



# Produk Metabolit Sekunder

**Reza Fadhillah, S. TP, M. Si**

# Fermentasi Bioetanol

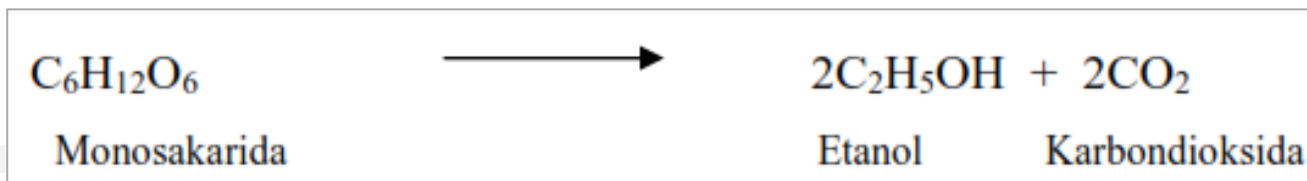
- Bioetanol/etanol/etil alkohol ( $C_2H_5OH$ ) → produk dari fermentasi gula, cairan tidak berwarna, biodegradable, rendah kadar racun, sedikit polusi

Tanaman Penghasil Bioetanol

Tanaman	Etanol (l/ton)	Produktivitas (t/ha)	Umur panen (bulan)	Etanol (l/ha/tahun)
Ubi kayu	180	40	9	7200
Jagung	385	6	3.5	4620(6930)*
Ubi jalar	142	20	4	5680 (8520)*
Sweet sorgum	76.7	6	4	920.4(1378.8)*
Biji sorgum	389	4	3.5	3112(4668)*
Talas	142	20	10	2840

- Fermentasi etanol butuh yeast/khamir, gula bentuk polisakarida/ oligosakarida dirubah dulu → monosakarida (fruktosa/glukosa)

- Yeast:



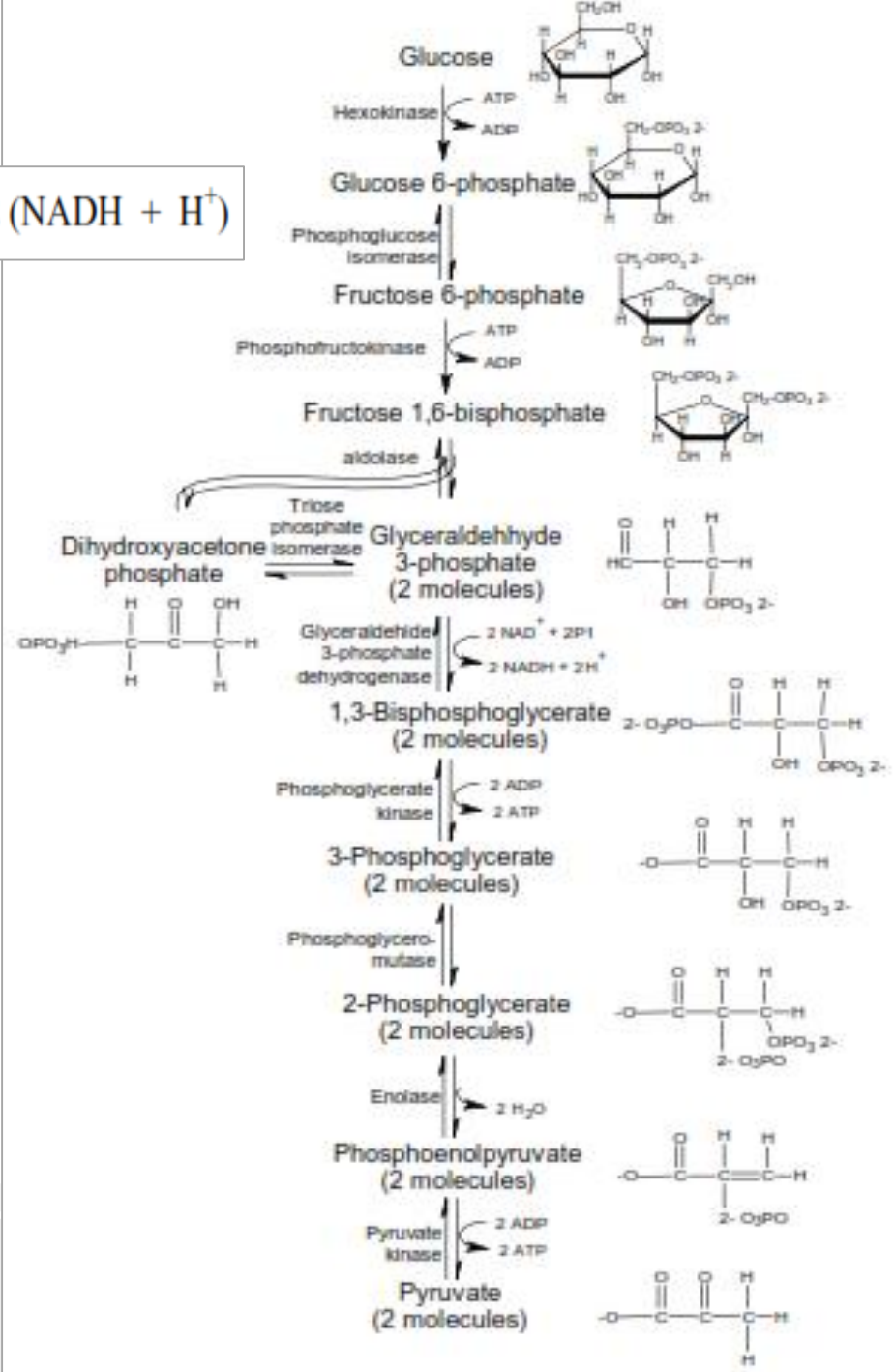
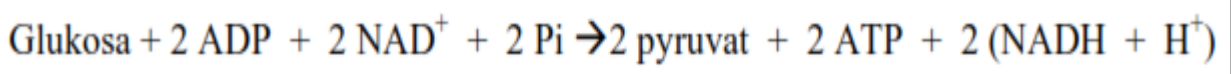
- Fermentasi etanol butuh waktu 30 – 72 jam, suhu optimum 25 – 30°C, kadar gula 10 – 18%.

### Jenis substrat produksi etanol

Substrat	Kadar etanol tertinggi	Mikroorganisme
Ubi Jalar <sup>(a)</sup>	9.8 g/l (1.23% v/v)	<i>S. cerevisiae</i>
Gandum <sup>(b)</sup>	6.9 g/l (0.869% v/v)	<i>S. cerevisiae</i> rekombinan kode CR2
Molases <sup>(c)</sup>	1.8 – 2.3 g/l (0.29% v/v)	<i>S. cerevisiae</i> yang diimobilisasi
<i>Typha latifolia</i> <sup>(d)</sup>	28.5 g/l (3.59% v/v)	<i>Candida shehatae</i>
Daun tebu <sup>(e)</sup>	1.6 g/l (0.20% v/v)	<i>S. cerevisiae</i>
Mahula <sup>(f)</sup>	33.99 g/l (4.27% v/v)	<i>S. cerevisiae</i> strain CTCRI
Onggok tapioka <sup>(g)</sup>	1.635% v/v	<i>Schizosaccharomyces</i> sp.

- Mekanisme pembentukan etanol oleh khamir melalui sebuah jalur Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) Pathway / jalur glikolisis

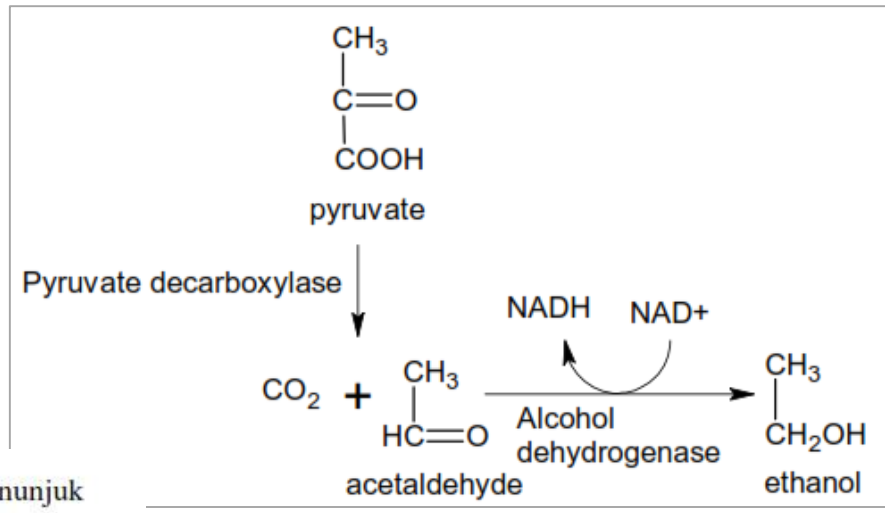
- Selama proses glikolisis dihasilkan pyruvat



Tahap glikolisis

- Setelah tahap glikolisis, pyruvat dirubah jadi asetaldehide dan CO2 oleh enzim pyruvate decarboxylase
- Oleh enzim alcohol dehydrogenase, asetaldehide dirubah → alkohol

Proses pembentukan etanol dari pyruvat



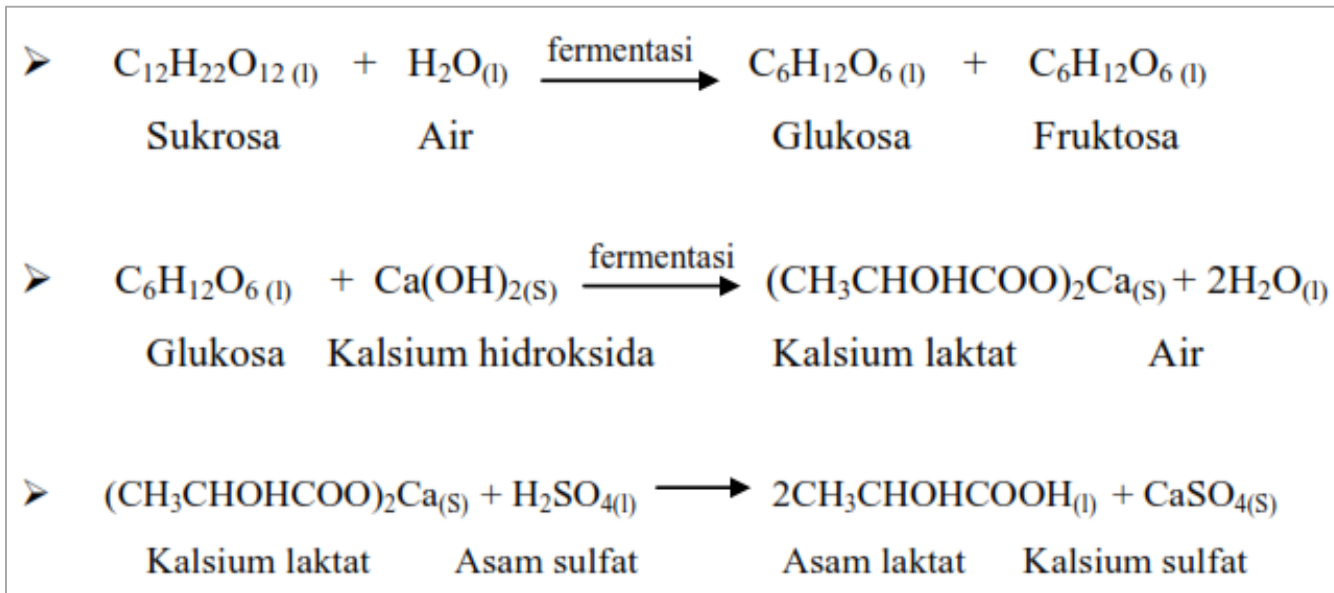
Fermentor

# Fermentasi Asam Asetat

- Proses pembuatan asam asetat/cuka/vinegar fermentasi,
  - ✓ Tahap fermentasi alkohol: gula → etanol, oleh *S. cerevisiae* (anaerobik)
  - ✓ Tahap fermentasi asetat: etanol → asam asetat, *A. aceti* (aerob)
- Fermentasi asam asetat butuh substrat etanol 10–13% (dari fermentasi etanol), bila etanol terlalu ↑, pembentukan asam asetat terganggu
- Fermentasi asam asetat selama 5 minggu
- Produksi ditingkatkan dengan pemberian aerasi dan agitasi, pengaturan suhu fermentasi optimum
- Produksi sangat bergantung pada tingkat kesuburan pertumbuhan sel bakteri, dan menurun seiring peningkatan kadar etanol substrat
- Cuka yang baik minimal harus mengandung 4% asam asetat

# Fermentasi Asam Laktat

- Asam laktat dapat diproduksi dengan memfermentasikan berbagai karbohidrat seperti sukrosa, glukosa, laktosa.
- Proses pembuatan asam laktat dengan fermentasi melalui reaksi:



- BAL homofermentatif → hanya asam laktat
- BAL heterofermentatif → asam laktat, asam asetat, etanol, asam format, dan karbondioksida

---

<b>Homofermenter</b>	<b>Heterofermenter</b>
<i>Enterococcus faecium</i>	<i>Lactobacillus brevis</i>
<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Lactobacillus buchneri</i>
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	<i>Lactobacillus cellobiosus</i>
<i>Lactobacillus lactis</i>	<i>Lactobacillus confusus</i>
<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	<i>Lactobacillus coprophilus</i>
<i>Lactobacillus leichmannii</i>	<i>Lactobacillus fermentatum</i>
<i>Lactobacillus salivarius</i>	<i>Lactobacillus sanfrancisco</i>

---



## Kemampuan bakteri *Lactobacillus* sp. mengolah bahan mentah

Bahan baku	Bakteri	$\gamma$ (asam laktat)	Produktivitas
		g/L	g/(jamL)
Molasses	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> NCIMB 8130	90	3,8
Gandum hitam	<i>Lactobacillus paracasei</i> No. 8	84,5	2,4
Sweet sorghum	<i>Lactobacillus paracasei</i> No. 8	81,5	2,7
	<i>Lactobacillus paracasei</i> No. 8	106	3,5
Gandum	<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> ATCC 19435	106	1
Jagung	<i>Lactobacillus amylovorus</i> ATCC 33620	10,1	0,8
Umbi kayu	<i>Lactobacillus amylovorus</i> ATCC 33620	4,8	0,2
Kentang	<i>Lactobacillus amylovorus</i> ATCC 33620	4,2	0,1
Beras	<i>Lactobacillus</i> sp. RKY2	129	2,9
Barley	<i>Lactobacillus casei</i> NRRL B-441	162	3,4
	<i>Lactobacillus amylophilus</i> GV6	27,3	0,3
Selulosa	<i>Lactobacillus coryniformis</i> ssp. <i>torquens</i> ATCC 25600	24	0,5
Kertas daur ulang	<i>Lactobacillus coryniformis</i> ssp. <i>torquens</i> ATCC 25600	23,1	0,5
Kayu	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> NRRL B-445	108	0,9
Whey	<i>Lactobacillus helveticus</i> R211	66	1,4
	<i>Lactobacillus casei</i> NRRL B-441	46	4

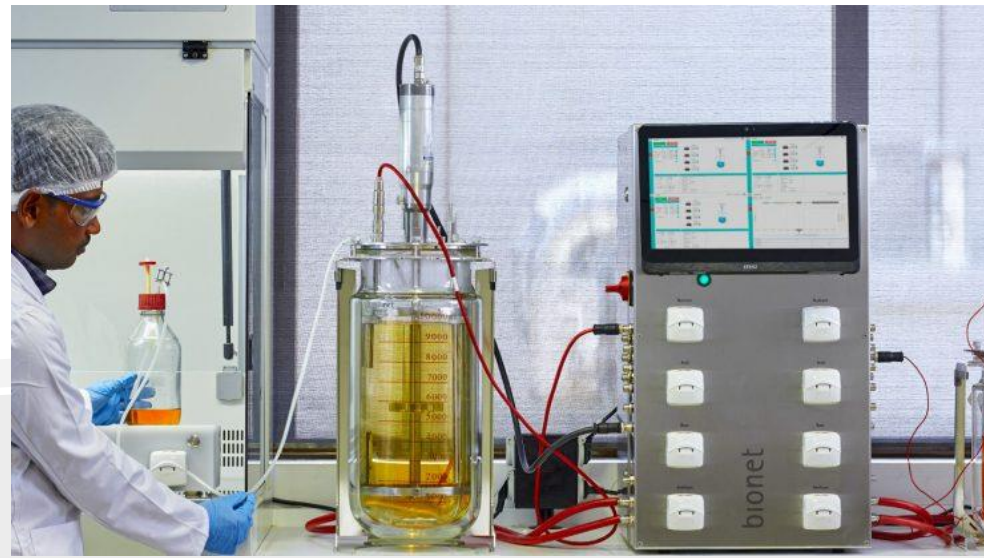
# Pemisahan & Pemurnian Asam Laktat

## Pemisahan biomassa, sisa nutrisi dan kotoran lain

- Bakteri dipisahkan secara flokulasi dengan alkali/ultrafiltrasi
- Produk yang terbentuk dipisahkan dari material pengotor
- Larutan produk dipisahkan dengan filtrasi dari sisa kotoran/biomassa/partikel tersuspensi
- Larutan asam laktat dan endapan  $\text{CaSO}_4$  dalam fermentor dialirkan ke filter. Larutan asam laktat masuk ke vaporeizer, sedangkan endapan  $\text{CaSO}$  dikeluarkan ke bagian bawah tangki

## Pemurnian

- Pemilihan suhu operasi vaporeizer berdasarkan suhu didih, sehingga didapatkan komposisi akhir asam laktat 90%



# Produk Pangan Fermentasi Komersial: Nata De Coco

- Nata de coco: produk hasil fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum*.
- Berbentuk padat, kokoh, putih, transparan, kenyal (mirip kolang-kaling)
- Bahan baku utama: air kelapa dan gula sebagai substrat
- Nilai gizi rendah/rendah energi (diet), kandungan air (98%), serat (dietary fiber) tinggi
- Tahap fermentasi:
  - ✓ Tempatkan air kelapa masak dalam wadah steril, atur pH 4–5 dengan cuka
  - ✓ Tambahkan starter, inkubasi selama 2 minggu, suhu 30°C
  - ✓ Air kelapa akan menggumpal membentuk nata de coco



Nata de coco

# Yogurt & Yakult

- Yogurt: produk fermentasi susu, dibuat dengan menambahkan starter
- Starter yogurt: *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus*, bersimbiosis merombak laktosa menjadi asam laktat
- Yogurt: sumber protein, fosfor, kalsium, magnesium, dan kalori (minus vitamin C dan zat besi)
- Yakult: minuman asam mirip yogurt, dibuat dari fermentasi skimmed milk dan gula dengan bantuan bakteri *Lactobacillus casei*.
- Vitacharm: *Acidophillus digestiva*, *Bifido divensia*, dan *Casei imunita*

Yogurt



Yakult



Vitacharm





# Kefir

- Kefir: hasil produk olahan susu dihasilkan dari fermentasi susu yang telah dipasteurisasi, lalu ditambah starter biji kefir (kefir grains)
- Biji kefir: BAL (*L. kefiri*, *L. lactis*, *L. bulgaricus*), Kamir (*Kluyveromyces marxianus*, *Saccharomyces cerevisiae*)
- Biji kefir berbentuk mirip sekumpulan kembang kol kecil, panjang 1–3 cm, berbentuk bulat (lobus) tidak beraturan, warna putih/kekuningan, bertekstur berlendir dan kenyal
- Produksi asam dikontrol bakteri, sedangkan alkohol dihasilkan khamir

## Kefir grains



# Tempe

- Ragi tempe: *Rhizopus oligosporus*, *R. oryzae*, *R. stolonifer*, *R. arrhizus*.
- Fermentasi tempe berlangsung aerob, karena kapang bersifat aerob obligat. Oksigen mutlak dibutuhkan untuk pertumbuhan miselium kapang.
- Kelebihan tempe:
  - ✓ Selama fermentasi banyak dihasilkan komponen larut air, mudah dicerna (asam amino, peptida), fosfor, dan vitamin B12 dari *Klasiella pneumoniae*
  - ✓ Lemak kedelai dipecah menjadi gliserol dan asam lemak linolenat
  - ✓ Tempe tahan oksidasi/ketengikan, mengandung antioksidan isoflavon
  - ✓ Menurunkan karbohidrat penyebab flatulensi (stakiosa dan rafinosa)



# Dadih

- Dadih: Produk olahan fermentasi susu kerbau asal Sumatera Barat, menggunakan media bambu, ditutup dengan daun pisang
- Sifat fisik: berwarna putih, konsistensi menyerupai yogurt, aroma khas
- Fermentasi dadih terjadi secara alami, suhu ruang, inkubasi 48 jam
- Sampai kini belum ada standarisasi produksi dadih, sehingga setiap prosesnya menghasilkan kualitas mutu berbeda-beda
- Hasil isolasi BAL dadih: 36 strain genus *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, dan *Lactococcus*.



# Tape Ketan

- Tape ketan: produk fermentasi tradisional terbuat dari beras ketan yang dimasak, didinginkan, dan diinokulasi dengan ragi
- Ragi: *Saccharomyces cerevisiae* dan *Zigosaccharomyces*
- Memfermentasi pati menjadi gula, lalu didegradasi menghasilkan alkohol, dan komponen membentuk flavor.
- Tape ketan berasa manis, sedikit asam, tekstur lunak, mengandung alkohol
- Fermentasi tape termasuk anerobik fakultatif (dapat melakukan fermentasi dengan ada atau tidaknya oksigen).





# Tauco

- Tauco: bahan penyedap, dihasilkan melalui fermentasi kedelai hitam melibatkan kapang, khamir, dan bakteri
- Tahapan pembuatan tauco: perendaman, pencucian, pengukusan, penirisan, dan perendaman dalam larutan garam.
- Mempunyai aroma khas terbentuk dari asam, alkohol, dan ester, tahan lama karena kadar garamnya tinggi
- Dua tahap fermentasi: fermentasi kapang dan fermentasi larutan garam
- Fermentasi 1: kapang *Aspergillus oryzae*, *R. oligosporus*, *R. oryzae*.
- Fermentasi 2: ditambah larutan garam 22,8%.



# Oncom

- Oncom: produk fermentasi berbahan baku bungkil kacang tanah (ampas kacang tanah) dan ampas tahu.
- Oncom merah: kapang *Neurospora sitophila*, berwarna warna merah
- Oncom hitam: kapang *Rhizopus* dan *Mucor*
- Kedua ragi kapang mensintesis enzim lipase dan protease
- Proses pengolahan oncom termasuk jenis fermentasi media padat: fermentasi penggunaan substrat padat sebagai sumber karbon, nitrogen, dan energi
- Enzim tersebut menguraikan pati menjadi gula, penguraian lemak, pembentukan sedikit alkohol, dan berbagai ester pembentuk aroma khas

**Oncom hitam**



**Oncom merah**



**EnD. .**