya potensial yaitu harus mampu tumbuh dengan cepat dalam suatu substrat ?
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan asam laktat ? Serta dari proses apakah senyawa ini dihasilkan ?

C. Penilaian Tugas

- 1) Tugas dibuat di blog mahasiswa
- 2) Blog di link ke web hybrid learning
- 3) Blog tersebut harus mencantumkan logo dan nama Universitas PGRI Yogyakarta
- 4) Diselesaikan sebelum batas akhir penyerahan tugas

D. Daftar Pustaka

Arpiwi NL, (2015). *Petunjuk Praktikum Bioenergi*, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali

Dwidjoseputro, D, (1994). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Edisi ke-12, Djambatan, Jakarta
Sikyta, B, *Methods In Industrial Microbiology*. Ellis Horwood Limited, Market Cross

House, Cooper Street, Chichester, Sussex, England

Suprihatin. (2010). *Modul Teknologi Fermentasi*, Universitas Negri Surabaya, UNESA Press, Surabaya

Fardiaz, S, (1988). *Fisiologi Fermentasi*. Pusat Administrasi Universitas, IPB, Bogor

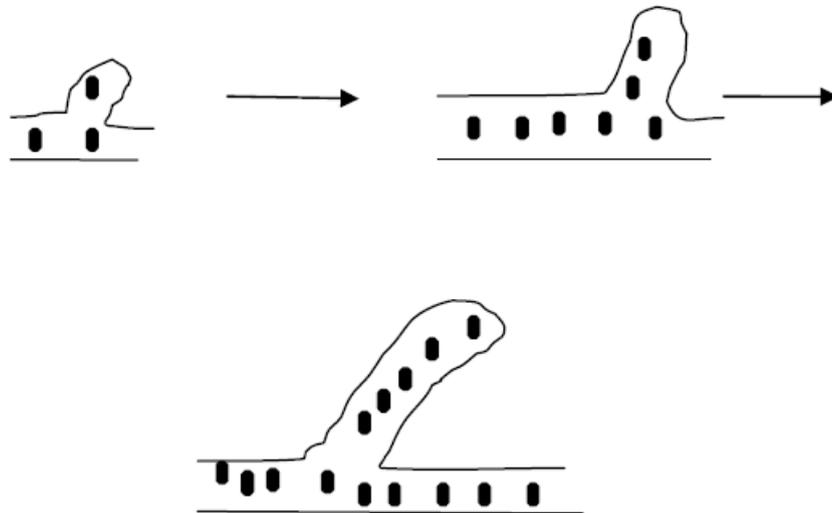
BAB III

PERTUMBUHAN MIKROORGANISME

A. Pertumbuhan Mikroorganisme

DEFINISI PERTUMBUHAN

Pertumbuhan didefinisikan sebagai penambahan secara teratur semua komponen didalam sel hidup. Pada organisme multiseluler, pertumbuhan adalah peningkatan jumlah sel per organisme, dimana ukuran sel juga menjadi lebih besar. Pada organisme iniseluler (bersel tunggal) yang disebut pertumbuhan adalah penambahan jumlah sel, yang berarti juga penambahan jumlah organisme, misalnya pertumbuhan yang terjadi pada suatu kultur mikroba. Pada organisme soenositik, selama pertumbuhan ukuran sel menjadi bertambah besar tetapi tidak terjadi pembelahan sel. Hal ini dapat digambarkan sebagai berikut



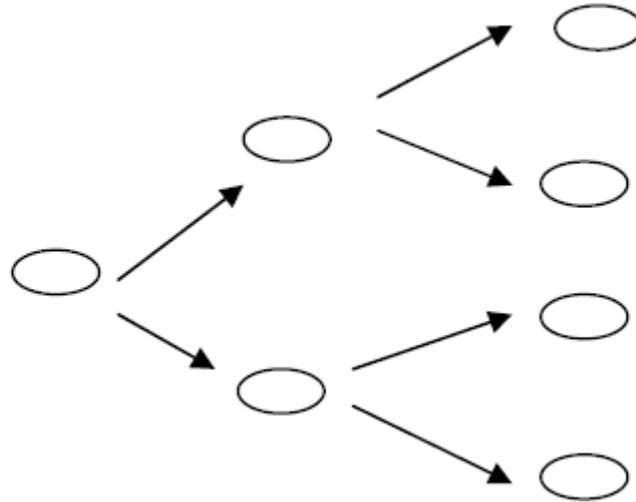
Gambar 1. Pertumbuhan Sel Soenositik

Pertumbuhan disebut dalam keadaan keseimbangan jika terjadi secara teratur pada kondisi konstan, sehingga jumlah penambahan komponen kimia juga konstan. Sebagai contoh, penambahan jumlah masa sel sebanyak dua kali dalam keadaan keseimbangan akan mengakibatkan penambahan jumlah komponen sel seperti air, protein, RNA, DNA dan sebagainya sebanyak dua kali pula. Umur suatu sel ditentukan setelah pembelahan sel selesai, sedangkan umur kultur ditentukan dari waktu atau lamanya inkubasi. Ukuran sel tergantung dari kecepatan pertumbuhan. Semakin baik zat nutrisi didalam substratnya mengakibatkan pertumbuhan sel semakin cepat dan ukuran sel semakin besar.

PERTUMBUHAN SEL BAKTERI

Bakteri adalah sel prokariotik yang tumbuh dengan cara pembelahan biner, dimana satu sel akan membelah secara simetris menjadi dua sel. Tahap-tahap yang terjadi selama pembelahan adalah sebagai berikut :

1. Mula-mula terjadi peningkatan jumlah komponen-komponen sel termasuk DNA sehingga ukuran sel juga bertambah besar
2. Terjadi pembelahan sel yang dimulai dengan pertumbuhan dinding sel, pembentukan spektum dan pemisahan septum, dimana masing-masing anak sel mempunyai setengah dinding sel induknya



Gambar 2. Pembelahan Biner pada Bakteri

KHAMIR

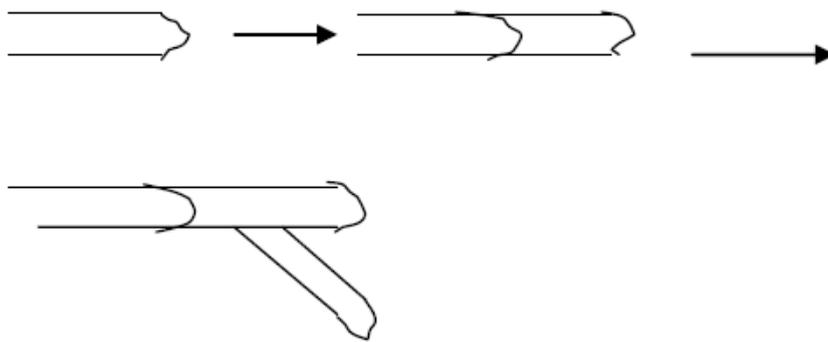
Khamir adalah sel eukariotik yang berbeda dengan kapang dalam beberapa hal yaitu :

1. Khamir tidak membentuk spora aseksual seperti pada kapang
2. Selama siklus pertumbuhan vegetatif, khamir umumnya terdapat dalam bentuk sel tunggal. Khamir dapat tumbuh dengan cara membentuk tunas (budding) atau membelah (fission), atau campuran dari pertunasan dan pembelahan (bud-fission). Anak sel yang terbentuk kadang-kadang tidak melepaskan diri dari induknya sehingga membentuk pseudomiselium

Gambar 3. Pertumbuhan Sel Khamir

KAPANG

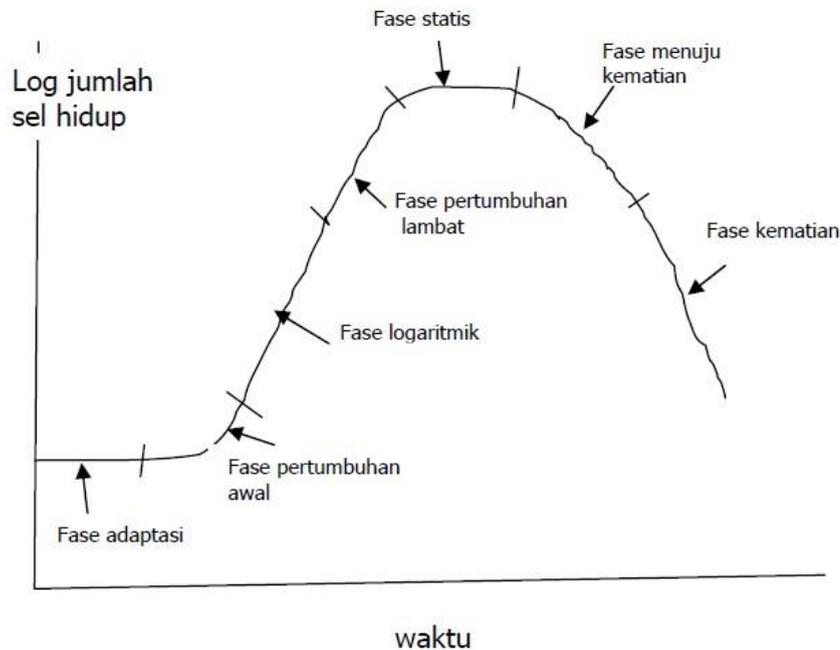
Kapang adalah organisme eukariotik yang tumbuh dengan cara perpanjangan hifa. Hifa yang terbentuk kadang-kadang bersifat multinukleat dengan diameter 2 — 10 μm . Pertumbuhan dengan cara perpanjangan hifa juga terjadi pada beberapa khamir aerobik dan bakteri yang tergolong Actinomycetes seperti Actinomyces, Streptomyces, dan Nocardia. Pada Actinomycetes hifa yang terbentuk mempunyai diameter yang lebih kecil ($\pm 1\mu\text{m}$) dengan ukuran yang lebih pendek. Panjang hifa dipengaruhi oleh kondisi pertumbuhan. Jika tumbuh pada permukaan medium, hifa berukuran sangat panjang, sedangkan jika tumbuh dibawah permukaan (terendam), hifa akan terputus-putus sehingga ukurannya lebih pendek tetapi bercabang-cabang. Semakin cepat pengocokan pada kultur terendam. Semakin pendek hifa yang terbentuk



Gambar 4. Pertumbuhan Miselium

KURVA PERTUMBUHAN

Pertumbuhan mikroba didalam suatu kultur mempunyai kurva seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 5. Kurva Tumbuh

FASE ADAPTASI

Jika mikroba dipindahkan kedalam suatu medium, mula-mula akan mengalami fase adaptasi untuk menyesuaikan dengan kondisi lingkungan disekitarnya. Lamanya fase adaptasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya :

1. Medium dan lingkungan pertumbuhan. Jika medium dan lingkungan pertumbuhansama seperti medium dan lingkungan sebelumnya, mungkin tidak diperlukan waktu adaptasi . Tetapi jika nutrien yang tersedia dan kondisi lingkungan yang baru berbeda dengan sebelumnya, diperlukan waktu penyesuaian untuk mensintesa enzim-enzim
2. Jumlah inokulum. Jumlah awal sel yang semakin tinggi akan mempercepat fase adaptasi Fase adaptasi mungkin berjalan lambat karena beberapa sebab, misalnya :
 1. Kultur dipindahkan dari medium yang kaya nutrien ke medium yang kandungan nutriennya terbatas
 2. Mutan yang baru dipindahkan dari fase statis ke medium baru dengan komposisi sama seperti sebelumnya

FASE PERTUMBUHAN AWAL.

Setelah mengalami fase adaptasi, mikroba mulai membelah dengan kecepatan yang

rendah karena baru mulai menyesuaikan diri

FASE PERTUMBUHAN LOGARITMIK

Pada fase ini mikroba membelah dengan cepat dan konstan mengikuti kurva logaritmik. Pada fase ini kecepatan pertumbuhan sangat dipengaruhi oleh medium tempat tumbuhnya seperti pH dan kandungan nutrisi, juga kondisi lingkungan termasuk suhu dan kelembaban udara. Pada fase ini mikroba membutuhkan energi lebih banyak daripada fase lainnya. Pada fase ini kultur paling sensitif terhadap keadaan lingkungan

FASE PERTUMBUHAN LAMBAT

Pada fase ini pertumbuhan populasi mikroba diperlambat karena beberapa sebab :

1. Zat-zat nutrisi didalam medium sudah sangat berkurang
2. Adanya hasil-hasil metabolisme yang mungkin beracun atau dapat menghambat pertumbuhan mikroba. Pada fase ini jumlah populasi masih naik karena jumlah sel yang tumbuh masih lebih banyak dari pada jumlah sel yang mati

FASE PERTUMBUHAN TETAP (STATIS).

Pada fase ini jumlah populasi sel tetap karena jumlah sel yang tumbuh sama dengan jumlah sel yang mati. Ukuran sel pada fase ini menjadi lebih kecil-kecil karena sel tetap membelah meskipun zat-zat nutrisi sudah habis. Karena kekurangan zat nutrisi, sel kemungkinan mempunyai komposisi berbeda dengan sel yang tumbuh pada fase logaritmik. Pada fase ini sel-sel lebih tahan terhadap keadaan ekstrim seperti panas, dingin, radiasi dan bahan-bahan kimia

FASE MENUJU KEMATIAN DAN FASE KEMATIAN

Pada fase ini sebagian mikroba mulai mengalami kematian karena beberapa sebab yaitu :

1. Nutrien didalam medium sudah habis
2. Energi cadangan didalam sel habis. Kecepatan kematian tergantung dari kondisi nutrisi, lingkungan dan jenis mikroba

PENGARUH NUTRIEN DAN LINGKUNGAN TERHADAP KECEPATAN PERTUMBUHAN MIKROBA

Perbedaan dalam anatomi mikroba dan mekanisme pertumbuhan menyebabkan perbedaan dalam kecepatan pertumbuhan. Pada umumnya semakin kompleks struktur suatu organisme, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk membelah diri atau semakin lama waktu generasinya. Oleh karena itu, bakteri mempunyai waktu generasi yang paling cepat, diikuti oleh khamir dan kapang, sedangkan protozoa mempunyai waktu generasi yang paling

lama

Pengaruh Nutrien

Kecepatan pertumbuhan pada fase logaritmik dipengaruhi oleh tersedianya nutrien didalam medium dan dapat mencapai maksimum. Kecepatan pertumbuhan mempengaruhi ukuran sel dan jumlah asam nukleat di dalam sel. Semakin tinggi kecepatan pertumbuhan semakin besar ukuran sel dan semakin tinggi jumlah asam nukleat di dalam sel. Demikian pula semakin tinggi kecepatan pertumbuhan akan meningkatkan jumlah massa sel dan ribosoma per unit DNA

Pengaruh Suhu

Pengaruh suhu terhadap kecepatan pertumbuhan spesifik mikroba dapat digolongkan menjadi :

1. Psikrofilik
2. Mesofilik
3. Termofilik

Suhu juga mempengaruhi efisiensi konversi substrat (karbonenergi) menjadi massa sel . Pada umumnya yield konversi maksimum terjadi pada suhu yang lebih rendah dari pada suhu dimana kecepatan pertumbuhan maksimum.Hal ini penting dalam proses optimasi dimana diinginkan kecepatan pertumbuhan maksimum tetapi bukan yield pertumbuhan maksimum

Pengaruh Aktifitas air

Air sangat penting untuk pertumbuhan mikroba karena selain merupakan 80% dari berat sel mikroba juga karena air berfungsi sebagai reaktan misalnya dalam reaksi hidrolisis,dan sebagai produk misalnya dari reduksi oksigen dalam sistem transpor elektron

Pengaruh pH

Kebanyakan mikroba dapat tumbuh pada kisaran pH sebesar 3 – 4 unit pH atau pada kisaran 1000 – 10.000 kali konsentrasi ion hidrogen. Kebanyakan bakteri mempunyai pH optimum sekitar pH 6.5 – 7.5. Dibawah 5.0 dan diatas 8.5 bakteri tidak tumbuh dengan baik. Khamir menyukai pH 4 – 5 dan tumbuh pada kisaran pH 2.5 – 8.5. Oleh karena itu untuk menumbuhkan khamir biasanya dilakukan pada pH rendah untuk mencegah kontaminasi bakteri. Kapang mempunyai pH optimum antara 5 dan 7 dan dapat tumbuh pada kisaran pH 3 – 8.5.

Nilai pH untuk pertumbuhan mikroba mempunyai hubungan dengan suhu pertumbuhannya. Jika suhu pertumbuhan naik, pH optimum untuk pertumbuhan juga naik.

Dalam fermentasi, kontrol pH penting sekali dilakukan karena pH yang optimum harus

dipertahankan selama fermentasi. Perubahan pH dapat terjadi selama fermentasi karena H⁺ dilepaskan selama konsumsi NH₄⁺ dan dikonsumsi selama metabolisme NO₃⁻ dan penggunaan asam amino sebagai sumber karbon.

Pengaruh Oksigen

Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, mikroba dapat dibedakan yaitu mikroba yang bersifat aerobik, anaerobik dan anaerobik fakultatif. Kapang dan khamir pada umumnya bersifat aerobik, sedangkan bakteri dapat bersifat aerobik dan anaerobik. Dalam fermentasi menggunakan mikroba aerobik, aerasi selama proses fermentasi sangat berpengaruh terhadap produk akhir yang dihasilkan.

Setiap bakteri mempunyai suatu enzim yang tergolong flavoprotein yang dapat bereaksi dengan oksigen membentuk senyawa-senyawa beracun yaitu H₂O₂ dan suatu radikal bebas yaitu O²⁻.



Bakteri yang bersifat aerobik mempunyai enzim-enzim yaitu superoksida dismutase yang memecah radikal bebas tersebut, dan enzim katalase yang memecah H₂O₂ sehingga menghasilkan senyawa-senyawa akhir yang tidak beracun.

Bakteri yang bersifat anaerobik fakultatif juga mempunyai enzim superoksida dismutase, tetapi tidak mempunyai enzim katalase, melainkan mempunyai enzim peroksidase yang mengkatalis reaksi antara H₂O₂ dengan senyawa organik, menghasilkan senyawa yang tidak beracun.

Bakteri yang bersifat anaerobik tidak mempunyai enzim superoksida dismutase maupun katalase, oleh karena itu oksigen merupakan racun bagi bakteri tersebut karena terbentuknya H₂O₂ dan O²⁻.

CARA MENGUKUR PERTUMBUHAN MIKROBA.

Dalam fermentasi biasanya perlu dilakukan pengukuran jumlah mikroba untuk mengetahui kecepatan pertumbuhannya. Pengukuran jumlah mikroba dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu secara langsung atau tidak langsung, yang dapat dibedakan atas beberapa kelompok sebagai berikut :

A. Pengukuran jumlah sel, dengan cara :

- Perhitungan mikroskopik langsung (Petroff- Hausser, hemasitometer)
- Hitungan cawan (menghitung sel yang hidup)
- Perhitungan sel secara otomatis (menggunakan coulter counter atau Flow Cytometer)

B. Pengukuran massa sel, dengan cara :

- Pengukuran berat sel kering
- Kekeruhan
- Volume sel yang dipadatkan (PVC = Packed sell volume)

C. Pendugaan massa sel secara tidak langsung

- Pengukuran konsumsi nutrien
- Pengukuran komponen sel
- Pengukuran produk yang terbentuk
- Pengukuran panas fermentasi
- Perubahan viskositas

Cara pengukuran yang paling sering digunakan untuk mengukur kecepatan pertumbuhan mikroba dalam proses fermentasi adalah pengukuran massa sel, baik secara langsung maupun tidak langsung. Sedangkan pengukuran jumlah sel dilakukan dengan cara mikroskopik dan hitungan cawan.

B. EVALUASI BELAJAR

1. Rangkuman

Pertumbuhan didefinisikan sebagai penambahan secara teratur semua komponen didalam sel hidup. Pada organisme multiseluler, pertumbuhan adalah peningkatan jumlah sel per organisme, dimana ukuran sel juga menjadi lebih besar. Pada organisme iniseluler (bersel tunggal) yang disebut pertumbuhan adalah penambahan jumlah sel, yang berarti juga penambahan jumlah organisme, misalnya pertumbuhan yang terjadi pada suatu kultur mikroba. Selain itu, bakteri adalah sel prokariotik yang tumbuh dengan cara pembelahan biner, dimana satu sel akan membelah secara simetris menjadi dua sel. Sedangkan khamir adalah sel eukariotik yang berbeda dengan kapang dalam beberapa hal yaitu tidak membentuk spora aseksual seperti pada kapang, serta selama siklus pertumbuhan vegetatif, khamir umumnya terdapat dalam bentuk sel tunggal. Khamir dapat tumbuh dengan cara membentuk tunas (budding) atau membelah (fission), atau campuran dari pertunasan dan pembelahan (bud-fission). Tetapi pada kapang yang berupa organisme eukariotik yang tumbuh dengan cara perpanjangan hifa, hifa yang terbentuk kadang-kadang bersifat multinukleat dengan diameter 2 — 10 μm .

Pada mikroorganisme dikenal adanya kurva tumbuh yang merepresentasikan daur / siklus kehidupannya yang terdiri dari beberapa fase yaitu fase adaptasi, fase pertumbuhan awal, fase pertumbuhan logaritmik, fase pertumbuhan lambat, fase pertumbuhan tetap (statis), fase menuju kematian, dan fase kematian.

Perbedaan dalam anatomi mikroba dan mekanisme pertumbuhan menyebabkan perbedaan dalam kecepatan pertumbuhan. Pada umumnya semakin kompleks struktur sel suatu organisme, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk membelah diri atau semakin lama waktu generasinya. Oleh karena itu, bakteri mempunyai waktu generasi yang paling cepat, diikuti oleh khamir dan kapang, sedangkan protozoa mempunyai waktu generasi yang paling lama.

Untuk mengukur pertumbuhan mikroba dilakukan guna mengetahui kecepatan pertumbuhannya. Pengukuran jumlah mikroba dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu secara langsung atau tidak langsung, yang dapat dibedakan atas pengukuran jumlah sel, pengukuran massa sel, dan pendugaan massa sel secara tidak langsung. Sedangkan, cara pengukuran yang paling sering digunakan untuk mengukur kecepatan pertumbuhan mikroba dalam proses fermentasi adalah pengukuran massa sel, baik secara langsung maupun tidak langsung.

2. Latihan

1. Apa yang dimaksud pertumbuhan mikroorganisme ?
2. Apa beda khamir, kapang, dan bakteri ?
3. Mengapa kita perlu melakukan perhitungan kurva tumbuh ?

3. Tugas

1. Gambarkan ilustrasi kurva tumbuh dari salah satu mikroorganisme yang anda ketahui !
2. Dilihat dari pengaruh suhu akan daur hidupnya, *E. coli* digolongkan pada organisme apa ? Jelaskan jawaban anda !
3. Sebutkan metode pengukuran jumlah koloni mikroorganisme yang anda ketahui !

C. Penilaian Tugas

- 1) Tugas dibuat di blog mahasiswa
- 2) Blog di link ke web hybrid learning.
- 3) Blog tersebut harus mencantumkan logo dan nama Universitas PGRI Yogyakarta
- 4) Diselesaikan sebelum batas akhir penyerahan tugas

D. Daftar Pustaka

Arpiwi NL, (2015). *Petunjuk Praktikum Bioenergi*, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali

Dwidjoseputro, D, (1994). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Edisi ke-12, Djambatan, Jakarta

Sikyta, B, *Methods In Industrial Microbiology*. Ellis Horwood Limited, Marked Cross

House, Cooper Street, Chichester, Sussex, England

Suprihatin. (2010). *Modul Teknologi Fermentasi*, Universitas Negri Surabaya, UNESA Press, Surabaya

Fardiaz, S, (1988). *Fisiologi Fermentasi*. Pusat Adiministrasi Universitas, IPB, Bogor

BAB IV

MIKROBA UNTUK INDUSTRI FERMENTASI

A. MATERI

Sumber Mikroba untuk industri

Mikroba yang umum digunakan dalam industri fermentasi terutama tergolong dalam bakteri dan fungi tingkat rendah yaitu kapang dan khamir. Selain digunakan dalam industri fermentasi, mikroba juga banyak digunakan untuk tujuan lain, misalnya dalam pengolahan limbah dan pembersihan bahan-bahan beracun, serta fiksasi nitrogen di bidang pertanian. Beberapa contoh penggunaan mikroba untuk industri :

1. Produksi massa sel : protein sel tunggal untuk makanan ternak dan manusia, pertisida (*Bacillus thuringiensis*)
2. Penggunaan bagian-bagian yang penting dari sel : biokatalis (enzim), antigen permukaan, protein lamelar untuk filter membran, polisakarida kapsul (kriptoxantin, xantan, alginat, skleran, kurdlan), pigmen, lipid (untuk biotransformasi lipid)
3. Produksi metabolisme primer : alkohol, asam organik, asam amino, kofaktor, vitamin (B12 dan riboflavin), metana, hidrogen
4. Produksi metabolisme sekunder : antibiotik, toksin, komponen flavor
5. Aplikasi aktivitas metabolisme mikroba dalam :
 - Pengawetan : keju, yoghurt, saurkraut, pickel, sosis, silase
 - Pengolahan : roti, kecap
 - Pengolahan limbah dan pembersihan bahan-bahan beracun : penghilangan fosfat, H₂S , hidrokarbon halogenasi
 - Pelarutan limbah untuk aplikasi selanjutnya : dekomposisi selulosa dan lignin, pelarutan pati, degradasi khitin, dekomposisi dinding sel khamir
 - Modifikasi struktur kimia dengan cara biotransformasi
6. Penggunaan mikroba sebagai inang untuk DNA sel lain dalam produksi hormon manusia, antigen virus dan lain-lain

Isolasi Mikroba

Mikroorganisme yang penting dalam industri fermentasi dapat diperoleh dari berbagai sumber di alam. Sebagai contoh, bakteri pembentuk spora yaitu *Bacillus* dan *Clostridium* sering ditemukan dari tanah, bakteri asam laktat sering ditemukan pada susu, bakteri asam asetat sering ditemukan pada sari buah, dan sebagainya.

Untuk mendapatkan isolat mikroba dari suatu bahan yang mengandung campuran mikroba dapat dilakukan dengan beberapa cara tergantung dari jenis mikroorganismenya.

Beberapa jenis isolasi :

1. Isolasi pada agar cawan. Cara untuk mengisolasi kultur pada agar cawan adalah dengan goresan kuadran. Pada bagian agar tempat dimulainya goresan, populasi mikroba biasanya terlalu pekat sehingga koloni akan berkumpul menjadi satu. Dengan semakin banyaknya goresan atau penyebaran yang dilakukan akan semakin sedikit sel mikroba yang terbawa oleh loop, sehingga setelah inkubasi akan terbentuk koloni-koloni secara terpisah
2. Isolasi dalam medium cair. Cara termudah untuk mengisolasi mikroba dalam medium cair adalah metode pengenceran. Dalam metode ini, inokulum diencerkan didalam medium steril, dan sejumlah tabung yang berisi medium diinokulasi dengan suspensi inokulum dari masing- masing pengenceran
3. Isolasi sel tunggal. Untuk mengisolasi sel mikroba yang ukurannya besar dan tidak dapat diisolasi dengan metode agar cawan atau pengenceran, ada suatu cara isolasi yang disebut isolasi sel tunggal. Sel mikroba yang dapat dilihat dengan pembesaran 100 kali atau kurang, setiap selnya dapat dipisahkan dan diambil menggunakan pipet kapiler yang sangat halus, kemudian dicuci beberapa kali didalam medium steril yang jumlah relatif besar untuk menghilangkan mikroba kontaminan yang ukurannya lebih kecil

B. EVALUASI BELAJAR

1. Rangkuman

Mikroba yang umum digunakan dalam industri fermentasi terutama tergolong dalam bakteri dan fungi tingkat rendah yaitu kapang dan khamir. Selain digunakan dalam industri fermentasi, mikroba juga banyak digunakan untuk tujuan lain, misalnya dalam pengolahan limbah dan pembersihan bahan-bahan beracun, serta fiksasi nitrogen di bidang pertanian.

Beberapa contoh penggunaan mikroba untuk industri yaitu untuk produksi massa sel : protein sel tunggal untuk makanan ternak dan manusia, pertisida (*Bacillus thuringiensis*), penggunaan bagian-bagian yang penting dari sel : biokatalis (enzim), antigen permukaan, protein lamelar untuk filter membran, polisakarida kapsul (kriptoxantin, xantan, alginat, skleran, kurdlan), pigmen, lipid (untuk biotransformasi lipid), produksi metabolisme primer : alkohol, asam organik, asam amino, kofaktor, vitamin (B12 dan riboflavin), metana, hidrogen serta produksi metabolisme sekunder : antibiotik, toksin, komponen flavor. Beberapa jenis isolasi yaitu isolasi pada agar cawan, isolasi dalam medium cair, serta isolasi sel tunggal.

2. Latihan

1. Apa saja aplikasi penggunaan mikroba pada teknologi fermentasi ? Sebutkan dan beri contoh !
2. Apakah bisa memanfaatkan makroorganisme pada teknologi fermentasi selain dari mikroorganisme ? Jelaskan jawaban anda !

3. Tugas

1. Apa saja teknik isolasi yang digunakan pada teknologi fermentasi ?
2. Apa kegunaan agar pada teknik isolasi ? Jelaskan !
3. Apa syarat pemilihan medium dalam teknologi fermentasi ? Jelaskan !

C. Penilaian Tugas

- 1) Tugas dibuat di blog mahasiswa
- 2) Blog di link ke web hybrid learning
- 3) Blog tersebut harus mencantumkan logo dan nama Universitas PGRI Yogyakarta
- 4) Diselesaikan sebelum batas akhir penyerahan tugas

D. Daftar Pustaka

Arpiwi NL, (2015). *Petunjuk Praktikum Bioenergi*, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali

Dwidjoseputro, D, (1994). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Edisi ke-12, Djambatan, Jakarta

Sikyta, B, *Methods In Industrial Microbiology*. Ellis Horwood Limited, Marked Cross

House, Cooper Street, Chichester, Sussex, England

Suprihatin. (2010). *Modul Teknologi Fermentasi*, Universitas Negri Surabaya, UNESA Press, Surabaya

Fardiaz, S, (1988). *Fisiologi Fermentasi*. Pusat Adiministrasi Universitas, IPB, Bogor

BAB V

SUBSTRAT FERMENTASI

A. Substrat Fermentasi

Pemilihan Substrat

Dalam industri fermentasi diperlukan substrat yang murah, mudah tersedia dan efisien penggunaannya. Usaha selalu dilakukan untuk menemukan substrat baru yang lebih murah dan lebih baik, tetapi kadang-kadang timbul masalah baru dalam hal cara penyimpanannya, kemudahannya untuk disterilisasi atau komposisi yang berbeda.

Dalam industri fermentasi dimana produk-produknya juga dapat dihasilkan secara sintesis atau dengan cara lainnya, pemilihan substrat merupakan hal yang kritis. Sebagai contoh misalnya produksi asam-asam amino (glutamat, lisin, metiamin, dan sebagainya) serta PST (Protein Sel Tunggal). Pemilihan substrat untuk fermentasi produk-produk tersebut harus sedemikian rupa sehingga harga produknya dapat bersaing dengan harga produk yang diproduksi dengan cara lain.

Persyaratan Umum Substrat Fermentasi

Beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan substrat untuk fermentasi adalah :

1. Tersedia dan mudah didapat
2. Sifat fermentasi
3. Harga dan faktor harga

Substrat untuk fermentasi harus tersedia sepanjang tahun. Substrat yang berasal dari limbah tanaman musiman tidak mudah didapat, terutama bila periode pemanenannya pendek dan bahan tersebut mudah terkontaminasi dan menjadi buruk. Substrat yang baik untuk industri adalah yang relatif stabil dan dapat disimpan selama beberapa bulan. Jika sebagai substrat digunakan bahan buangan atau limbah suatu industri, mutu dan komposisinya sering bervariasi tergantung dari proses yang digunakan sebelumnya.

Harga substrat merupakan faktor penting dalam industri tetapi dalam pemilihan substrat harus diperhitungkan jumlah karbon yang tersedia yang berbeda pada masing-masing substrat.

Faktor lain yang harus diperhatikan dalam pemilihan substrat adalah kecepatan aerasi dan atau agitasi, dimana kecepatan ini harus dinaikkan jika digunakan substrat yang lebih tereduksi.

Substrat Sumber Karbon

Molase

Karbohidrat merupakan sumber energi tradisional dalam industri fermentasi. Glukosa

dan Sukrosa jarang digunakan sebagai satu-satunya sumber karbon karena harganya mahal, sedangkan limbah industri gula yaitu molase merupakan sumber karbohidrat termurah. Disamping mengandung sejumlah gula, molase juga mengandung senyawa bernitrogen, vitamin dan elemen terbatas. Komposisi molase bervariasi tergantung bahan

mentah yang digunakan untuk produksi gula, misalnya molase gula bit dan gulatebu. Perbedaan mutu molase juga dipengaruhi oleh lokasi, kondisi iklim dan proses produksi pada masing-masing pabrik. Selain molase, residu dari sakarifikasi pati yang terkumpul setelah kristalisasi gula juga sering digunakan sebagai substrat fermentasi. Misalnya molasehidrol adalah limbah produksi glukosa dari jagung.

Ekstat Malt

Ekstat kecambah barlei merupakan substrat yang baik untuk fungi, khamir dan actinomycetes. Ekstrak malt kering mengandung 90 — 92% karbohidrat, terdiri dari hektosa (glukosa, fruktosa) disakarida (maltosa, sukrosa), trisakarida (maltotriosa) dan dekstrin. Komposisi asam amino dari ekstrak malt bervariasi tergantung dari biji-bijian yang digunakan, tetapi 50% dari jumlah asam amino selalu dalam bentuk protein substrat yang mengandung ekstrak malt harus disterilisasi secara hati-hati, karena pemanasan yang berlebihan dapat menyebabkan reaksi pencoklatan (reaksi Mailard) karena pHnya rendah dan kandungan gula pereduksi tinggi yang akan bereaksi dengan grup amino dari amin, asam amino atau protein.

Pati dan Dekstrin

Sebagai sumber karbon, pati dan dekstrin dapat digunakan langsung oleh mikroorganisme yang memproduksi amilase. Dalam industri etanol, selain digunakan sirup glukosa sebagai substrat, sering juga digunakan pati.

Limbah Sulfit

Limbah sulfit dari industri kertas yang merupakan limbah yang mengandung gula dengan berat kering 9 — 13 %, terutama digunakan untuk memperbanyak khamir. Limbah sulfit dari pohon canifera mengandung 2 — 3% total gula, dimana 80% dari gula tersebut adalah hektosa (glukosa, mamosa, galaktosa) dan lainnya adalah pentosa (xitosa, arabinosa)

Selulosa

Selulosa mulai banyak digunakan sebagai substrat fermentasi karena mudah didapat dan murah harganya. Sumber selulosa pada umumnya dalam bentuk limbah, misalnya jerami, bongkol jagung, limbah kayu, bagase dan limbah kertas. Biasanya penggunaan selulose sebagai sumber karbon tidak dapat langsung, tetapi harus mengalami hidrolisa terlebih dahulu

secarakimia atau enzimatik. Sirup glukosa yang dihasilkan dari hidrolisa selulosa dapat digunakan untuk memproduksi etanol, disamping itu juga produk- produk lain seperti butanol, aseton dan isopropanol. Sekarang telah banyak digunakan mikroba yang memproduksi selulose dalam fermentasi selulosa.

Minyak nabati

Minyak nabati seperti minyak kedelai, minyak biji kapas dan minyak palem digunakan sebagai substrat tambahan, yaitu ditambahkan kedalam medium dimana karbohidrat merupakan sumber energi.

Metanol

Jika dilihat dari kandungan karbonnya, metanol merupakan substrat fermentasi yang termurah, tetapi hanya dapat dipecah oleh beberapa bakteri dan khamir. Metanol sering digunakan sebagai substrat untuk produksi protein sel tunggal. Produk-produk yang diproduksi dari fermentasi metanol misalnya asam sitrat dan fumarat, valin, lysin dan threonin. Produksi asam sitrat oleh *Aspergillus niger* dapat dirangsang dengan penambahan metanol. Metanol dapat diperoleh dari oksidasi matana atau gas alam.

Sumber-sumber Nitrogen

Corn Steep Liquor

Beberapa proses fermentasi dalam skala besar menggunakan garam amonium, urea atau gas amonia sebagai sumber nitrogen. Tetapi sumber nitrogen yang dapat dimetabolisme secara paling efisien adalah “corn steep liquor”, yang terbentuk dalam proses produksi pati dari jagung. Ekstrat pekat dari “corn steep liquor” (sekitar 4% nitrogen) mengandung berbagai asam amino seperti alamin, arginin, asam glutamat, isoleusin, threonin, valin, fenilalanin, methionin dan cystin. Gula yang terdapat didalamnya segera dapat diubah menjadi asam laktat (9- 20%) oleh bakteri asam laktat.

Ekstrak Khamir

Ekstrak khamir merupakan ekstrak yang baik untuk berbagai mikroba. Ekstrak ini diproduksi dari ragi roti melalui otolisis pada suhu 50 — 55 °C, atau melalui plasmolisis dengan penambahan NaCl pada konsentrasi tinggi. Ekstrak khamir mengandung asam- asam amino dan peptida, vitamin larut air dan karbohidrat. Glikogen dan trehalosa dari sel khamir terhidrolisa menjadi glukosa selama produksi ekstrak khamir. Komposisi ekstrak khamir bervariasi tergantung dari substrat yang digunakan untuk menumbuhkan khamir.

Pepton

Pepton atau hidrolisat protein dapat digunakan oleh berbagai mikroba, tetapi harganya relatif mahal untuk keperluan industri. Sumber-sumber pepton adalah daging, kasenin, gelatin, keratin, biji kacang tanah, tepung kedelai, biji kapas dan biji bunga matahari. Komposisi pepton bervariasi tergantung dari sumbernya dan cara hidrolisisnya, yaitu hidrolisis asam atau enzimatis. Pepton dari gelatin kaya akan prolin dan hidroksiprolin, tetapi hampir tidak mengandung asam amino sulfur. Sebaliknya pepton dari keratin mempunyai bagian besar prolin dan cystin, tetapi tidak mengandung lisis. Pepton dari sumber tanaman (pepton kedelai, pepton biji kapas) mengandung karbohidrat dalam jumlah tinggi.

EVALUASI BELAJAR

1. Rangkuman

Dalam industri fermentasi diperlukan substrat yang murah, mudah tersedia dan efisien penggunaannya. Usaha selalu dilakukan untuk menemukan substrat baru yang lebih murah dan lebih baik, tetapi kadang-kadang timbul masalah baru dalam hal cara penyimpanannya, kemudahannya untuk disterilisasi atau komposisi yang berbeda.

Dalam industri fermentasi dimana produk-produknya juga dapat dihasilkan secara sintesis atau dengan cara lainnya, pemilihan substrat merupakan hal yang kritis. Sebagai contoh misalnya produksi asam-asam amino (glutamat, lisin, metiamin, dan sebagainya) serta PST (Protein Sel Tunggal). Pemilihan substrat untuk fermentasi produk-produk tersebut harus sedemikian rupa sehingga harga produknya dapat bersaing dengan harga produk yang diproduksi dengan cara lain.

Sedangkan beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan substrat untuk fermentasi adalah :

1. Tersedia dan mudah didapat
2. Sifat fermentasi
3. Harga dan faktor harga

Substrat untuk fermentasi harus tersedia sepanjang tahun. Substrat yang berasal dari limbah tanaman musiman tidak mudah didapat, terutama bila periode pemanenannya pendek dan bahan tersebut mudah terkontaminasi dan menjadi buruk. Substrat yang baik untuk industri adalah yang relatif stabil dan dapat disimpan selama beberapa bulan. Jika sebagai substrat digunakan bahan buangan atau limbah suatu industri, mutu dan komposisinya sering bervariasi tergantung dari proses yang digunakan sebelumnya.

Harga substrat merupakan faktor penting dalam industri tetapi dalam pemilihan substrat harus diperhitungkan jumlah karbon yang tersedia yang berbeda pada masing-masing substrat.

Faktor lain yang harus diperhatikan dalam pemilihan substrat adalah kecepatan aerasi

dan atau agitasi, dimana kecepatan ini harus dinaikkan jika digunakan substrat yang lebih tereduksi.

2. Latihan

1. Apa yang dimaksud substrat fermentasi ?
2. Apa syarat pemilihan substrat untuk fermentasi itu ?

3. Tugas

1. Apa saja unsur potensial sebagai sumber makronutrien dan mikronutrien (substrat) yang digunakan dalam teknologi fermentasi ?
2. Apa fungsi dari agitasi dan aerasi dalam hubungannya dengan nutrisi pada fermentasi ?
3. Mengapa unsur C dan unsur N digunakan sebagai sumber nutrisi (substrat) utama pada teknologi fermentasi ? Jelaskan jawaban anda !

B. Penilaian Tugas

- 1) Tugas dibuat di blog mahasiswa
- 2) Blog di link ke web hybrid learning
- 3) Blog tersebut harus mencantumkan logo dan nama Universitas PGRI Yogyakarta
- 4) Diselesaikan sebelum batas akhir penyerahan tugas

C. Daftar Pustaka

Arpiwi NL, (2015). *Petunjuk Praktikum Bioenergi*, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali

Dwidjoseputro, D, (1994). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Edisi ke-12, Djambatan, Jakarta
Sikyta, B, *Methods In Industrial Microbiology*. Ellis Horwood Limited, Marked Cross

House, Cooper Street, Chichester, Sussex, England

Suprihatin. (2010). *Modul Teknologi Fermentasi*, Universitas Negri Surabaya, UNESA Press, Surabaya

Fardiaz, S, (1988). *Fisiologi Fermentasi*. Pusat Administrasi Universitas, IPB, Bogor

BAB VI

PRODUK TEKNOLOGI FERMENTASI

A. Produk Teknologi Fermetasi

Nata de Coco

Kelapa memberikan banyak hasil bagi manusia, misalnya produk kopra yang selanjutnya diolah menjadi minyak. Pada pembuatan kopra, kelapa dibelah dan dijemur. Sedangkan airnya terbuang percuma sebagai limbah, yang dapat mencemari lingkungan terutama yang berhubungan dengan kesuburan tanah.

Nata de coco merupakan jenis makanan hasil fermentasi oleh bakteri *Acetobacter xylinum*. Makanan ini berbentuk padat, kokoh, kuat, putih, transparan, dan kenyal dengan rasa mirip kolang-kaling. Produk ini banyak digunakan sebagai pencampur es krim, cocktail buah, sirup, dan makanan ringan lainnya. Nilai gizi makanan ini sangat rendah sekali, kandungan terbesarnya adalah air yang mencapai 98%. Karena itu, produk ini dapat dipakai sebagai sumber makan rendah energi untuk keperluan diet. Nata de coco juga mengandung serat (dietary fiber) yang sangat dibutuhkan tubuh dalam proses fisiologi. Konon, produk ini dapat membantu penderita diabetes dan memperlancar proses pencernaan dalam tubuh.

Proses pembuatan Nata de coco adalah :

Tahap pertama yang dilakukan pada proses pembuatan Nata de Coco adalah penyaringan air kelapa dengan kain penyaring untuk membebaskannya dari kotoran-kotoran yang tidak diinginkan. Kemudian dilakukan pemanasan sampai mendidih, yang bertujuan untuk membunuh mikroorganisme yang mungkin akan mencemari produk yang akan dihasilkan. Dalam pemanasan ini ditambahkan 7,5% gula dari volume air kelapa (75 g gula untuk 1 liter kelapa).

Pendinginan dilakukan pada suhu kamar. Setelah dingin, ditempatkan dalam wadah steril, tingkat keasamannya diatur dengan menambahkan asam cuka sampai pH 4-5. Kemudian dilakukan penambahan bakteri starter dan diinkubasi (diperam) selama 2 minggu. Pada pemeraman ini, wadah ditutup rapat dengan plastik. Suhu pemeraman terbaik adalah 30°C. Air kelapa akan menggumpal, menghasilkan nata de coco yang telah siap untuk dipanen. Selanjutnya dipotong kecil-kecil berbentuk kubus. Potongan-potong nata de coco ditiriskan, kemudian direndam dalam air bersih selama 2-3 hari, untuk menghilangkan asamnya. Setiap hari, air perendam diganti dengan yang baru. Bila pada hari ketiga nata de coco masih terasa asam, maka perlu dilakukan pemasakan/dididihkan kembali selama 10 menit dan segera tiriskan.

Untuk memaniskan nata de coco dan memperpanjang umursimpannya, maka potongan-potongan nata harus direndam dalam larutan gula yang dibuat dengan cara melarutkan 600 g gula kedalam 1,5 liter air, kemudian dipanaskan sampai semua gulanyamelarut. Kedalam larutan gula ini, dapat juga ditambahkan natriumbenzoat sebanyak 100 mg untuk setiap kilogram nata yang terbentuk. Nata dapat direndam selama 1 malam supaya gula dan bahan pengawet meresap kedalamnya. Untuk mendapatkan aroma yang lebih memikat dapat juga ditambahkan dengan esenssecukupnya ke dalam larutan gula. Nata kemudian dimasukkan kedalam botol-botol jar atau bungkus dengan plastik, perbandingan antara nata de coco dan cairan adalah 3 : 1.

Yogurt

Yogurt adalah salah satu produk fermentasi susu yang dibuat dengan menambahkan starter yang terdiri dari dua jenis bakteri yaitu *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. Kedua jenis bakteri ini merombak laktosa atau gula susu menjadi asam laktat, yang selain memberi cita rasa khas pada yogurt, juga bersifat sebagai pengawet.

Yogurt merupakan sumber yang baik untuk protein, fosfor, kalsium, magnesium, dan kalori, tetapi tidak mengandung cukup banyak vitamin C dan zat besi. Proses pembuatan yogurt sudah dikenal sejak 4000 tahun yang lalu bahkan mungkin dimulai saat manusia mulai mendomestikasi sapi, biri-biri, dan kambing. Ketrampilan ini diwariskan turun menurun dan baru beberapa dasawarsa terakhir berkembang menjadi suatu teknologi selaras dengan kemajuan dalam bidang mikrobiologi, enzimologi, fisika, keteknikan, kimia, dan biokimia. Sekalipun demikian proses pembuatan yogurt berdasarkan standar teknologi industri mutakhir tetap merupakan suatu kombinasi dari seni dan ilmu pengetahuan.

Dalam pembuatan yogurt, starter/inokulum yang digunakan sangat berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan antara lain pembentukan asam dan zat-zat cita rasa serta karakteristik-karakteristik lainnya. Untuk memahami betul prinsip-prinsip pembuatan yogurt perlu dipahami tahap-tahap proses dan pengaruhnya terhadap kualitas produk yang dihasilkan.

Pada metode pembuatan yogurt secara tradisional ada beberapa masalah yaitu:

1. Penggunaan starter yang sama secara terus menerus dapat mengubah rasio antara populasi *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus* sehingga akhirnya terjadi mutasi pada turunan ke 15 sampai 20
2. Suhu inkubasi yang rendah (suhu ruang) mengakibatkan laju sintesis asam yang lambat (lebih dari 18 jam) sedangkan inkubasi pada suhu optimum 40 °C-45 °C hanya memerlukan 2.5-3 jam
3. Dampak negatif dari laju pembentukan asam yang lambat berupa antara lain sineresis

serum susu (whey) yang menyebabkan kualitas yogurt tidak begitu baik

4. Kandungan asam laktat yang dihasilkan selama fase fermentasi tidak dapat dikendalikan

Walaupun metode tradisional memiliki berbagai masalah namun pada dasarnya metode pembuatan yogurt mutakhir di industri pangan dikembangkan dari metode tradisional tersebut. Modifikasi yang dimasukkan adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan starter yogurt murni yang dapat diperoleh dari perusahaan- perusahaan yang memproduksi starter yogurt, bank starter atau lembaga-lembaga penelitian
2. Pembiakan starter murni tersebut diatas, di perusahaan pembuatan yogurt dalam kondisi aseptis dan menggunakan susu steril
3. Pengendalian suhu inkubasi sehingga laju sintesis asam laktat dan lama inkubasi dapat diprediksi sebelumnya.
4. Pendinginan yogurt pada kadar asam yang dikehendaki dapat dilakukan dengan cepat sehingga kualitas yogurt yang dihasilkan lebih seragam
5. Pengendalian proses dengan mudah oleh operator-operator semi terampil karena menggunakan metode analisis instrumen untuk memantau proses fermentasi

Pembuatan yogurt dapat dilakukan dengan skala produksi harian yang berbeda-beda yaitu

:

1. Skala usaha kecil/rumah tangga.
2. Skala usaha menengah yang memproduksi beberapa ratus liter yogurt per hari
3. Skala usaha besar yang memproduksi beberapa ribu liter yogurt per hari

Skala produksi berpengaruh terhadap tipe yogurt yang dihasilkan, peralatan dan mesin-mesin pengolahan yang dipakai maupun tingkat adopsi teknologi yang diperlukan. Pembuatan yogurt dalam skala kecil dapat dilakukan dengan mudah dengan menggunakan peralatan dapur, serta dengan pemahaman mendasar tentang proses fermentasi, khususnya perlunya perlakuan pemanasan susu dan pentingnya melakukan inkubasi pada suhu tertentu. Keuntungan dari membuat sendiri yogurt di rumah adalah:

1. Tipe susu yang digunakan dapat disesuaikan dengan keinginan antara lain susu segar, susu segar pasteurisasi, susu segar UHT, susu bubuk fullkrim, atau susu bubuk skim. Selain susu sapi dapat juga menggunakan susu biri-biri, kambing, kuda, kerbau, dan sebagainya
2. Yogurt yang dihasilkan tidak usah ditambahi bahan aditif seperti bahan penstabil, pengemulsi, ataupun pengawet seperti umum dilakukan pada yogurt komersial
3. Tingkat keasaman dan kekentalan yogurt yang dihasilkan dapat diatur sesuai selera
4. Yogurt yang dihasilkan tidak perlu dipasteurisasi atau disterilisasi sehingga bakteri yogurt yang dikonsumsi masih hidup dengan segala khasiatnya bagi kesehatan

Starter yogurt terdiri dari dua jenis bakteri yaitu *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus* dalam perbandingan 1 : 1, kedua jenis bakteri hidup dalam simbiosis dan untuk memperoleh produksi asam yang cepat perbandingan ini harus tetap dipertahankan. Rasio antara *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus* dapat dipertahankan dengan mengatur suhu inkubasi dan persentase inokulum *Streptococcus thermophilus* menyukai suhu 40 °C sedangkan *Lactobacillus bulgaricus* menyukai suhu lebih tinggi dan waktu inkubasi yang lebih lama. Bila persentase inokulum diturunkan maka diperlukan waktu inkubasi lebih lama.

Starter dapat diperoleh dari:

1. Yogurt komersial polos yang tidak dipasteurisasi.
2. Yogurt buatan sendiri, baiknya yang dibuat sendiri sebelumnya.
3. Yogurt starter kering beku (berbentuk serbuk). Tipe ini diperdagangkan dalam sachet berisi 10 g. Tipe starter ini tahan lama yaitu 6 bulan sampai 2 tahun.

Untuk starter tipe (1) dan (2) di atas dapat langsung dipakai untuk membuat yogurt ataupun dikembangbiakkan terlebih dahulu, tetapi untuk tipe (3) harus dikembangbiakkan dulu. Mengembangbiakkan starter sebaiknya dilakukan secara aseptis agar starter tidak cepat mengalami degenerasi. Starter kering beku umumnya dapat dipakai sampai 15-20 turunan.

Pengembangbiakan dapat juga dengan menggunakan metode pembuatan yogurt namun akibatnya starter akan lebih cepat mengalami degenerasi. Uraian dibawah ini adalah metode pengembangbiakan starter dengan cara steril.

Alat-alat yang diperlukan untuk pengembangbiakan starter secara aseptis antara lain:

1. Botol dengan tutup bersekrup untuk menyimpan susu
2. Panci susu bertutup untuk memasak susu
3. Alas/pengganjal berupa rak segitiga atau kain serbet yang akan ditempatkan di dasar panci
4. Nyala api, dari bunsen, pompa alkohol, atau lilin
5. Lemari es.
6. Inkubator, botol termos bermulut lebar, kotak styroporm, atau kotak kayu dengan lampu 40 watt
7. Termometer ($0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$)

Sedangkan bahan-bahan yang diperlukan antara lain:

- 1 liter susu
- 5 g kultur murni starter yogurt kering beku atau 45 ml (3 sendok makan) yogurt polos

Adapun prosedur pengembangbiakan starter antara lain:

1. Cuci semua peralatan dengan larutan detergen, kemudian basuh berulang kali sampai bersih betul, karena sisa-sisa detergen yang melekat pada peralatan dapat membunuh inokulum
2. Sterilkan semua peralatan rumah tangga atau wadah yang akan dipakai dengan cara mengisinya dengan air mendidih atau dengan jalan mengeringkannya dalam oven pada suhu 170°C selama 1 jam
3. Didihkan susunya dan kemudian dinginkan sedikit, baru tuangkan kedalam botol-botol steril hingga hampir penuh. Tutup botol-botol tersebut dengan tutup bersekrup, lalu buka kembali setengah putaran
4. Letakkan botol-botol berisi susu didalam panci yang terlebih dahulu telah diberi alas berupa rak segitiga atau tumpukan kain serbet. Isi panci tersebut dengan air hingga batas permukaan susu dalam botol, lalu pasang tutupnya. Selanjutnya didihkan susu dengan menggunakan api kecil selama 1-2 jam. Selama proses itu, susu tidak boleh menggumpal atau berubah menjadi berwarna kecoklatan. Bila dalam proses tersebut susunya menggumpal, buanglah dan ganti dengan susu baru. Bila dalam proses tersebut berubah warna menjadi kecoklat-coklatan maka lain kali gunakanlah

api yang lebih kecil lagi

5. Dinginkan susu dalam botol itu secara perlahan-lahan, yaitu dengan cara menganginkannya (perhatikan: jangan dinginkan susu tersebut secara cepat, misalnya dengan memakai es). Setelah dingin, kencangkan tutupnya dan simpan dalam lemari es sampai saat akan dipakai. Biasanya susu akan tahan kira-kira 5 hari
6. Inokulasi susu dengan starter Kumpulkan botol berisi susu yang akan diinokulasi serta botol berisi starter. Nyalapan api (lampu alkohol, bunsen, dan sebagainya) untuk mensterilkan udara sekelilingnya. Buka tutup dari botol-botol tersebut (ingat jangan sampai menyentuh bagian dalam dari tutup-tutup tersebut).
7. Masukkan leler-leher botol tersebut kedalam nyala api, lalu tuangkan sejumlah starter kedalam botol susu (perhatikan peraturan pemakaian yang diberikan oleh laboratorium penghasil inokulum tersebut). Usahakanlah agar pada saat menuangkan inokulum kedalam botol susu, kedua botol tersebut didekatkan pada nyala api. Tutuplah kedua botol tersebut, lalu botol berisi susu yang akan diinokulasi dikocok agar starter tercampur merata dalam susunya. Bila menggunakan inokulum berupa yogurt komersial, gunakanlah 15-30 ml (1-2 sendok makan) per liter susu. Sedangkan untuk starter kering beku umumnya 5 g untuk tiap liter susu
8. Inkubasikan botol-botol berisi susu yang telah diinokulasi itu pada 45 °C selama 3-4 jam. Hal ini dapat dilakukan dengan salah satu cara berikut:
Dengan menyimpan botol-botol itu dalam inkubator yang disetel pada 45 °C. Dengan menyimpan botol susu didalam air hangat bersuhu 46 °C selama 10 menit (bila perlu panaskan kembali airnya) sampai temperatur susunya mencapai 46 °C. Selanjutnya pindahkan botol-botol susu itu kedalam termos berleher besar, dan tuangkan air bersuhu 46 °C tadi sekelilingnya. Tutup termosnya dan

diamkan selama 3-4 jam. Sebagai ganti termos dapat juga dipakai kotak styrofoam atau kotak kayu berlampu listrik

9. Setelah 3 jam periksa apakah isi botol telah mengkoagulasi. Bila sudah mengkoagulasi, keluarkan dari termos, keringkan dengan lap dan simpan segera dalam lemari es. Bila susu masih tetap cair, panaskan kembali botol berisi susu tersebut hingga 46 °C dan simpan lagi dalam termos. Air dalam termos juga harus memiliki suhu 46 °C. Selanjutnya jika ternyata sudah 6 jam masih juga cair, buanglah susu tersebut dan ulangi dengan menggunakan starter baru

Kecap

Kecap adalah cairan yang berwarna coklat agak kental, mempunyai aroma yang sedap dan merupakan hasil fermentasi kedelai. Menurut sejarahnya kecap berasal dari negara Cina, yang kemudian masuk ke Jepang dan beberapa negara Asia lainnya. Sekarang kecap telah banyak dikonsumsi oleh masyarakat sebagai bahan penyedap masakan dan makanan.

Proses pembuatan kecap dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu secara fermentasi, cara hidrolisa asam, atau kombinasi keduanya tetapi yang lebih sering dan mudah dilakukan adalah dengan cara fermentasi. Pada proses pembuatan kecap melalui dua tahapan yaitu tahap fermentasi kapang dan fermentasi larutan garam.

1. Fermentasi Kapang

Pada tahap ini, kedelai yang sudah dibersihkan direbus, kemudian direndam semalam. Setelah direndam kedelai dicuci dan dikupas kulitnya dan kadang-kadang dilanjutkan dengan perebusan yang kedua. Kedelai kemudian dicampur dengan tepung tapioka yang telah disangrai lalu dibiarkan pada suhu ruang beberapa hari sampai ditumbuhi kapang. Pada beberapa pengrajin sering penambahan tepung ini tidak dilakukan dan kedelai yang telah bersih tadi dibiarkan pada suhu ruang sampai ditumbuhi kapang. Kemudian kedelai yang telah ditumbuhi kapang tersebut dikeringkan untuk di proses lebih lanjut. Di Korea, kedelai yang telah ditumbuhi kapang dan telah dikeringkan tersebut dikenal dengan nama Meju

2. Fermentasi Larutan Garam

Untuk pembuatan kecap atau tauco, selanjutnya hanya merendam Meju dalam larutan garam selama beberapa bulan. Pada pembuatan kecap tradisional di Indonesia, setelah proses penyaringan dilanjutkan dengan proses pemasakan. Pemasakan dilanjutkan sampai diperoleh produk dengan konsistensi tertentu (agak kental). Pada tahap pemasakan ini pula dilakukan penambahan bumbu-bumbu seperti daun salam, pekak, dan lain-lainnya. Mikroba yang berperan dalam pembuatan kecap adalah kapang jenis *Rhizopus sp.*, *Aspergillus sp.*, atau

campuran keduanya. Tetapi yang umum digunakan dalam pembuatan kecap adalah *Aspergillus sp.* Selain kapang, beberapa mikroba seperti khamir dan bakteri yang tahan garam juga turut berperan dalam proses fermentasi ini. Pada prinsipnya pembuatan kecap komponen-komponen dari bahan akan terurai menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana sehingga akan lebih mudah dicerna. Keuntungan lainnya adalah terbentuknya senyawa cita rasa pada kecap, sehingga produk tersebut disukai.

B. EVALUASI BELAJAR

1. Rangkuman

Nata de coco merupakan jenis makanan hasil fermentasi oleh bakteri *Acetobacter xylinum*. Makanan ini berbentuk padat, kokoh, kuat, putih, transparan, dan kenyal dengan rasa mirip kolang-kaling. Produk ini banyak digunakan sebagai pencampur es krim, cocktail buah, sirup, dan makanan ringan lainnya. Nilai gizi makanan ini sangat rendah sekali, kandungan terbesarnya adalah air yang mencapai 98%. Karena itu, produk ini dapat dipakai sebagai sumber makan rendah energi untuk keperluan diet. Nata de coco juga mengandung serat (dietary fiber) yang sangat dibutuhkan tubuh dalam proses fisiologi. Konon, produk ini dapat membantu penderita diabetes dan memperlancar proses pencernaan dalam tubuh.

Sedangkan yogurt adalah salah satu produk fermentasi susu yang dibuat dengan menambahkan starter yang terdiri dari dua jenis bakteri yaitu *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. Kedua jenis bakteri ini merombak laktosa atau gula susu menjadi asam laktat, yang selain memberi cita rasa khas pada yogurt, juga bersifat sebagai pengawet.

Yogurt merupakan sumber yang baik untuk protein, fosfor, kalsium, magnesium, dan kalori, tetapi tidak mengandung cukup banyak vitamin C dan zat besi. Proses pembuatan yogurt sudah dikenal sejak 4000 tahun yang lalu bahkan mungkin dimulai saat manusia mulai mendomestikasi sapi, biri-biri, dan kambing. Ketrampilan ini diwariskan turun menurun dan baru beberapa dasawarsa terakhir berkembang menjadi suatu teknologi selaras dengan kemajuan dalam bidang mikrobiologi, enzimologi, fisika, keteknikan, kimia, dan biokimia. Sekalipun demikian proses pembuatan yogurt berdasarkan standar teknologi industri mutakhir tetap merupakan suatu kombinasi dari seni dan ilmu pengetahuan.

Dalam pembuatan yogurt, starter/inokulum yang digunakan sangat berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan antara lain pembentukan asam dan zat-zat cita rasa serta karakteristik-karakteristik lainnya. Untuk memahami betul prinsip-prinsip pembuatan yogurt perlu dipahami tahap-tahap proses dan pengaruhnya terhadap kualitas produk yang dihasilkan.

Selain itu, produk fermentasi penting lain yang berperan dalam pengolahan makanan

yaitu kecap dimana Kecap adalah cairan yang berwarna coklat agak kental, mempunyai aroma yang sedap dan merupakan hasil fermentasi kedelai. Menurut sejarahnya kecap berasal dari negara Cina, yang kemudian masuk ke Jepang dan beberapa negara Asia lainnya. Sekarang kecap telah banyak dikonsumsi oleh masyarakat sebagai bahan penyedap masakan dan makanan.

Proses pembuatan kecap dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu secara fermentasi, cara hidrolisa asam, atau kombinasi keduanya tetapi yang lebih sering dan mudah dilakukan adalah dengan cara fermentasi.

2. Latihan

1. Sebutkan aplikasi produk fermentasi di bidang kesehatan beserta mikroorganisme yang berperan didalamnya !
2. Apa aplikasi produk fermentasi di bidang energi terbarukan serta di bidang pengendalian baku mutu lingkungan, serta sebutkan mikroorganisme yang berperan didalamnya !

3. Tugas

1. Uraikancara pembuatan tauco !
2. Uraikan cara pembuatan tempe !
3. Uraikan cara pembuatan bir (etanol dari *Saccharomyces cerevisiae*) !

C. Penilaian Tugas

- 1) Tugas dibuat di blog mahasiswa
- 2) Blog di link ke web hybrid learning.
- 3) Blog tersebut harus mencantumkan logo dan nama Universitas PGRI Yogyakarta
- 4) Diselesaikan sebelum batas akhir penyerahan tugas

D. Daftar Pustaka

Arpiwi NL, (2015). *Petunjuk Praktikum Bioenergi*, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali

Dwidjoseputro, D, (1994). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Edisi ke-12, Djambatan, Jakarta
Sikyta, B, *Methods In Industrial Microbiology*. Ellis Horwood Limited, Marked Cross

House, Cooper Street, Chichester, Sussex, England

Suprihatin. (2010). *Modul Teknologi Fermentasi*, Universitas Negri Surabaya, UNESA

Press, Surabaya

Fardiaz, S, (1988). *Fisiologi Fermentasi*. Pusat Adiministrasi Universitas, IPB, Bogor

BAB VII

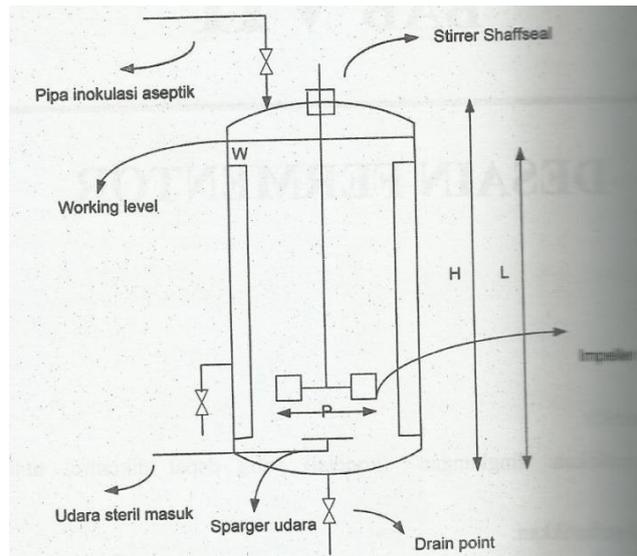
DESAIN FERMENTOR

A. Fermentor

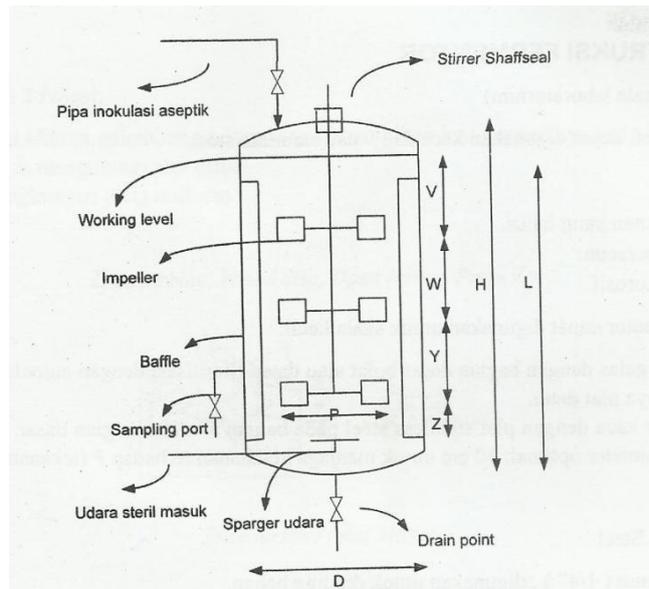
Fermentor memiliki fungsi dasar untuk menyediakan lingkungan dengan kondisi yang dapat dikontrol untuk pertumbuhan mikroorganisme. Beberapa hal penting yang harus diperhatikan diantaranya adalah :

1. Bejana harus dikondisikan dan dioperasikan dalam keadaan aseptik dalam operasional jangka panjang
2. Aerasi serta agitasi yang cukup untuk mencapai kebutuhan dari mikroorganisme
3. Kebutuhan daya yang serendah mungkin
4. Kontrol suhu, sampling port, serta pH wajib ada
5. Evaporasi yang hilang dari fermentor tak boleh berlebih
6. Bejana harus dirancang untuk meyakinkan “weld” daripada permukaan bagian dalam bejana halus
7. Bejana harus dirancang untuk memenuhi penggunaan tenaga operasional yang minimum untuk pengambilan produk, pembersihan serta perawatan
8. Bejana harus sesuai untuk bermacam-macam proses
9. Bahan baku yang murah
10. Pelayanan untuk tiap pabrik :
 - Udara di kompresor
 - Air dingin (12 – 15 °C)
 - Air dingin (4 °C)

Diagram fermentor untuk *single blade impeller* dan *multi blade impeller* dapat dilihat pada gambar 1 dan 2 berikut :



Gambar 1. Diagram Fermentor



Gambar 2. Fermentor dengan multi blade impeller

Sedangkan perbandingan geometri untuk fermentor dengan single dan multi blade impeller dapat dilihat pada tabel 1 dan 2 berikut :

Tabel 1. Perbandingan geometri fermentor dengan single blade impeller

Dimensi	Steel & Maxon (1961)	Wegrich & Shurter (1953)	Blakebrough (1967)
Vol. Operasi	250 L	12 L	-
Tinggi cairan	55 cm	27 cm	-
L/D	0,72	1,1	1 – 1,5
Diameter impeller P/D	0,4	0,5	0,33
Baffle Width W/D	0,1	0,08	0,08 – 0,1
Impeller height /D	-	-	0,33

Tabel 2. Perbandingan geometri dari fermentor dengan 3 multi blade impeller

Dimensi	Jackson (1958)	Aiba et al (1973)	Paca et al (1976)
Vol. Operasi	-	100.000 L	170 L
Tinggi cairan	-	-	150 cm
L/D	-	-	1,7
Diameter impeller P/D	0,34 – 0,5	0,4	0,33

Baffle Width	0,08 – 0,1	0,095	0,098
W/D			
Impeller height /D	0,5	0,24	0,37

Konstruksi Fermentor

Ukuran kecil (skala laboratorium), maka untuk ukuran 1 – 30 L dapat digunakan kaca atau stainless steel.

Untuk kaca :

- Permukaan halus
- Tak beracun
- Tak korosif

Ada dua tipe fermentor yang dapat digunakan untuk skala kecil :

1. Bejana gelas dengan bagian dasar bulat atau datar. Sterilisasi dengan autoclave. Bagian atas pada umumnya plat datar
2. Silinder kaca dengan plat stainless steel pada bagian atas dan dasar, dapat disterilisasi secara in situ. Diameter optimal sebesar 30 cm untuk menjaga ketahanan terhadap tekanan operasi

Ukuran besar, bahan stainless steel dengan ukuran ketebalan bahan 7 mm yang digunakan untuk dinding bahan, serta tebal 10 mm yang digunakan untuk bagian atas dan dasar.

Untuk skala besar, apabila terjadi produksi panas berlebih, maka fermentor dilengkapi dengan jaket dengan tambahan air dingin yang disirkulasi untuk mencapai suhu tertentu.

Untuk bejana besar, pada umumnya digunakan *internal cooling coils* dan fermentor dengan ukuran hingga 500 L umumnya cocok dengan menggunakan jaket.

Aerasi dan Agitasi

Dibutuhkan :

- Impeller (agitator)
- Stirrer ganda dan bearing
- Baffle
- Sistem aerasi

Fermentasi tanpa agitasi umumnya dijalankan pada bejana dengan ukuran $H/D = 5 : 1$ (aerasi cukup untuk membuat turbulensi yang tinggi). Efisiensi pengadukan, input daya per satuan volume fermentor merupakan salah satu parameter desain yang utama untuk

menyediakan level transfer oksigen yang dibutuhkan.

Impeller

Impeller memiliki dua fungsi :

- Mengurangi ukuran gelembung udara yang akan memberikan luas permukaan yang lebih besar untuk transfer oksigen serta mengurangi alur difusi
- Menjaga kondisi lingkungan yang seragam

Hal yang perlu diperhatikan dalam impeller adalah :

- Ukuran impeller (rasio diameter agitator terhadap diameter bejana fermentor berkisar antara 0,3 – 0,5)
- Posisi impeller dalam bejana umumnya $1/3 D$ (diameter tangki) – $1/2 D$ diatasdasar bejana

Perawatan dan Kebutuhan akan kondisi Aseptik

1. Sterilisasi fermentor
2. Sterilisasi udara yang disuplai
3. Aerasi dan agitasi
4. Penambahan inokulum, nutrien serta suplemen lain
5. Sampling
6. Kontrol busa
7. Monitoring dan kontrol parameter yang bermacam macam

Sterilisasi fermentor

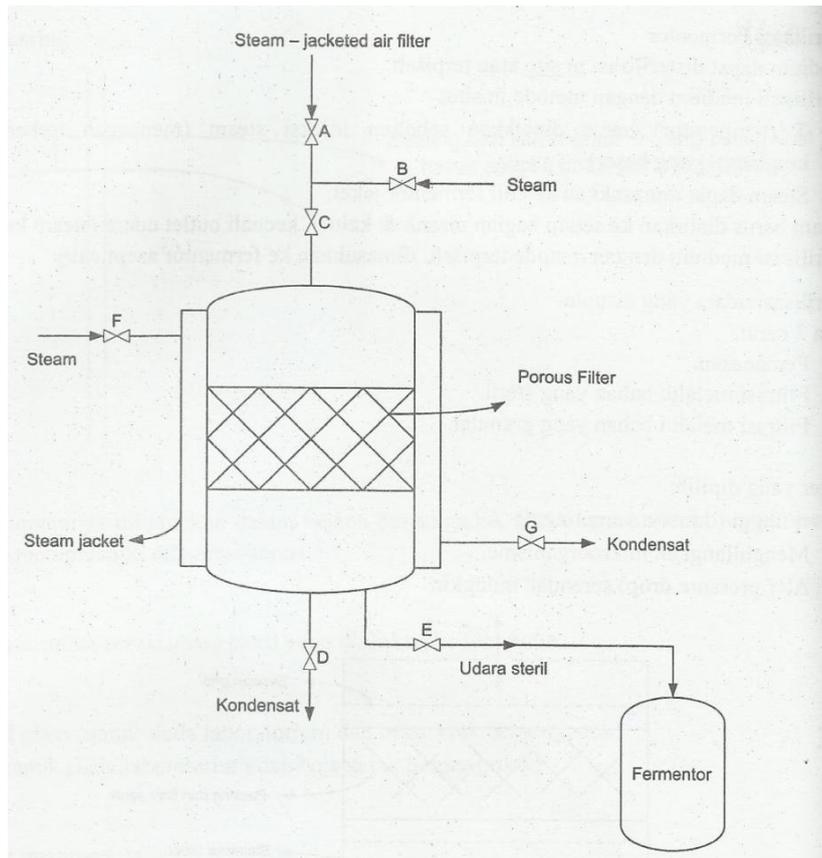
Medium dapat disterilisasi secara in situ atau terpisah

Sterilisasi medium dengan metode in situ :

- Suhu harus dinaikkan sebelum injeksi steam guna mencegah terbentuknya jumlah kondensat yang besar
- Steam dapat dimasukkan ke coil fermentor jaket
- Steam harus dialirkan ke tiap bagian masuk dan keluar kecuali outlet udara

Sterilisasi udara yang disuplai ada 3 cara yaitu dengan pemanasan, filtrasi melalui bahan seteril, filtrasi melalui bahan yang granular. Sedangkan filter yang dipilih wajib memiliki kriteria efisiensi tinggi (kinerja yang tinggi), tak ada mikroorganisme, memiliki pressure drop yang rendah.

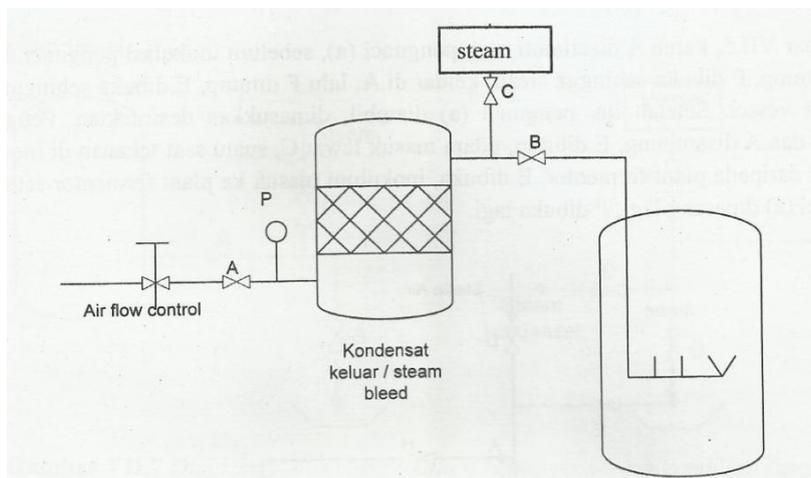
Sistem sterilisasi udara disajikan dalam gambar 3 berikut :



Gambar 3. Sterilisasi Udara dengan *steam-jacket air filter*

Pada gambar 3 diatas, mula-mula valve A ditutup dan steam masuk melalui valve B dan C dan keluar dalam bentuk kondensat di D. Steam yang lain melalui jaket melalui valve F dan keluar lewat G. Waktu steam keluar melalui valve D, valve E dibuka dan steam bersirkulasi ke fermentor.

Valve D berguna untuk mengatur tekanan agar tepat. Jika siklus sterilisasi selesai, maka valve B dan E ditutup serta valve A dibuka untuk mengijinkan udara lewat lewat filter yang panas dan keluar lewat D untuk mengeringkan filter.



Gambar 4. Diagram Penggabungan Filter Udara dan Fermentor

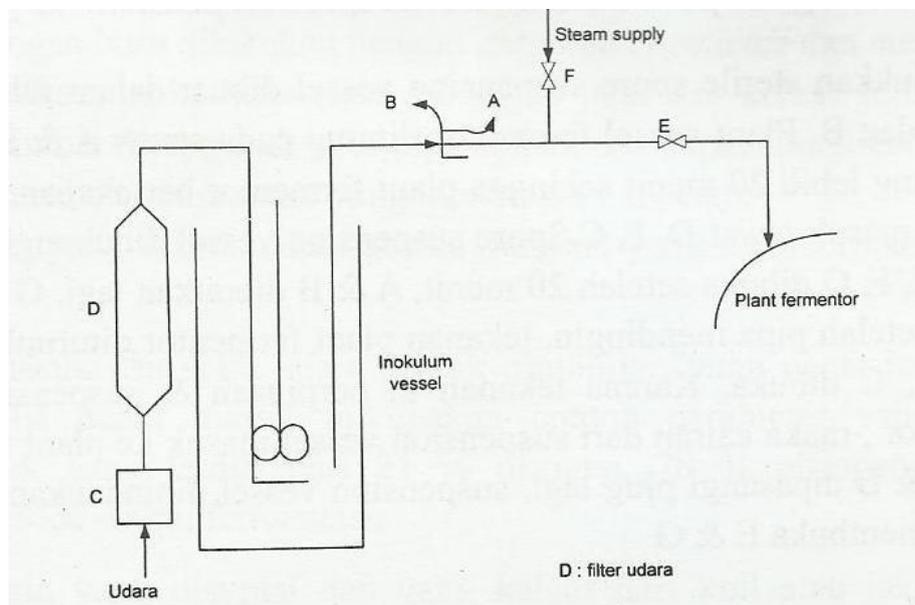
Pada gambar 4 di atas, selama proses sterilisasi, valve A ditutup, awalnya valve B ditutup, uap akan diinjeksikan dari valve C, setelah uap masuk dan mensterilkan filter udara, kemudian valve B dibuka untuk sterilisasi fermentor dan filter udara.

Aerasi dan Agitasi

Untuk memastikan aerasi dan agitasi berjalan dengan baik, sambungan antara pengaduk dengan bagian tutup fermentor harus tersinkronisasi dengan baik. Agitasi yang dijalankan secara mekanis akan meningkatkan “holdup gas” dengan adanya kecepatan radial ke badan fluida.

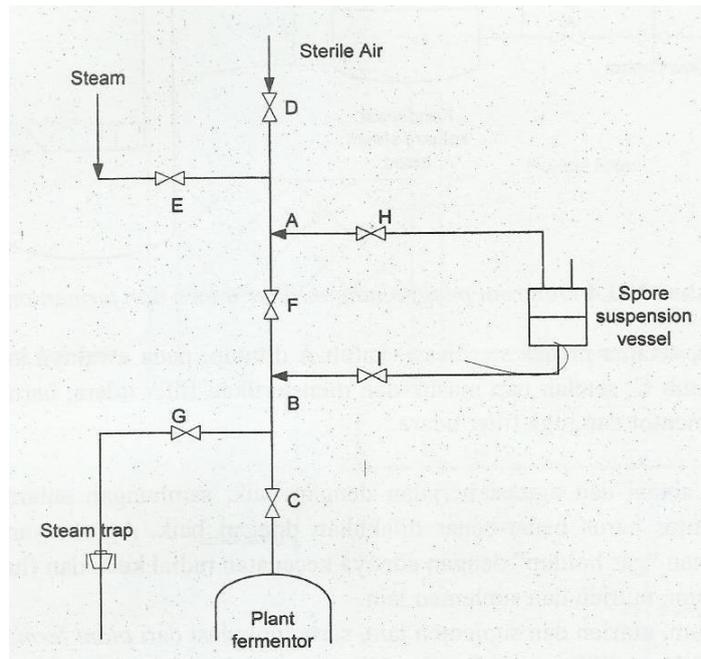
Penambahan inokulum, nutrisi dan suplemen lain

Penambahan inokulum, nutrisi dan suplemen lain, serta inokulasi dari *plant fermentor* dari fermentor ukuran laboratorium dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5. Diagram Penambahan Inokulum ke Fermentor

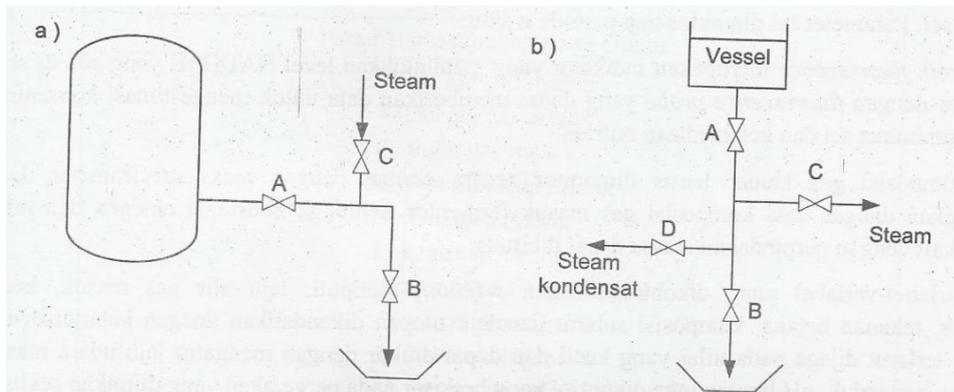
Pada gambar 5 di atas, valve A diselubungi oleh pengunci (a), sebelum inokulasi pengunci dilonggarkan, valve E ditutup, F dibuka sehingga steam keluar di A lalu F ditutup, E dibuka sehingga udara steril keluar dari vessel. Setelah itu, pengunci (a) diambil, lalu dimasukkan desinfektan. Pengunci (b) diambil, B dan A disambung, E ditutup udara masuk lewat C, suatu saat tekanan di inokulum vessel lebih besar daripada fermentor. Selanjutnya, E dibuka, inokulum masuk ke plant fermentor setelah menutup E, pengunci (a) dipasang lagi, F dibuka lagi.



Gambar 6. Diagram Pemindahan “Sterile Spore Suspension” ke Fermentor

Gambar 6 diatas menunjukkan sterile spore suspension vessel dibuat dalam ruangan steril. Mula-mula sterilkan A dan B dulu. Plant vessel fermentor ditutup pada screw A dan B, A dan B dilonggarkan lalu steam masuk kurang lebih 20 menit sehingga plant fermentor bertekanan. A dan B dieratkan, E dan G ditutup, udara steril masuk lewat D, F , C. Spore suspension vessel dihubungkan di A dan B. D, H, I, C ditutup sedangkan E, F dan G dibuka setelah 20 menit, A dan B dieratkan lagi. G dan E ditutup. D dibuka agar tekanan naik, setelah pipa mendingin, tekanan plant fermentor diturunkan kurang lebih 5 psi. Valve F ditutup, H, I, C dibuka. Karena tekanan di perpipaan dan suspension vessel lebih besar daripada plant fermentor, maka cairan suspension vessel masuk ke plant fermentor. Valve D, H, J, C ditutup, screw A dan B dipasangi plug, suspension vessel dipindahkan, perpipaan disterilkan dengan steam, dengan membuka E dan G.

Untuk pengambilan sampel, dapat dilihat pada gambar 7a dibawah ini :



Gambar 7. Diagram Posisi Valve ketika Proses Pengambilan Sampel

Untuk pengambilan sampel dari posisi samping fermentor, valve A, B, C ditutup, bagian ujung sampling port diberi formalin 40 %, untuk ambil sampel tutup A, buka B dan C sehingga pipa steril. Tutup sedikit B dan C, buka A untuk mendinginkan pipa. Buang sampel tadi valve C ditutup, sampel dikumpulkan tutup A lalu pipa disterilkan lagi.

Sedangkan pada gambar 7b, terlihat bahwa untuk pengambilan sampel dari bagian bawah fermentor, valve A dan B ditutup, valve C dan D dibuka sehingga pipa steril, C ditutup sebagian, D ditutup, B dibuka sebagian sehingga steam dan kondensat keluar dari sampling port. Valve A dibuka untuk pendinginan, buang sampel yang ada, tutup C dan kumpulkan sampel. Tutup A lalu pipa disterilkan. Valve C dan D selalu dibuka sebagian untuk pengambilan sampel selanjutnya.

Pengontrolan busa

Busa tak dikehendaki karena menempati volume fermentor tanpa berkontribusi terhadap produksi produk, bahkan memiliki kecenderungan untuk membawa nutrisi keluar dari cairan. Sehingga penghilangan busa dilakukan dengan *antifoam chemical* dan *mechanical foam breaker*. Jika busa tak dikendalikan, maka busa akan keluar ke jalur gas keluar fermentor dan menimbulkan kontaminasi, menyumbat filter gas di jalur pipa keluar serta menghentikan fermentasi.

Monitoring dan kontrol parameter yang bermacam-macam

Parameter yang dikendalikan adalah variabel yang memberikan informasi tentang proses yang berlangsung.

Tekanan udara yang masuk dan suhu udara masuk di monitor yang dapat mengindikasikan kegagalan suplai udara. Komposisi udara masuk merupakan contoh parameter yang tak dapat dikontrol. Komposisi udara masuk yang terdiri dari 21 % oksigen, 78 % nitrogen dan 1 % lainnya perlu dikendalikan selama periode waktu fermentasi.

Suhu air pendingin yang disuplai dan yang keluar dari koil atau jaket dapat dimonitor untuk memberikan informasi tentang panas yang ditimbulkan karena metabolisme, tetapi umumnya tak dipertimbangkan untuk dikendalikan.

Kekeruhan media (broth) diukur sebagai optical density (OD) dan mempunyai hubungan dengan densitas sel. Parameter ini dimonitor tiap periode waktu. Selain itu, komposisi gas keluar harus dimonitor secara cermat menggunakan mass spectrometer. Dengan menggabungkan data komposisi gas masuk fermentor, selanjutnya komposisi oksigen dan informasi yang terkait dengan perpindahan massa dapat dihitung.

Variabel yang dimasukkan dalam sistem komputer dan dikendalikan disajikan dalam

tabel 3 berikut :

Tabel 3. Variabel yang dimasukkan dalam sistem komputer dan dikendalikan

Parameter yang diukur
Laju alir gas masuk Tekanan gas masuk Suhu gas masuk Oksigen serta Karbondioksida yang masuk Laju alir air pendingin Perbedaan suhu air pendingin Kecepatan pengaduk Tekanan bejana Konsentrasi substrat Kekeruhan kultur Oksigen serta Karbondioksida yang keluar
Variabel yang dikendalikan
Oksigen terlarut Suhu bejana pH Busa Laju penambahan substrat Laju penambahan asam dan basa

Faktor Penentu Kinerja Kolom Fermentor

1. Fermentor :

- Batasan diameter fermentor = 4 – 4,5 m (untuk pembuatan diluar site), dan untuk memudahkan transportasi
- Untuk volume 50 – 75 m³ kisaran konfigurasi L/D adalah 1 – 1,5:1
- Untuk volume yang lebih besar kisaran konfigurasi L/D adalah 3 – 4:1

2. Kebutuhan akan oksigen :

Untuk viscous, non-newtonian broth :

- Faktor viscous mengontrol, mendapatkan oksigen terlarut dari bulk cairan ke sel, bukan dari gas ke sel
- Perlu jumlah energi lebih besar melalui mixing dan pumping untuk menaikkan distribusi oksigen terlarut dalam sel

3. Jumlah fermentor dan bahan :

Untuk ukuran 750 m³, dibutuhkan 3 fermentor yang masing masing berukuran 250 m³ atau 4 fermentor dengan masing masing berukuran 190 m³

Bahan konstruksi fermentor :

Stainles steel SS 304 atau SS 316 (lebih disukai terutama untuk coils)

4. Proses :

Kontinu

- Untuk memaksimumkan laju produksi
- Intraselular produk
- Sensitivitas rendah

Batch (lebih disukai)

- Kultur dapat mutasi pada waktu operasi yang lebih lama
- Kultur akan sensitif terhadap kontaminasi

5. Utilitas :

Membutuhkan biaya kapital dan biaya operasi

Untuk air pendingin (dibutuhkan sejumlah tertentu dan harus eksotermis)

Steam

- Untuk sterilisasi bejana dan medium
- Menghilangkan air dengan evaporasi
- Memekatkan produk

Listrik

- Motor pada fermentor, pompa, sistem vakum
- Pompa berguna untuk low rate feeding
- Sedangkan untuk pompa diaphragm dapat disterilisasi dengan steam,serta dapat digunakan sebagai pompa peristaltik

B. EVALUASI BELAJAR

1. Rangkuman

Fermentor memiliki fungsi dasar untuk menyediakan lingkungan dengan kondisi yang dapat dikontrol untuk pertumbuhan mikroorganisme. Untuk konstruksi fermentor, ukuran kecil (skala laboratorium), maka untuk ukuran 1 — 30 L dapat digunakan kaca atau stainless steel.

Untuk kaca :

- Permukaan halus

- Tak beracun
- Tak korosif

Ada dua tipe fermentor yang dapat digunakan untuk skala kecil :

1. Bejana gelas dengan bagian dasar bulat atau datar. Sterilisasi dengan autoclave. Bagian atas pada umumnya plat datar
2. Silinder kaca dengan plat stainless steel pada bagian atas dan dasar, dapat disterilisasi secara in situ. Diameter optimal sebesar 30 cm untuk menjaga ketahanan terhadap tekanan operasi

Ukuran besar, bahan stainless steel dengan ukuran ketebalan bahan 7 mm yang digunakan untuk dinding bahan, serta tebal 10 mm yang digunakan untuk bagian atas dan dasar. Untuk skala besar, apabila terjadi produksi panas berlebih, maka fermentor dilengkapi dengan jaket dengan tambahan air dingin yang disirkulasi untuk mencapai suhu tertentu. Untuk bejana besar, pada umumnya digunakan *internal cooling coils* dan fermentor dengan ukuran hingga 500 L umumnya cocok dengan menggunakan jaket.

Sedangkan, faktor penentu kinerja kolom fermentor memiliki kriteria :

1. Fermentor :

- Batasan diameter fermentor = 4 – 4,5 m (untuk pembuatan diluar site), dan untuk memudahkan transportasi
- Untuk volume 50 – 75 m³ kisaran konfigurasi L/D adalah 1 – 1,5:1
- Untuk volume yang lebih besar kisaran konfigurasi L/D adalah 3 – 4:1

2. Kebutuhan akan oksigen :

Untuk viscous, non-newtonian broth :

- Faktor viscous mengontrol, mendapatkan oksigen terlarut dari bulk cairan ke sel, bukan dari gas ke sel
- Perlu jumlah energi lebih besar melalui mixing dan pumping untuk menaikkan distribusi oksigen terlarut dalam sel

3. Jumlah fermentor dan bahan :

Untuk ukuran 750 m³, dibutuhkan 3 fermentor yang masing masing berukuran 250m³ atau 4 fermentor dengan masing masing berukuran 190 m³

Bahan konstruksi fermentor :

Stainles steel SS 304 atau SS 316 (lebih disukai terutama untuk coils)

4. Proses :

Kontinu

- Untuk memaksimalkan laju produksi
- Intraselular produk
- Sensitivitas rendah

Batch (lebih disukai)

- Kultur dapat mutasi pada waktu operasi yang lebih lama
- Kultur akan sensitif terhadap kontaminasi

5. Utilitas :

Membutuhkan biaya kapital dan biaya operasi

Untuk air pendingin (dibutuhkan sejumlah tertentu dan harus eksotermis)

Steam

- Untuk sterilisasi bejana dan medium
- Menghilangkan air dengan evaporasi
- Memekatkan produk

Listrik

- Motor pada fermentor, pompa, sistem vakum
- Pompa berguna untuk low rate feeding
- Sedangkan untuk pompa diaphragm dapat disterilisasi dengan steam,serta dapat digunakan sebagai pompa peristaltik

2. Latihan

1. Apa yang dimaksud dengan impeller ? serta apa fungsi utamanya ?
2. Mengapa desain fermentor mengharuskan dibuat dari baja tahan karat ? jelaskan jawaban anda !
3. Apa fungsi stirer dalam fermentor ?

3. Tugas

1. Mengapa kolom fermentor dibuat dalam bentuk geometri silinder ? uraikan jawaban anda !
2. Dalam aspek Engineering dikenal adanya term " η " yang berarti efisiensi proses. Apa yang dimaksud dengan efisiensi dan bagaimanakah ilustrasi perhitungannya ?
3. Gambarkan ilustrasi proses fermentasi pembuatan bir skala pilot secara sederhana dengan menggunakan fermentor *single blade impeller*!

C. Penilaian Tugas

- 1) Tugas dibuat di blog mahasiswa
- 2) Blog di link ke web hybrid learning.
- 3) Blog tersebut harus mencantumkan logo dan nama Universitas PGRI Yogyakarta
- 4) Diselesaikan sebelum batas akhir penyerahan tugas

D. Daftar Pustaka

Riadi L. (2013). *Teknologi Fermentasi*. Edisi II, Graha Ilmu, Yogyakarta