

APLIKASI DAN INDUSTRI BIOPROSES

Dasar Bioproses

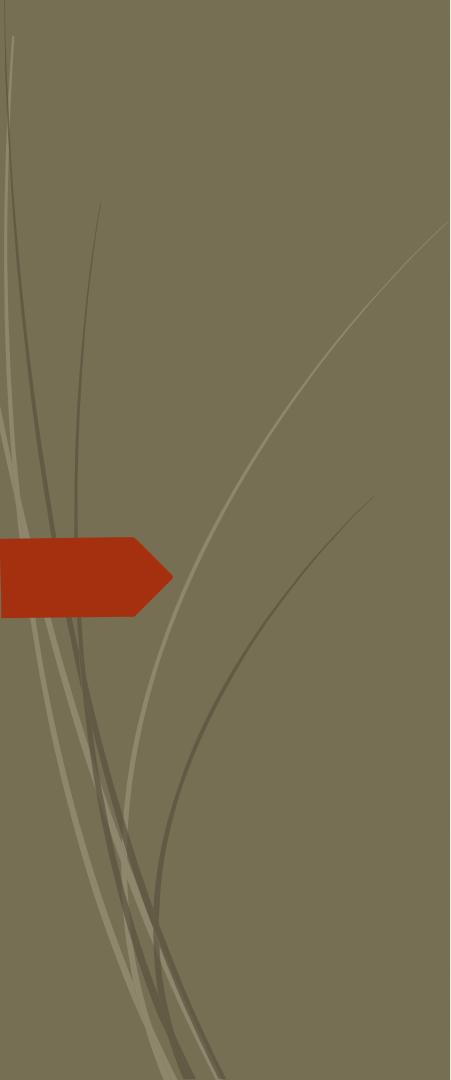
Dody Guntama, S.T., M. Eng



Materi Pembelajaran

Teknologi bioproses dengan menggunakan aplikasi ilmu bioproses di industry

Aplikasi bioproses khususnya dalam produksi chemicals dan pengolahan air limbah



Sebutkan beberapa fungsi bioproses yang kamu ketahui!

Seperti yang telah diketahui bersama bahwa saat ini enzim dan sel mikroba banyak digunakan untuk produksi senyawa kimia (chemicals), obat-obatan (pharmaceuticals), bahan makanan, essence, vitamin, serta untuk pengolahan limbah. Masing-masing dari proses tersebut memiliki karakteristik yang unik dalam hal teknologi pemrosesan serta pemisahannya. Proses yang paling umum digunakan dalam industri bioproses adalah fermentasi. Menurut Dutta (2008), produk fermentasi dapat berupa sel (biomassa), komponen dalam broth fermentasi (ekstraseluler), maupun produk yang terdapat di dalam sel (intraseluler), yaitu :

<i>Types</i>	<i>Products</i>	<i>Concentration</i>
<i>Cell itself</i>	baker's yeast, single cell protein	30 g/L
<i>Extracellular</i>	alcohols, organic acids, amino acids	100 g/L
<i>Extracellular</i>	enzymes, antibiotics	20 g/L
<i>Intracellular</i>	recombinant DNA proteins	10 g/L



Proses Anaerobik



Proses Anaerobik

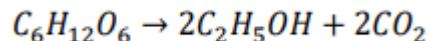
a) Produksi Etanol

- ▶ Etanol sering digunakan sebagai bahan baku (raw material) senyawa kimia tertentu, pelarut (solvent), serta bahan bakar. Dalam beberapa industri seperti industri kimia, farmasi, maupun industri makanan, etanol seringkali digunakan dalam jumlah yang besar. Sebanyak 4 juta ton etanol diproduksi di dunia setiap tahunnya, dimana 80%-nya dihasilkan melalui proses fermentasi (Shuler dan Kargi, 2001).
- ▶ Yeast (ragi) merupakan mikroorganisme yang paling umum digunakan untuk produksi etanol dalam skala industri. Jenis (spesies) yeast yang dapat dimanfaatkan berbeda-beda tergantung pada komposisi bahan baku yang dipakai.
- ▶ *S. cerevisiae* secara khusus cocok untuk fermentasi heksosa, dimana selama ini paling banyak digunakan.
- ▶ *Kluyveromyces fragilis* atau *Candida* sp. dapat digunakan apabila substratnya mengandung laktosa atau pentosa.
- ▶ Mikroorganisme yang memiliki kemampuan fermentasi pentosa dan heksosa seperti *Clostridium hermosaccharolyticum* dan *Thermoanaerobacter ethanolicus* merupakan mikroorganisme termofilik dan memberikan keuntungan dalam hal fermentasi etanol dan separasi produk.
- ▶ Sebagian besar mikroorganisme membutuhkan komponen gula untuk fermentasi. Kandungan gula dapat ditemukan pada bahan-bahan seperti tebu, sweet sorghum, atau sugar beet juices dan molasses. B

Proses Anaerobik

a) Produksi Etanol

- Umumnya pati disakarifikasi secara enzimatik sebelum masuk pada tahap fermentasi.
- Metode hidrolisis asam pada bahan yang mengandung pati tidak direkomendasikan karena dapat menghasilkan produk samping yang sifatnya non-fermentable dan inhibitor
- Yeast mengkonversi heksosa menjadi etanol dan karbon dioksida melalui reaksi glikolisis seperti ditunjukkan pada reaksi berikut:



- Secara teoritis, yield etanol terhadap glukosa sebesar 0,51 g/g.
- Biasanya, produk samping seperti gliserol, succinic acid, dan asam asetat juga dihasilkan, sehingga yield aktual yang diperoleh hanya sekitar 90-95% dari yield teoritisnya.
- Temperatur optimal untuk yeast adalah pada kisaran 30-35C, sementara nilai pH optimalnya adalah 4-6.
- Untuk mikroorganisme termofilik, suhu optimalnya berada pada kisaran 50–60C.





Proses Anaerobik

a) Produksi Etanol

- Fermentasi etanol konvensional dioperasikan secara batch pada kondisi aseptik. Reaktor yang digunakan adalah reaktor berpengaduk.
- Fermentasi etanol konvensional dioperasikan secara batch pada kondisi aseptik. Reaktor yang digunakan adalah reaktor berpengaduk.
- Larutan umpan yang masuk harus mengandung senyawa nitrogen, fosfor, mineral, dan beberapa trace elements dengan komposisi yang seimbang. Media glukosa biasanya dilengkapi dengan NH4Cl, KH₂PO₄, MgSO₄, CaCl₂, dan yeast extract. Konsentrasi glukosa pada larutan umpan memiliki pengaruh penting pada laju produksi etanol, dimana konsentrasi yang lebih dari 100 g/L dapat bersifat inhibitor bagi yeast.
- Setelah pengaturan pH dan temperatur, isi reaktor disterilisasi dan didinginkan hingga suhu fermentasi. Temperatur dan pH harus dikendalikan selama proses berlangsung.
- Kultur yeast steril disiapkan untuk inokulasi ke dalam reaktor. Fermentasi batch ini berlangsung selama 30-40 jam.
- Pada akhir proses, produk fermentasi dikeluarkan dari dalam reaktor, kemudian yeast dipisahkan dengan metode filtrasi atau sentrifugasi. Broth fermentasi yang dihasilkan akan diproses lebih lanjut untuk separasi etanol melalui proses distilasi.

Proses Anaerobik

a) Produksi Etanol

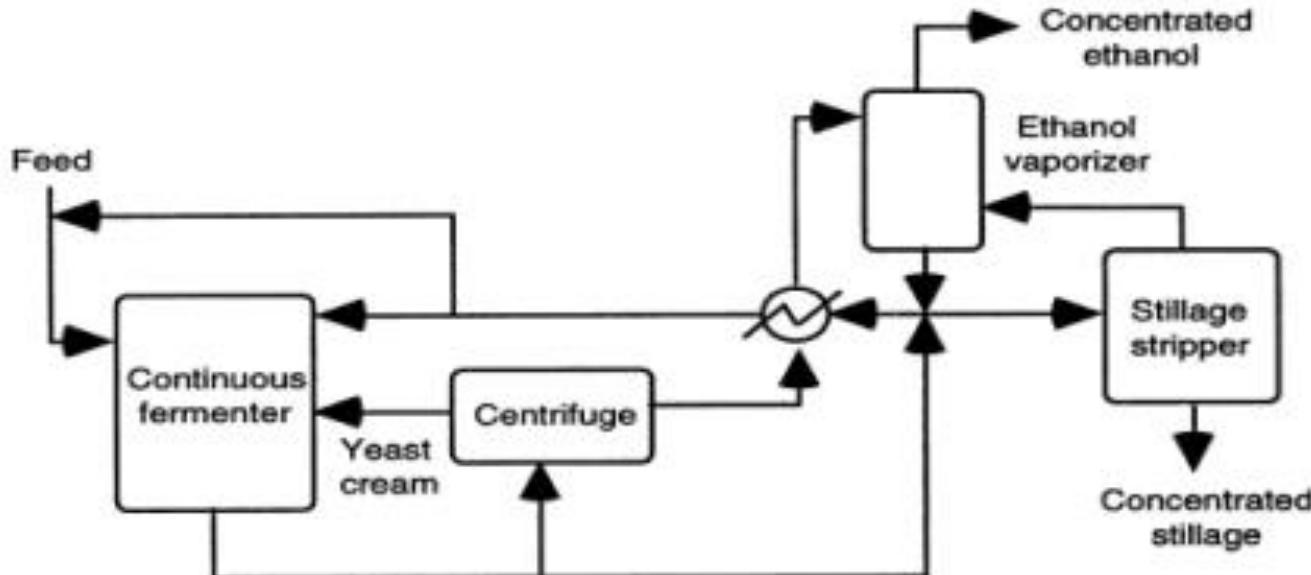
- ▶ Operasi kontinyu pada fermentasi etanol memiliki kelebihan yang signifikan dibanding operasi batch.
- ▶ Dengan sterilisasi media secara kontinyu dan kondisi aseptik, masalah kontaminasi dapat dieliminasi.
- ▶ Di samping itu, sekitar 95% gula dapat dikonversi menjadi etanol dalam operasi kontinyu, dengan residence time 10-21 jam.
- ▶ Hal ini lebih menguntungkan, mengingat operasi batch membutuhkan waktu yang lebih lama, yaitu 40 jam. Adanya recycle sel pada operasi kontinyu dapat meningkatkan konsentrasi sel di dalam reaktor hingga 5 kalinya, sehingga konversinya menjadi lebih cepat.

	Total cycle time (h)	Ethanol concentration (g/l)	Productivity (g/l h)
Simple batch	36	80	2.2
Melle-Boinot	12	80	6.6
Continuous in series	8	86	11

Perbandingan proses fermentasi etanol di industri (Shuler dan Kargi, 2001)

Proses Anaerobik

a) Produksi Etanol



Skema proses untuk produksi etanol (Shuler dan Kargi, 2001)

Proses Anaerobik

a) Produksi Etanol

- ▶ Etanol dapat dipisahkan dari broth fermentasi menggunakan distilasi vakum pada suhu rendah, adsorpsi, atau pemisahan dengan membran. Proses-proses tersebut mengurangi inhibisi etanol tetapi jarang digunakan di industri karena sulit dioperasikan. Pemisahan etanol dari broth fermentasi biasanya dilakukan dengan metode distilasi. Dengan metode ini, kemurnian etanol yang dihasilkan umumnya bisa mencapai 95% untuk chemicals dan obat-obatan. Meskipun demikian, sulit untuk mendapatkan 100% etanol murni karena 95% etanol dalam air membentuk campuran azeotrop.



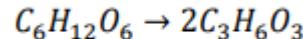
b) Produksi Asam Laktat

Asam laktat pertama kali diisolasi dari sour milk pada tahun 1780 dan memiliki dua bentuk konfigurasi, yaitu D- dan L-asam laktat. L-asam laktat umumnya digunakan sebagai acidulant dan pengawet pada makanan. Asam laktat juga digunakan sebagai chemical intermediate untuk memproduksi senyawa kimia lainnya, serta banyak digunakan pada industri farmasi. Secara umum asam laktat diproduksi melalui proses fermentasi.

Di industri, biasanya karbohidrat difermentasi oleh campuran bakteri asam laktat. Campuran strain ini mampu menghasilkan laju fermentasi yang lebih cepat dibandingkan dengan kultur murni. Bakteri penghasil asam laktat diklasifikasikan ke dalam dua kelompok, yaitu bakteri homolactic (*Lactobacillus* sp., *Streptococcus* sp., *Pediococcus* sp.) dan heterolactic (beberapa *Streptococcus* sp., *Leuconostoc* sp.).

b) Produksi Asam Laktat

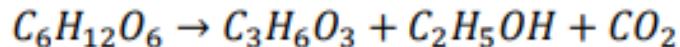
- ▶ Spesies homolactic *Lactobacillus* dan *Streptococcus* merupakan mikroorganisme yang paling umum digunakan untuk produksi asam laktat di industri. Bakteri homolactic menggunakan jalur EMP untuk menghasilkan dua mol pyruvate dari satu mol glukosa, yang kemudian direduksi menjadi asam laktat.



- ▶ Yield produk hasil fermentasi bervariasi, tergantung pada substrat dan mikroorganisme yang digunakan, namun secara umum yield asam laktat terhadap glukosa lebih dari 0,9 g/g.
- ▶ Mikroorganisme yang digunakan adalah anaerob fakultatif, namun hanya mampu menghasilkan ATP dengan fermentasi anaerob.

b) Produksi Asam Laktat

- ▶ Bakteri homolactic di industri tumbuh pada temperatur > 40oC dan pH antara 5-7.
- ▶ temperatur yang tinggi dan pH rendah (pH < 6) dapat mengurangi risiko kontaminasi.
- ▶ Bakteri homolactic dapat menghasilkan asam laktat dari pentosa dan heksosa. Umumnya asam laktat dan asam asetat diproduksi dari proses fermentasi pentosa.
- ▶ Fermentasi dengan bakteri heterolactic tidak diinginkan karena dapat menghasilkan produk samping, dimana satu mol glukosa menghasilkan satu mol asam laktat, etanol, dan CO₂



- ▶ Berdasarkan reaksi tersebut, yield teoritisnya adalah 0,5 g asam laktat/g glukosa.

b) Produksi Asam Laktat

- ▶ Dalam pemilihan bahan baku, terdapat beberapa hal yang penting untuk dipertimbangkan, misalnya harganya yang tidak mahal, mampu menghasilkan laju produksi yang tinggi dengan yield tinggi tanpa pembentukan produk samping, tidak membutuhkan pretreatment, serta ketersediaannya setiap waktu. Sukrosa yang berasal dari tebu, laktosa dari cheese whey, serta maltosa atau dekstrosa dari pati yang dihidrolisis banyak digunakan sebagai bahan baku di industri.
- ▶ Molasses juga dapat digunakan, namun lebih sulit dalam proses pemisahan asam laktat. Untuk meningkatkan laju pertumbuhan sel dan pembentukan asam laktat perlu ditambahkan sumber nitrogen (seperti malt extract, corn steep liquor, dan yeast extract) ke dalam media fermentasi
- ▶ Proses produksi asam laktat di industri dioperasikan secara batchwise.
- ▶ Fermentor dibuat dari stainless steel dan dilengkapi dengan koil transfer panas. Vessel disterilisasi menggunakan steam sebelum diisi dengan medium.
- ▶ Kondisi proses fermentasi berbeda-beda untuk tiap produsen di industri, namun umumnya berada pada kisaran temperatur 45-60°C dan pH 5-6,6 untuk *L. delbrueckii*; T = 43°C, pH = 6-7 untuk *L. bulgaricus*; dan T = 30- 50°C dan pH < 6 untuk *Rhizopus*.

b) Produksi Asam Laktat

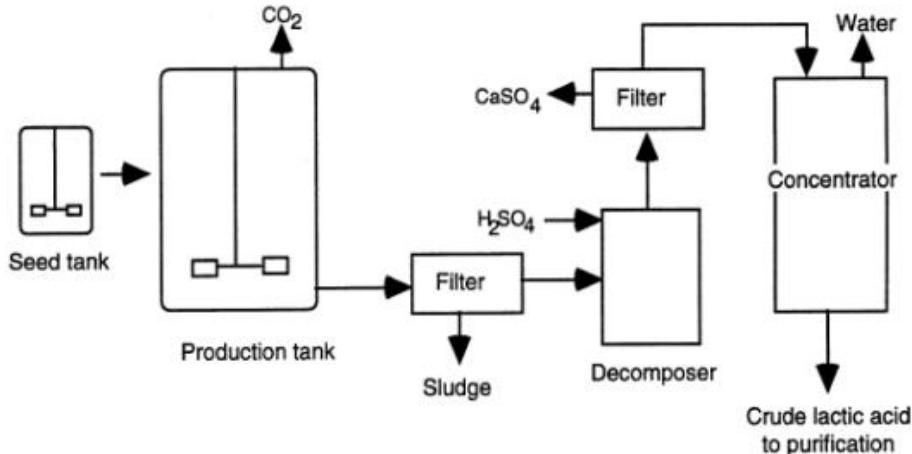


Diagram proses untuk produksi asam laktat (Shuler dan Kargi, 2001)

b) Produksi Asam Laktat

- ▶ Proses pemurnian asam laktat dapat dilakukan dengan metode presipitasi kalsium laktat. Broth fermentor difilter dan dievaporasi hingga diperoleh konsentrasi asam laktat 25%. Kalsium laktat kemudian dikristalisasi dan dipisahkan dari mother liquor-nya. Beberapa prosedur pemurnian dapat dilakukan untuk mendapatkan asam laktat dengan grade yang berbeda, misalnya dengan cara bleaching menggunakan activated carbon, ion exchange, elektrodialisis, ekstraksi solvent, atau esterifikasi. Asam laktat yang edible umumnya mengandung 50-65% asam laktat. Sementara untuk industri farmasi diperlukan asam laktat dengan kemurnian > 90%; dan untuk polimer, asam laktat yang digunakan harus semurni mungkin



PROSES AEROBIK

a) Produksi Asam Sitrat

- Produksi asam sitrat dari larutan gula secara aerobik pertama kali diketahui menggunakan mikroorganisme *Penicillium*. Seiring berjalannya waktu, *Aspergillus niger* mulai dimanfaatkan karena penggunaan *Penicillium* menghasilkan yield yang rendah.
- *Aspergillus niger* merupakan organisme yang paling banyak digunakan untuk produksi asam sitrat dari molasses atau larutan gula.
- *Yeast Candida* juga dapat digunakan untuk produksi asam sitrat dari karbohidrat atau n-alkana dengan yield mencapai 225 g/L
- Beet atau molasses tebu dapat digunakan sebagai sumber karbohidrat untuk produksi asam sitrat.
- Di samping itu, larutan glukosa atau sukrosa murni juga dapat digunakan sebagai bahan baku namun lebih mahal dan membutuhkan tambahan nitrogen (NH_4^+), fosfat, serta garam anorganik.

a) Produksi Asam Sitrat

- Secara tradisional, asam sitrat diproduksi melalui surface fermentation dari molasses, dimana proses ini masih digunakan oleh beberapa produsen. Metode surface fermentation dilakukan pada permukaan tray dengan kedalaman cairan 5-20 cm. Molasses cair (dengan konsentrasi gula 150 g/L) yang sudah disterilisasi diletakkan pada tray dengan suhu dijaga pada 30oC. Nutrien tambahan dan alkali ferrocyanide steril ditambahkan ke dalam medium. Spora dari strain *A. niger* disebarluaskan pada cairan di tray. Chamber diaerasi dengan udara steril untuk menyediakan oksigen bagi mikroorganisme dan untuk menghilangkan panas yang dihasilkan dari proses fermentasi. Pada permukaan medium akan terbentuk lapisan mycelium. Setelah proses inkubasi selama 7-10 hari, tray dikosongkan, mycelium dihilangkan, kemudian medium ditransfer ke tahapan berikutnya untuk proses recovery.



Metode presipitasi sering dilakukan dengan menambahkan kalsium hidroksida (lime) ke dalam broth fermentasi yang sudah dipanaskan untuk mendapatkan kalsium sitrat tetrahidrat. Endapan kemudian dicuci dan dicampur dengan asam sulfat encer sehingga menghasilkan larutan asam sitrat dan endapan CaSO₄ (gypsum). Setelah proses bleaching dan kristalisasi, diperoleh asam sitrat anhidrat dan monohidrat. Metode lain yang dapat digunakan untuk recovery asam sitrat adalah ekstraksi solvent, namun metode ini tidak digunakan secara komersial. Dalam metode ekstraksi tidak terdapat proses pembentukan gypsum, namun dapat mengekstrak beberapa pengotor yang terdapat dalam molasses. Beberapa senyawa yang dapat digunakan sebagai ekstraktan diantaranya keton, hidrokarbon, eter, dan ester. Ekstraksi asam sitrat dilakukan pada suhu rendah, kemudian pelarutnya di stripping menggunakan air panas

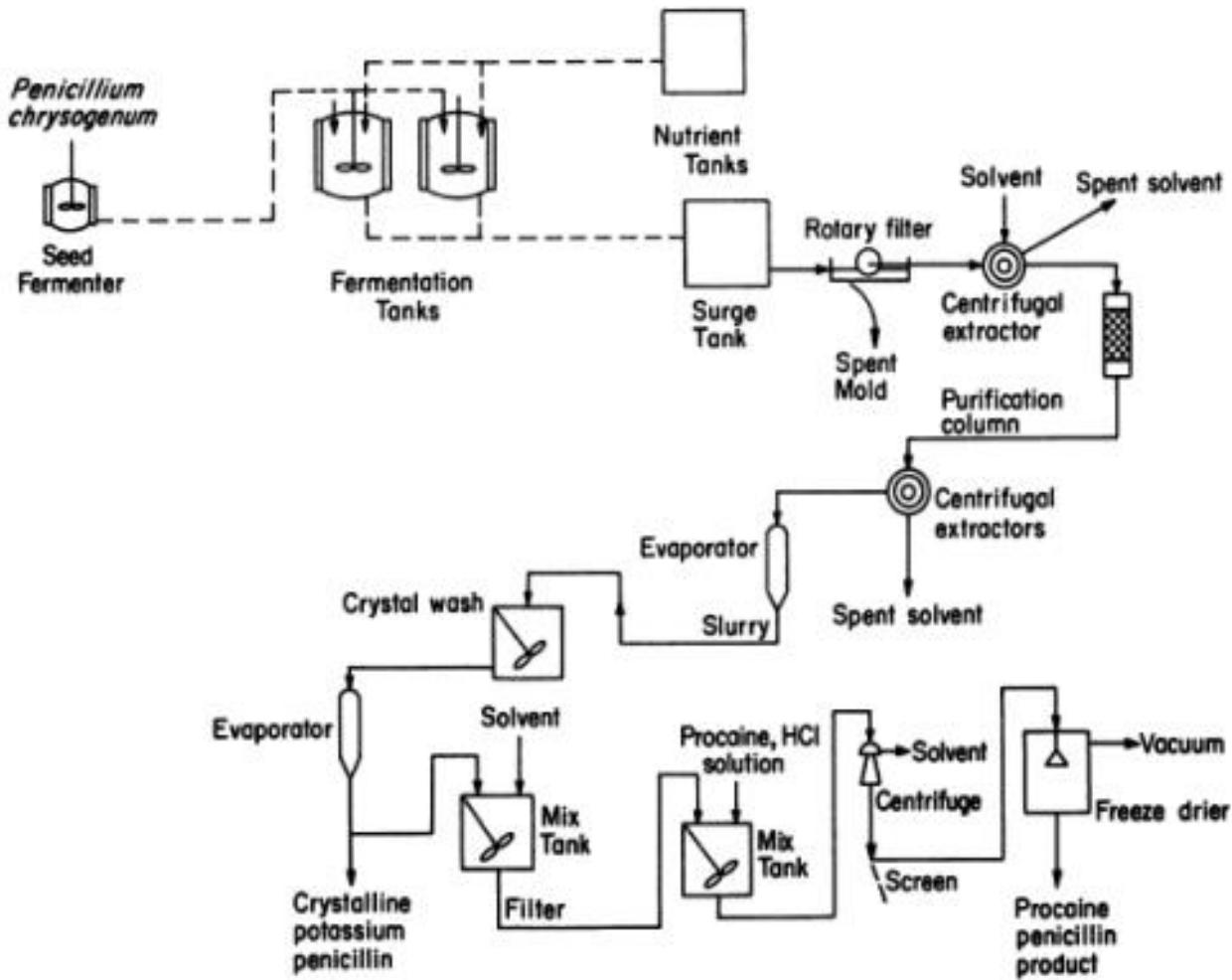
b) Produksi Penisilin

- Penisilin pertama kali ditemukan oleh Alexander Fleming pada tahun 1928 dari *Penicilium notatum*. Penggunaan strain *Penicillium* yang berbeda akan menghasilkan jenis penisilin yang berbeda pula. Di industri, yang paling banyak digunakan adalah *P. chrysogenum*.
- *P. chrysogenum* dapat menggunakan beragam jenis karbohidrat dan minyak sebagai sumber karbon dan energi, misalnya glukosa, sukrosa, pati terhidrolisis, laktosa, dan molasses. Minyak jagung yang dilengkapi dengan laktosa mampu menghasilkan penisilin konsentrasi tinggi dengan laju produksi yang cepat. Pertama kali, diketahui media pertumbuhan sel yang sering digunakan mengandung laktosa 3-4%; corn steep liquor 4%; CaCO₃ 1%; KH₂PO₄ 0,4%; dan antifoam 0,25%. Seiring berjalannya waktu, mulai dikembangkan media yang menghasilkan yield penisilin lebih tinggi. Untuk beberapa media, komposisi spesifiknya mengandung glukosa atau molasses 10%; corn steep liquor 4-5%; phenylacetic acid 0,5-0,8%; vegetable oil dan antifoam dengan konsentrasi total 0,5%.

b) Produksi Penisilin

- Corn steep liquor (CSL) digunakan sebagai sumber nitrogen, karena menghasilkan yield penisilin yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber nitrogen lainnya. Beberapa komponen dalam CSL dikonversi menjadi phenylacetic acid. Cottonseed flour atau soybean meal dapat digunakan sebagai sumber nitrogen, namun lebih mahal dibandingkan CSL.
- Proses untuk produksi penisilin pada mulanya melibatkan fase batch dimana terjadi pertumbuhan sel. Pada 40 jam pertama proses fermentasi, pertumbuhan sel yang cepat dapat dicapai dengan doubling time hampir 6 jam. Setelah diperoleh densitas sel yang tinggi, nutrien yang terdiri dari glukosa dan CSL ditambahkan perlahan atau secara bertahap untuk mengurangi pertumbuhan sel dan memaksimalkan produksi penisilin. Pada tahap ini, konsentrasi oksigen, karbon, nitrogen, dan fosfat harus rendah.

b) Produksi Penisilin



b) Produksi Penisilin

- Diagram sederhana proses produksi penisilin ditunjukkan pada Gambar di atas. Sel vegetatif dikultivasi dalam shake flasks kemudian ditransfer ke seed fermenter. Fermentor untuk produksi berupa tangki berpengaduk yang terbuat dari stainless steel. Temperatur proses dikendalikan pada 25-28°C menggunakan koil pendingin. Antifoam ditambahkan untuk mengurangi pembentukan busa. Oksigen terlarut dijaga pada konsentrasi $> 2 \text{ mg/L}$ dan pH pada 6,5. Transfer oksigen menjadi masalah utama pada fermentasi penisilin karena broth memiliki viskositas yang tinggi. Oleh karena itu, pemilihan strain tertentu menjadi penting agar viskositas medium lebih rendah sehingga suplai oksigen meningkat. Menurut Konig dkk. (1981), kecepatan pengadukan yang tinggi juga dapat meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut, sehingga fase produksi penisilin lebih singkat, pertumbuhan sel lebih cepat, dan lebih banyak sumber karbon yang terkonversi menjadi CO₂.

b) Produksi Penisilin

- Proses konvensional untuk recovery penisilin dari broth fermentasi berupa metode adsorpsi menggunakan karbon aktif. Setelah dicuci dengan air, karbon aktif dielusi menggunakan aseton 80%. Penisilin dipekatkan dengan cara evaporasi pada kondisi vakum, temperatur 20-30oC. Larutan yang tersisa didinginkan hingga 2oC, diturunkan pH-nya menjadi 2-3, kemudian penisilin diekstrak menggunakan amyl acetate. Penisilin dikristalisasi dari amyl acetate pada pH 7 dan kondisi vakum. Meskipun demikian, proses ini tidak ekonomis karena harga karbon aktif yang tinggi.
- Proses recovery saat ini meliputi metode filtrasi, ekstraksi, adsorpsi, kristalisasi, dan drying. Filtrasi umumnya dilakukan menggunakan rotary vacuum drum filter kapasitas tinggi untuk memisahkan mycelia. Mycelia dicuci pada filter dan dibuang. Filtrat yang mengandung penisilin didinginkan hingga 2-4 oC untuk menghindari terjadinya degradasi kimia atau enzimatik dari penisilin.

b) Produksi Penisilin

- Ekstraksi solvent dilakukan pada pH rendah yaitu 2,5-3 menggunakan amyl acetate atau butyl acetate sebagai pelarut. Dalam hal ini digunakan multistage centrifugal extractor, kontinyu, countercurrent. Untuk menghindari degradasi penisilin ketika ekstraksi solvent pada pH rendah, temperaturnya dijaga pada 2-4 °C dan proses filtrasi dilakukan sangat singkat (1-2 menit). Setelah itu, adsorpsi menggunakan karbon dilakukan untuk menghilangkan pengotor dan pigmen dari solvent yang mengandung penisilin setelah proses ekstraksi.
- Proses kristalisasi dapat dilakukan pada solvent atau fase aqueous yang dihasilkan. Konsentrasi penisilin, pH, dan temperatur perlu disesuaikan saat proses kristalisasi. Kristal dipisahkan menggunakan rotary vacuum filter, kemudian dicuci menggunakan anhydrous butyl alcohol untuk menghilangkan pengotornya. Belt filter horizontal digunakan untuk pengumpulan dan pengeringan kristal.

b) Produksi Penisilin

- Penisilin dalam bentuk kristal dijual sebagai intermediate atau dapat dikonversi menjadi 6-APA (6-aminopenicillanic acid) yang digunakan untuk produksi penisilin semi-sintetik. Dari sisi ekonomi, biaya yang paling berpengaruh pada produksi penisilin adalah bahan baku dan utilitas. Oleh karena itu dengan menggunakan bahan baku yang lebih murah, seperti molasses atau pati, serta strain yang sudah dikembangkan secara genetik diharapkan mampu menghasilkan yield penisilin yang lebih tinggi, dengan biaya produksi yang lebih rendah.



**Sejauh Pengetahuan Kamu,
apakah manfaat Penisilin?**



Proses Pengolahan Limbah



Secara umum limbah diklasifikasi ke dalam tiga kelompok:

Limbah Industri

Limbah Domestik

Limbah
Pertanian





Jenis Limbah

- 1) Limbah industri, dimana karakteristiknya bervariasi antara satu industri dengan industri lainnya. Limbah industri biasanya mengandung hidrokarbon, karbohidrat, alkohol, lipid, dan senyawa organik aromatik. Limbah industri banyak mengandung senyawa karbon dengan kandungan nitrogen yang rendah (rasio C/N tinggi). Oleh karena itu, pengolahan limbah industri secara biologi biasanya memerlukan tambahan komponen nitrogen dan nutrien lainnya
- 2) Limbah domestik, yang dihasilkan dari aktivitas manusia sehari-hari. Jumlah dan komposisi limbah domestik bervariasi terhadap waktu, tergantung pada aktivitas manusia
- 3) Limbah pertanian, diantaranya termasuk limbah tanaman seperti jerami. Jenis limbah ini biasanya banyak mengandung karbon karena tingginya kandungan selulosa



Metode Pengolahan Limbah

Pengolahan secara fisik (physical treatment) meliputi screening, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan flotasi dimana metode ini sering digunakan untuk menghilangkan bahan tidak terlarut (insoluble material)

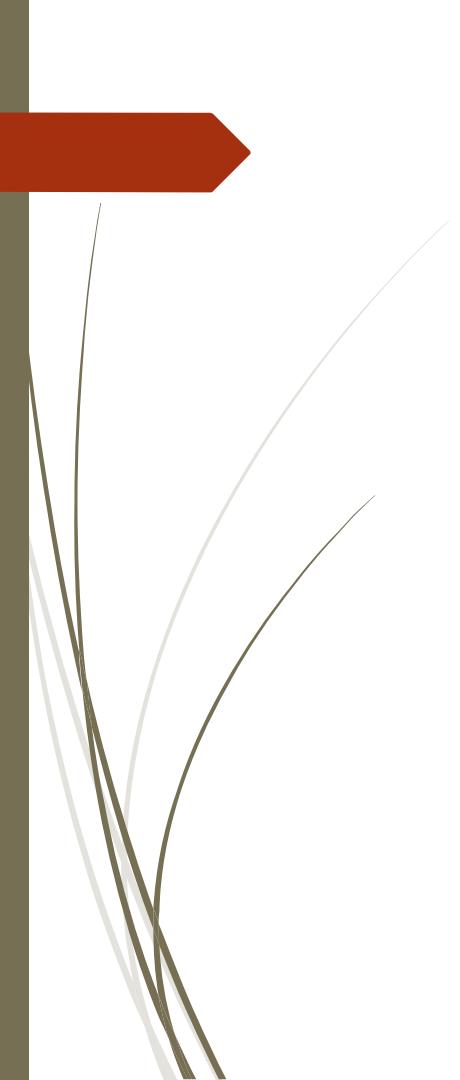
Pengolahan secara kimia (chemical treatment) meliputi oksidasi kimia (klorinasi, ozonisasi) dan pengendapan secara kimia menggunakan CaCl_2 , FeCl_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, atau $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Pengolahan secara biologi (biological treatment) meliputi pengolahan limbah aerobik dan anaerobik menggunakan mikroorganisme kultur campuran (mixed culture)



Pengolahan Limbah

- ▶ Karakteristik pada air limbah harus diketahui terlebih dahulu sebelum proses pengolahan, diantaranya karakteristik fisik seperti warna, bau, pH, suhu, dan kandungan padatan (suspended dan dissolved solid); serta karakteristik kimia seperti komponen organik dan anorganik.
- ▶ Senyawa karbon yang banyak terdapat dalam limbah industri adalah karbohidrat, lipid, minyak, hidrokarbon, dan protein. Komponen lainnya seperti fenol, surfaktan, herbisida, pestisida, dan senyawa aromatik biasanya ada dalam konsentrasi yang rendah (<< 1 g/L) tetapi sulit untuk didegradasi secara biologi. Senyawa anorganik juga seringkali terdapat dalam limbah seperti diantaranya senyawa nitrogen (NH_4^+ dan NO_3^-), sulfur (SO_4^{2-} , SO_3^{2-}), fosfor (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-), logam berat (Pb^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+}), dan gas terlarut (H_2S , NH_3 , CH_4).
- ▶ Kandungan karbon dalam sampel air limbah dapat dinyatakan dalam bentuk biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), dan total organic carbon (TOC). BOD₅ menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dikonsumsi ketika sampel air limbah diumpulkan bakteri aktif dan diinkubasi pada 20°C selama 5 hari. Jumlah oksigen yang dikonsumsi dapat merepresentasikan kandungan senyawa organik dalam air limbah.

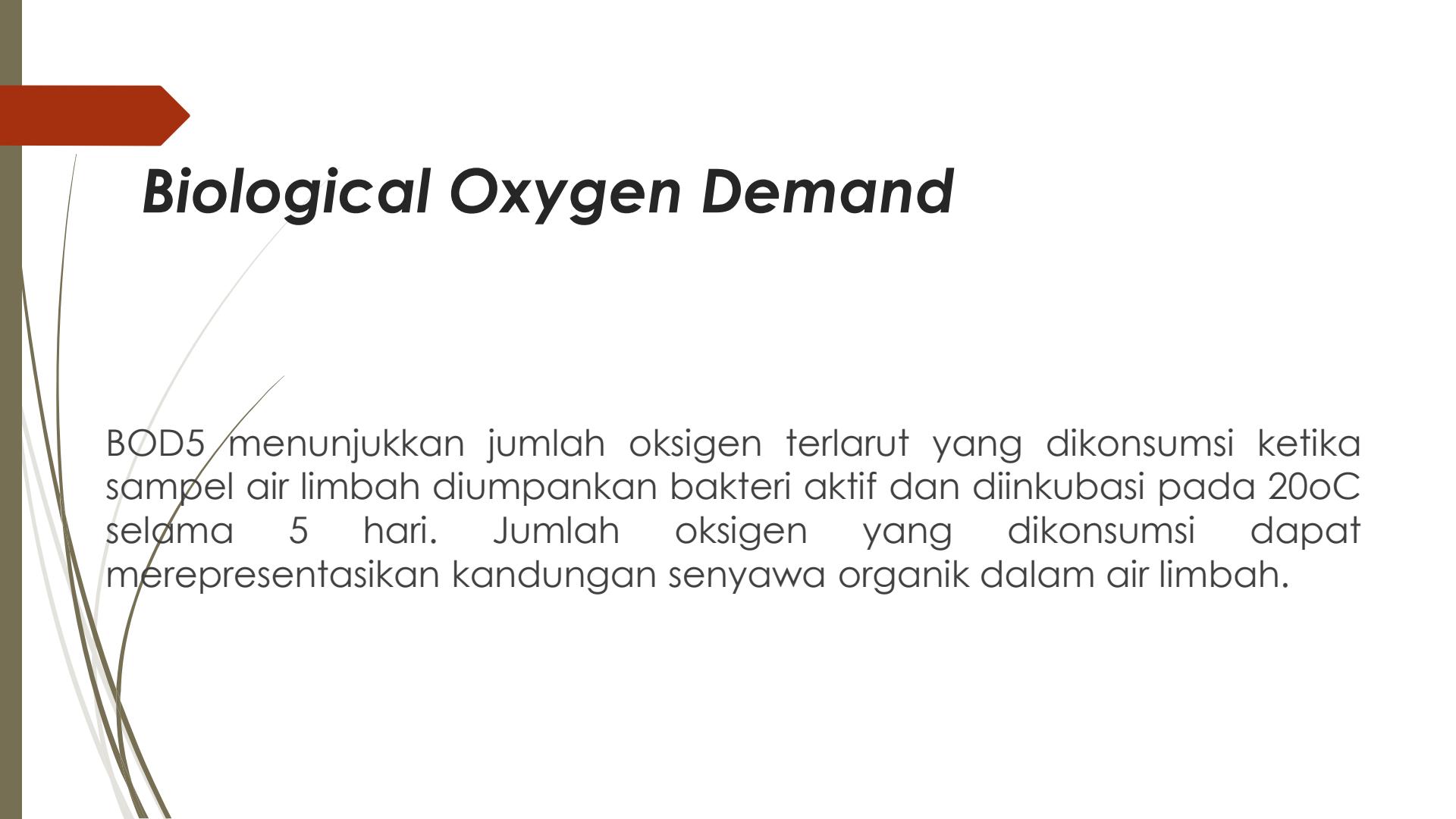


Apa Perbedaan BOD, COD, dan TOC?



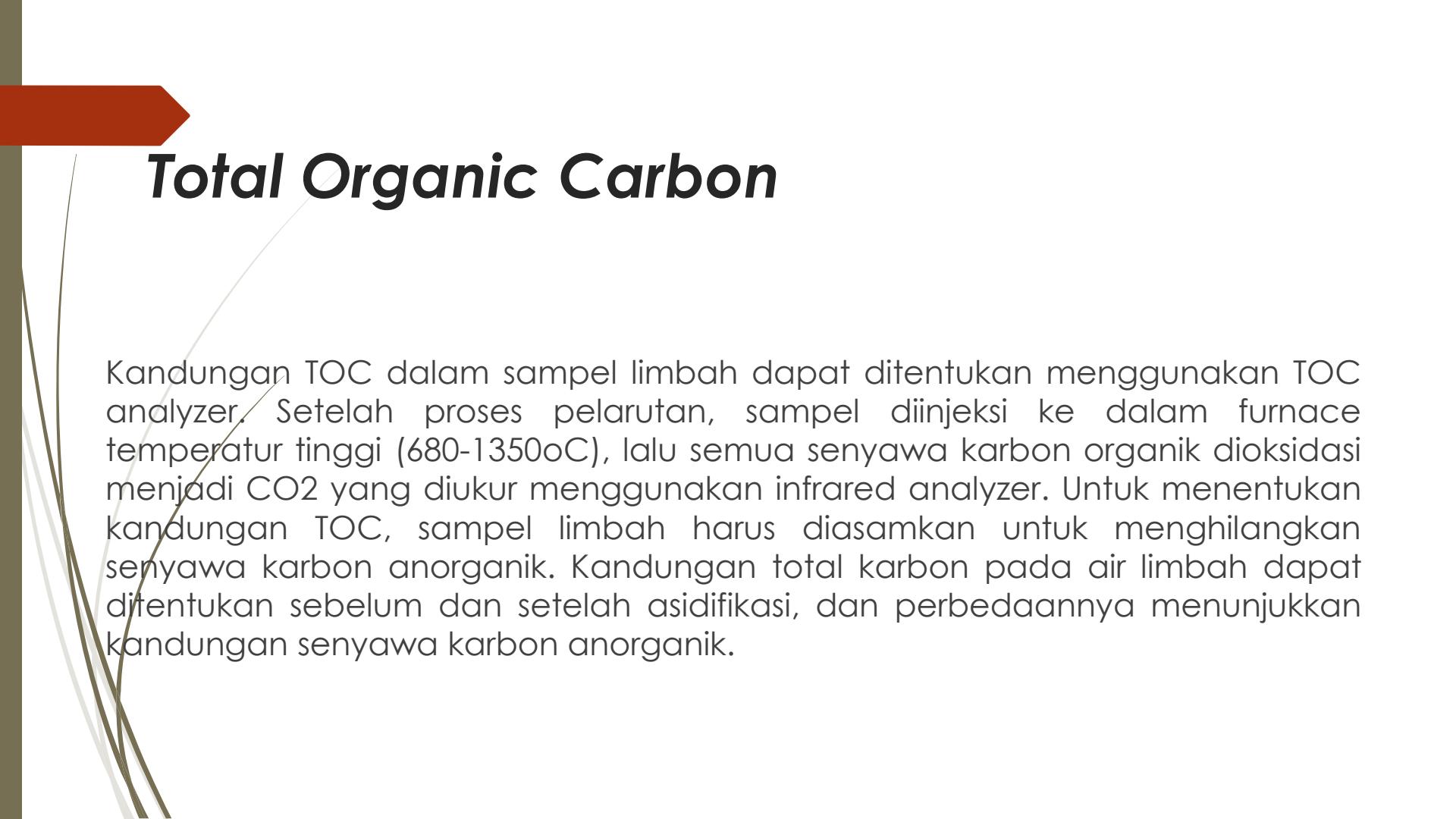
Chemical Oxygen Demand

COD merupakan ukuran konsentrasi senyawa organik dalam limbah yang dapat teroksidasi secara kimia. Senyawa organik dioksidasi menggunakan oksidator kuat, dan berdasarkan stoikiometri reaksi, kandungan senyawa organik dapat dihitung. Hampir semua senyawa organik dalam limbah mampu dioksidasi oleh chemical oxidant. Oleh karena itu, nilai COD dari suatu sampel limbah biasanya lebih tinggi dari BOD terukur ($\text{COD} > \text{BOD}_5$).



Biological Oxygen Demand

BOD₅ menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dikonsumsi ketika sampel air limbah diumpulkan bakteri aktif dan diinkubasi pada 20oC selama 5 hari. Jumlah oksigen yang dikonsumsi dapat merepresentasikan kandungan senyawa organik dalam air limbah.



Total Organic Carbon

Kandungan TOC dalam sampel limbah dapat ditentukan menggunakan TOC analyzer. Setelah proses pelarutan, sampel diinjeksi ke dalam furnace temperatur tinggi (680-1350oC), lalu semua senyawa karbon organik dioksidasi menjadi CO₂ yang diukur menggunakan infrared analyzer. Untuk menentukan kandungan TOC, sampel limbah harus diasamkan untuk menghilangkan senyawa karbon anorganik. Kandungan total karbon pada air limbah dapat ditentukan sebelum dan setelah asidifikasi, dan perbedaannya menunjukkan kandungan senyawa karbon anorganik.

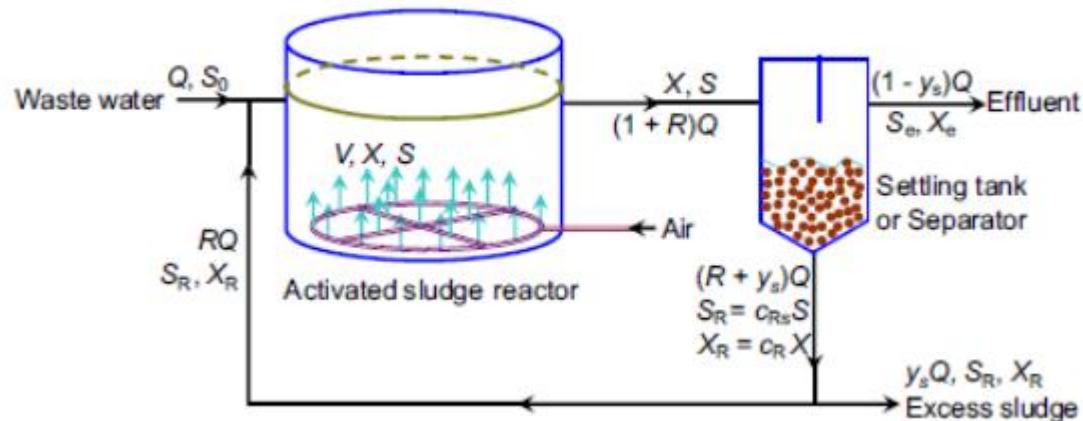


Metode pengolahan limbah secara biologi umumnya meliputi tiga tahapan, yaitu:

- a. Primary treatment mencakup penghilangan padatan berukuran besar dan bahan tersuspensi (screening, sedimentasi, filtrasi) serta pengkondisian air limbah dengan penyesuaian pH dan penambahan nutrien seperti PO₄ 3- dan NH₄ +
- b. Secondary treatment merupakan tahapan utama pada pengolahan limbah secara biologi. Tahapan ini meliputi oksidasi biologi atau pengolahan senyawa organik (soluble dan insoluble) secara anaerob. Senyawa organik dioksidasi menjadi CO₂ dan H₂O oleh mikroorganisme pada kondisi aerobik. Senyawa organik yang tidak teroksidasi serta padatan dari treatment aerobik didekomposisi menjadi CH₄, CO₂, dan H₂S pada kondisi anaerob.
- c. Tertiary treatment meliputi penghilangan sisa senyawa anorganik (seperti fosfat, sulfat, ammonium) dan senyawa organik yang sulit diproses melalui satu atau lebih metode separasi secara fisik, misalnya adsorpsi karbon dan deep-bed filtration. Pada beberapa kasus dapat digunakan teknologi berbasis membran seperti reverse osmosis atau elektrodialisis

Pengolahan Limbah Secara Biologi

Pengolahan limbah secara biologi biasanya memanfaatkan kultur campuran mikroorganisme. Pengolahan ini dapat dilakukan secara aerobik maupun anaerobik. Proses aerobik yang umum digunakan untuk pengolahan limbah diantaranya activated sludge, trickling filter, rotating biological contactors, dan oxidation ponds. Pada bagian ini akan dijelaskan satu proses yang paling umum, yaitu activated sludge.



Skema unit proses *activated sludge* (Liu, 2013)

Pengolahan Limbah Secara Biologi

Pemilihan aerator merupakan faktor penting dalam desain proses activated sludge. Kebutuhan aerasi bervariasi tergantung pada sifat limbah dan konsentrasi sel. Kebutuhan oksigen untuk activated sludge umumnya sekitar 30-60 m³ -O₂/kg BOD yang dihilangkan (Liu, 2013).

Berbagai modifikasi dari proses activated sludge telah dikembangkan, dua diantaranya adalah:

- 1) Step feed process. Pada proses ini, aliran umpan didistribusi di sepanjang reaktor. Hal ini membuat lebih stabil dan lebih efektif dalam hal transfer oksigen dan konsumsi oksigen bagi mikroorganisme
- 2) Solids reaeration (contact stabilization). Pada proses activated sludge konvensional, senyawa organik terlarut dapat diserap dengan cepat ke dalam flok, sementara konversi senyawa organik menjadi CO₂ dan H₂O menjadi lambat. Pada contact stabilization, dua tangki digunakan: tangki pertama (residence time sekitar 1 jam) digunakan untuk mempercepat serapan senyawa organik; sementara tangki kedua (residence time 3-6 jam) digunakan untuk reaerasi dan konversi akhir bahan organik. Dengan memekatkan sludge sebelum proses oksidasi, maka volume total tangki yang diperlukan untuk aerasi bisa berkurang hingga 50% dibandingkan dengan sistem konvensional.

Latihan!

- a. Berikan contoh lain dari proses aerobik dalam industri bioproses kemudian paparkan prosesnya secara singkat!
- b. Jelaskan tentang proses trickling filter untuk pengolahan limbah, kemudian tuliskan kelebihan dan kekurangannya jika dibandingkan dengan proses activated sludge!



TERIMA KASIH