

RESPIRASI PADA TUMBUHAN¹

Oleh : Drs. Suyitno Al. MS²

Dalam pengertian sehari-hari, bernafas sekedar diartikan sebagai proses pertukaran gas di paru-paru. Tetapi secara biologis, pengertian respirasi tidaklah demikian. Pernafasan lebih menunjuk kepada proses pembongkaran atau pembakaran zat sumber energi di dalam sel-sel tubuh untuk memperoleh energi atau tenaga. Zat makanan sumber tenaga yang paling utama adalah karbohidrat.

Pembakaran membutuhkan oksigen (O₂), terjadi di dalam setiap sel yang hidup. Energi yang diperoleh berupa energi kimia (ATP) yang digunakan untuk berbagai aktivitas fisiologi dalam tubuh. Di samping itu, pembakaran menghasilkan pula zat sisa berupa gas asam arang (CO₂) dan air. Bagaimana dengan organisme yang hidup di lingkungan yang kurang oksigen (anaerob) ?. Pada organisme anaerob, pembongkaran zat sumber tenaga (glukosa) berlangsung tanpa melibatkan oksigen. Pembongkaran semacam ini disebut respirasi anaerob.

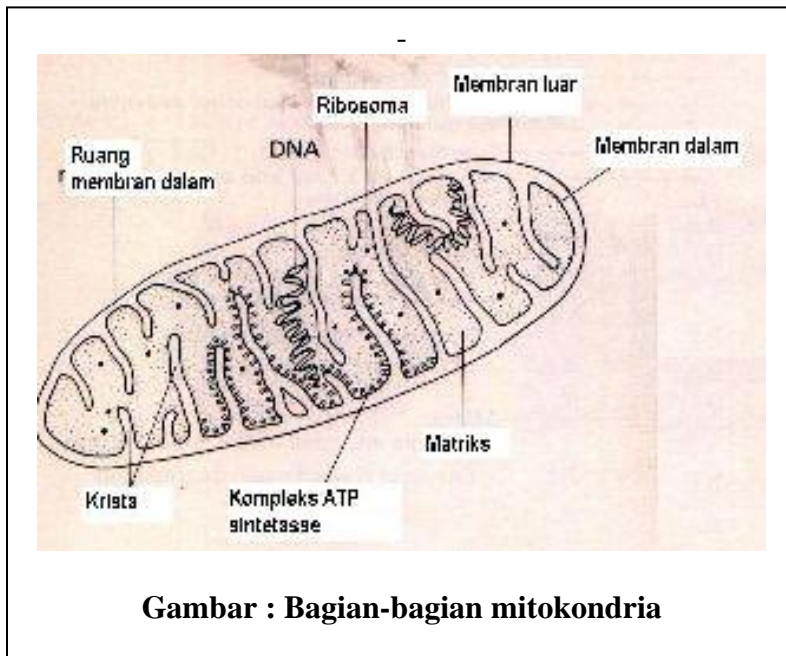
Tumbuhan juga menyerap O₂ untuk pernafasannya, umumnya diserap melalui daun (stomata). Pada keadaan aerob, tumbuhan melakukan respirasi aerob. Bila dalam keadaan anaerob atau kurang oksigen, jaringan melakukan respirasi secara anaerob. Misal pada akar yang tergenang air. Pada respirasi aerob, terjadi pembakaran (oksidasi) zat gula (glukosa) secara sempurna, sehingga menghasilkan energi jauh lebih besar (36 ATP) daripada respirasi anaerob (2 ATP saja). Demikian pula respirasi yang terjadi pada jasad renik (mikroorganisma). Sebagian mikroorganisma melakukan respirasi aerobik (dengan zat asam), anerobik (tanpa zat asam) atau cara keduanya (aerobik fakultatif).

¹ Materi disampaikan pada kegiatan pembinaan Tim Olimpiade Biologi SMAN Kalasan, Yogyakarta pada 27 Februari 2006 di SMAN Kalasan

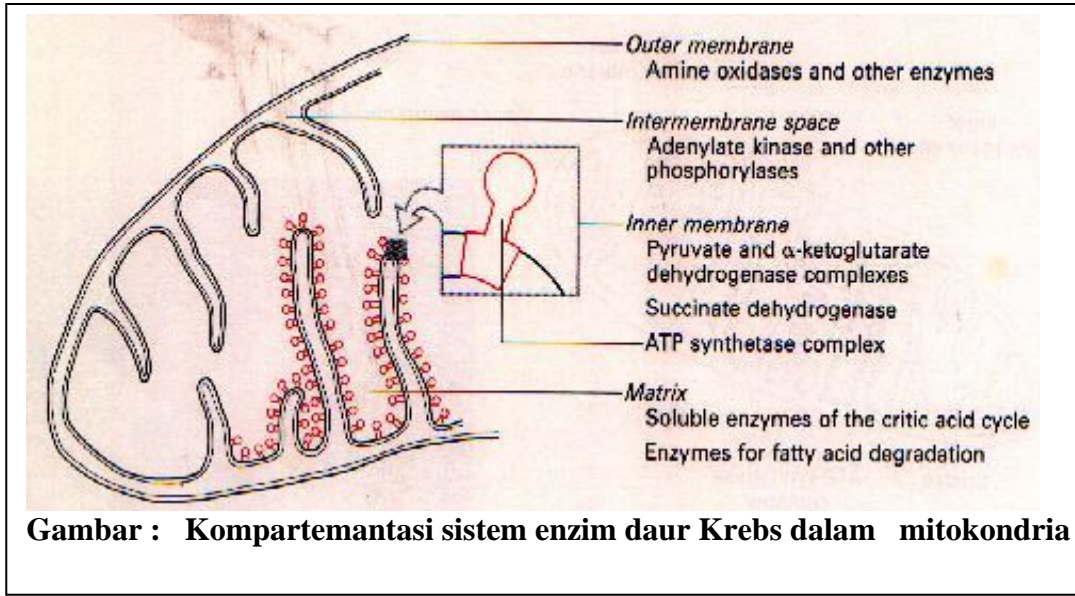
² Staf Pengajar di Jurdik. Biologi FMIPA – UNY.

PROSES RESPIRASI

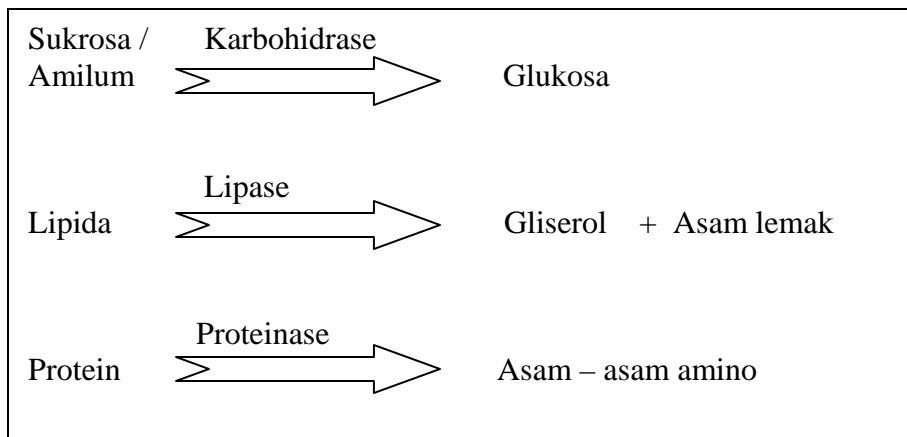
Respirasi terjadi pada seluruh sel yang hidup, khususnya di Mitokondria. Proses ini bertujuan untuk membangkitkan energi kimia (ATP). ATP dibentuk dari penggabungan ADP + Pi (fosfat anorganik) dengan bantuan pompa H⁺-ATP-ase, dalam rantai transfer elektron yang terdapat pada membran mitokondria. Peristiwa aliran elektron dan atau proton (H⁺) dalam rantai tranfer elektron pada dasarnya adalah peristiwa **Reduksi – Oksidasi (Redoks)**.



Oleh sebab itu, pembentukan ATP yang digerakkan oleh energi hasil oksidasi dan perbedaan proton antara ruang antar membran dengan membran sebelah dalam mitokondria disebut **fosforilasi oksidatif**. Teori pembentukan ATP oleh gradient proton ini dicetuskan oleh **Piter Mitchell** yang dikenalkan dengan teori **Chemiosmotik**. Teori ini mendapatkan hadiah nobel tahun 1987.



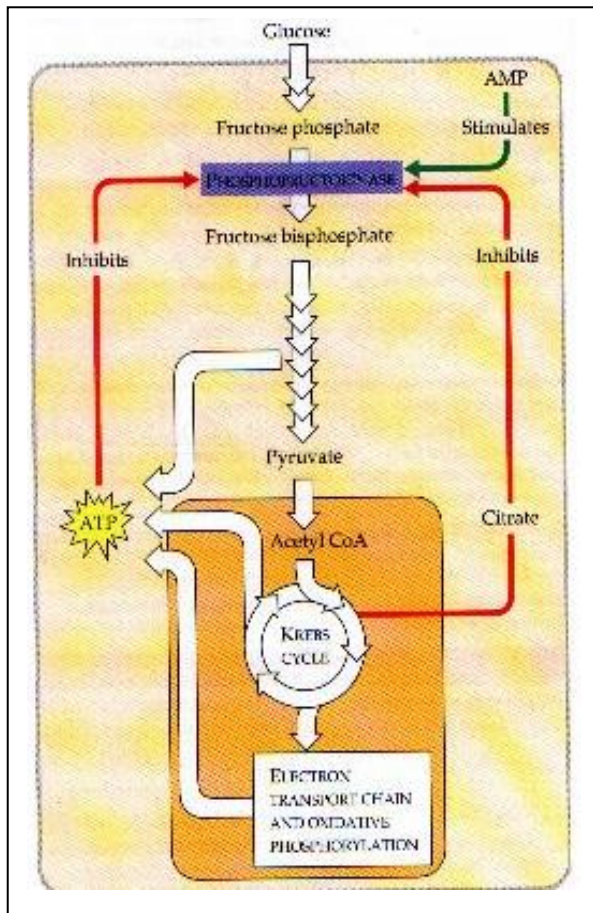
Respirasi pada tumbuhan pada dasarnya sama dengan hewan, namun juga ada kekhasannya. Proses respirasi pada dasarnya adalah proses pembongkaran zat makanan sumber energi (umumnya glukosa) untuk memperoleh energi kimia berupa ATP. Namun demikian, zat sumber energi tidak selalu siap dalam bentuk glukosa, melainkan masih dalam bentuk cadangan makanan, yaitu berupa **sukrosa** atau **amilum**. Karena itu zat tersebut harus terlebih dahulu di bongkar secara hidrolitik. Demikian pula bila zat cangan makanan yang hendak dibongkar adalah lipida (lemak) atau protein. Proses pembongkaran (degradasi) adalah sbb :



Karbohidrase pemecah amilum terdiri dari beberapa macam enzim, di antaranya :

- 1) **Fosforilase**, memecah ujung-ujung rantai gula pada amilum, menghasilkan glukosa-1-fosfat (G-1P). Proses pemecahan ini disebut **fosforolisis**
- 2) **Amilase**, enzim pemecah rantai gula dalam amilum, menghasilkan potongan – potongan rantai gula yang terdiri dari 2 unit glukosa, disebut maltosa.
- 3) **Enzim pemotong percabangan** rantai gula
- 4) **Transglukosilase**, enzim pemindah sisa rantai cabang ke bagian rantai gula yang lain, dan membentuknya menjadi rantai yang lurus (linier)
- 5) **Maltase**, pemotong gula maltosa (disakarida) menjadi unit-unit glukosa penyusunnya.

Setelah tersedia glukosa di dalam sel, selanjutnya glukosa siap dibongkar. Pembongkaran terjadi dalam beberapa tahap, tergantung ketersediaan O₂. Tahapan pembongkaran dalam keadaan O₂ cukup (aerobik) adalah seperti pada gambar berikut :



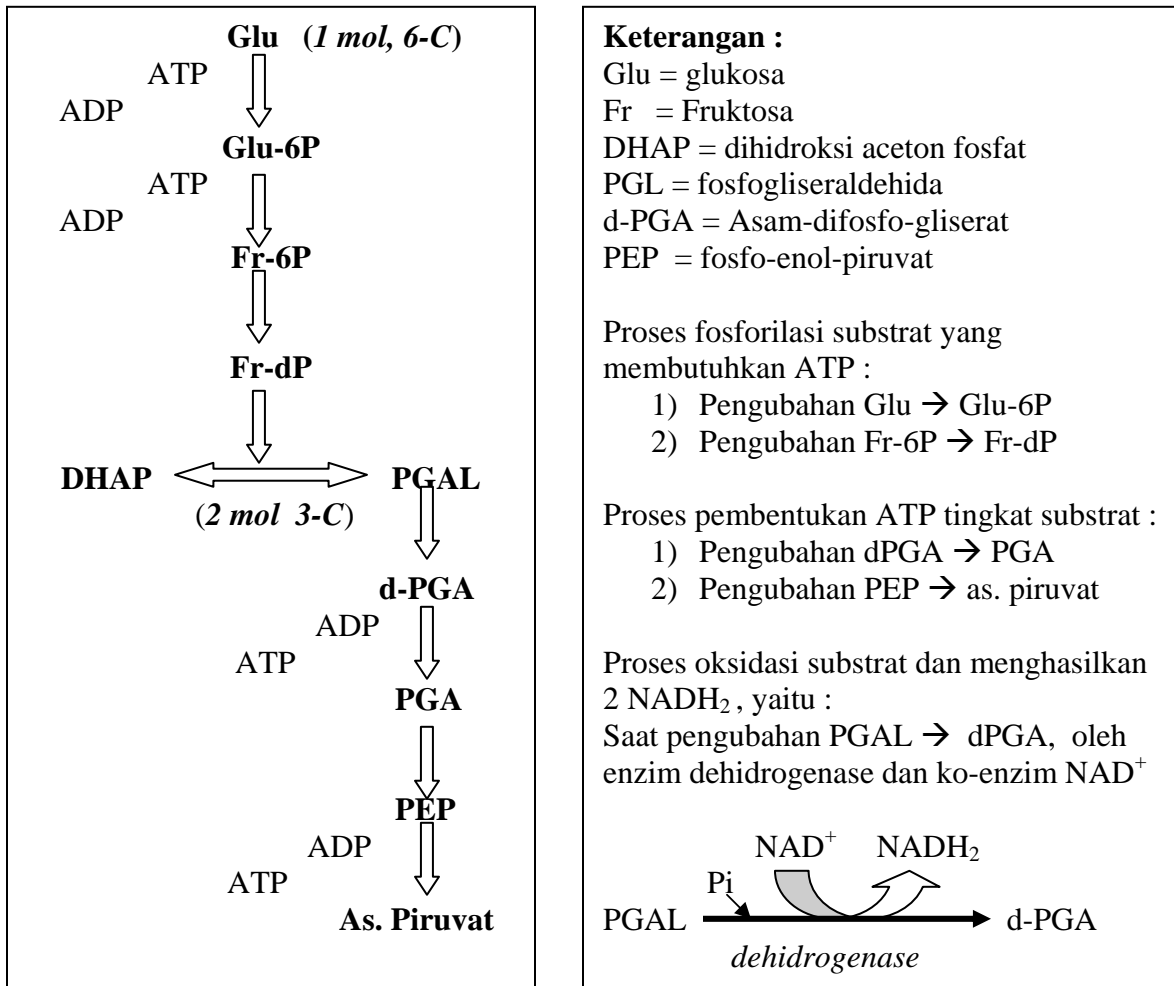
Tahapan :

- I : Pembongkaran glukosa → asam piruvat. Tahapan ini disebut **Glikolisis**. Jalur pembongkaran ini disebut **jalur EMP** atau jalur pusat. Hal ini terjadi di **sitosol** atau di matrik **plastida** (khusus pd tumbuhan).
- II : **Dekarboksilasi – Oksidasi** asam Piruvat (senyawa 3-C) → as. Acetil-CoA (2-C). Proses ini berlangsung di matrik mitokondria
- III: Perombakan sempurna Acetil-CoA dalam daur **TCA** (daur asam tri karboksilat) atau daur **Krebs**. Peristiwa ini terjadi di **matrik mitokondria**.
- IV : **Oksidasi – reduksi** dalam rantai transfer electron pada membran mitokondria.

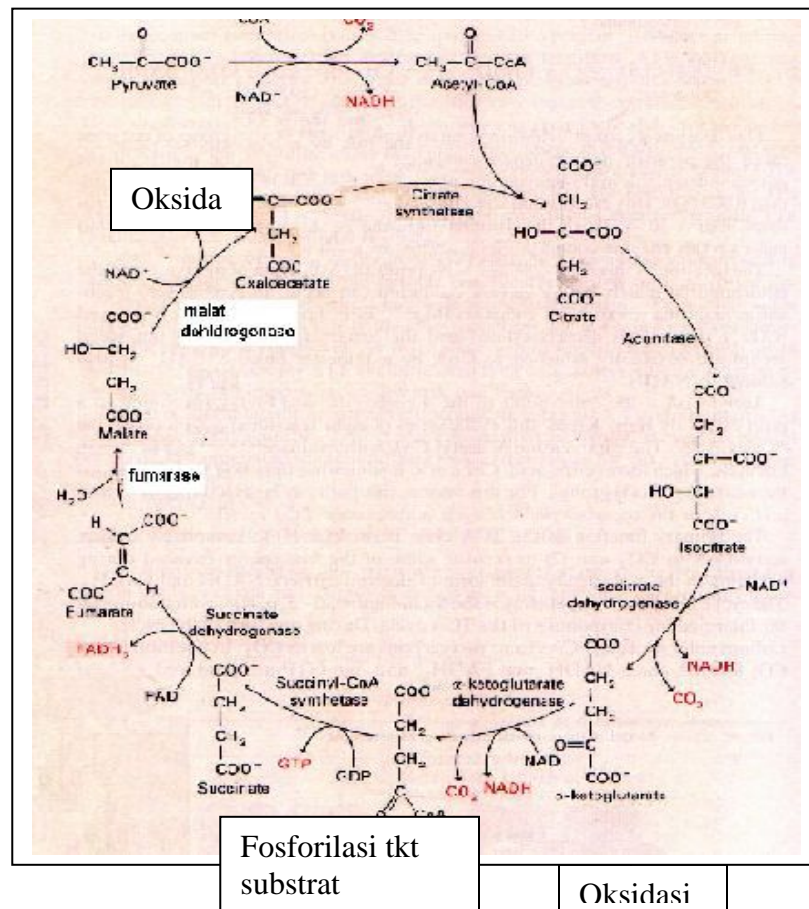
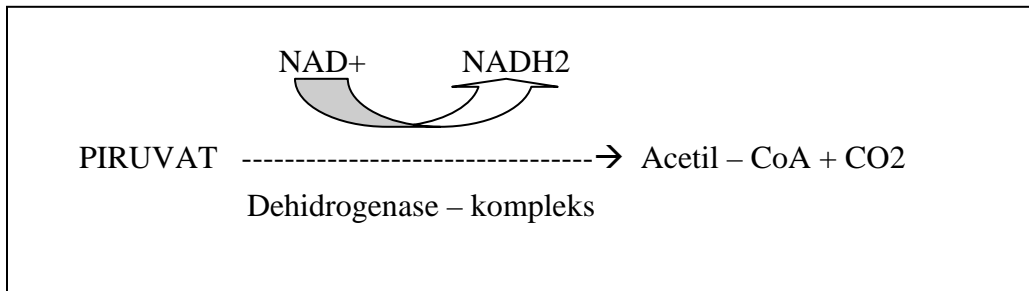
Pada glikolisis terjadi 1 tahapan oksidasi substrat, yakni fosfo-gliseraldehida (PGAL) oleh enzim **dehidrogenase** dan dengan bantuan ko-enzim NAD^+ menjadi asam di-fosfo-gliserat (dPGA) dan dihasilkan **NADH_2** . Selain itu juga terjadi 2 kali pembentukan **ATP tingkat substrat**, yaitu oleh kerja enzim **kinase** pada saat :

- 1) perubahan dPGA -----> asam fosfo-gliserat (PGA)
- 2) perubahan enol-piruvat -----> asam piruvat

Secara skematis, tahapan glikolisis adalah sbb :



Pada kondisi cukup O₂, maka asam piruvat akan dibongkar atau dioksidasi lebih lanjut. Dengan enzim NAD⁺ - dehidrogenase kompleks, asam piruvat akan dioksidasi dan dipecah (dekarboksilasi) menjadi Asam Acetil - CoA (senyawa 2-C) dan dilepaskan CO₂.



Bila kondisi O₂ cukup (aerobik), asam Acetil-CoA akan dibakar lebih lanjut dalam daur Krebs atau daur Asam Tri Karboksilat (TCA cycle). Pada daur ini akan terjadi serangkaian konversi zat antara daur Krebs. Pada beberapa tahapan konversi zat-zat antara, akan terjadi proses oksidasi yang dikatalisis oleh enzim dehidrogenase dengan ko-enzim dalam bentuk teroksidasi, yaitu NAD⁺ atau FAD⁺. Rangkaian tahapan reaksi perubahan (konversi) zat-zat antara daur Krebs dapat disimak pada gambar berikut.

Oksidasi terjadi terhadap zat antara : 1) isositrat ,

2) asam keto-glutarat,

3) suksinat, dan

4) asam malat

Pada tiap oksidasi substrat dihasilkan NADH₂, kecuali oksidasi suksinat yang menghasilkan FADH₂. Selain itu, NADH₂ yang terbentuk pada saat oksidasi **PGAL** menjadi **dPGA** akan ditranspor ke Mitokondria, untuk selanjutnya masuk pada rantai transfer elektron pada membran mitokondria.

Pada dasarnya peristiwa yang terjadi pada rantai transfer elektron adalah peristiwa oksidasi – reduksi (Redoks). Dalam proses ini terjadi transfer elektron (e) dan proton (H⁺). Pada bagian akhir rantai transfer elektron, elektron dan proton tersebut akan diterima oleh O₂ sebagai acceptor elektron dan proton, dan terbentuklah H₂O. Adanya gradien proton antara ruang antar membran dengan membran yang menghadap matriks mitokondria, akan menghasilkan energi untuk menggabungkan ADP + Pi menjadi ATP, dengan bantuan ATP-Ase. Peristiwa pembentukan ATP dengan energi hasil oksidasi pada rantai transpor elektron disebut **Fosforilasi Oksidasi**.

Berdasarkan gambar, dari setiap NADH₂ yang masuk pada rantai transpor elektron maka akan dihasilkan **3 ATP**. Sedangkan bila FADH₂ yang masuk, maka hanya akan dihasilkan **2 ATP**.

Berdasarkan cara poenghitungan klasik ini, maka dari pembakaran sempurna 1 mol glukosa (180 gram) akan dihasilkan ATP sbb :

1. Tahap glikolisis (di sitosol / plastida) dihasilkan 8 ATP (2 ATP dari fosforilasi tingkat substrat + 6 ATP dari 2 NADH₂ yang masuk rantai transpor elektron di mitokondria. Namun pada tahap awal glikolisis butuh 2 ATP.
2. Tahap oksidasi 2 mol Piruvat menjadi Acetil-CoA (dekarboksilasi oksidasi) dihasilkan 6 ATP, yaitu dari 2 NADH₂ yang terbentuk

3. Tahap Krebs, pembakaran 2 mol Acetil-CoA dihasilkan :

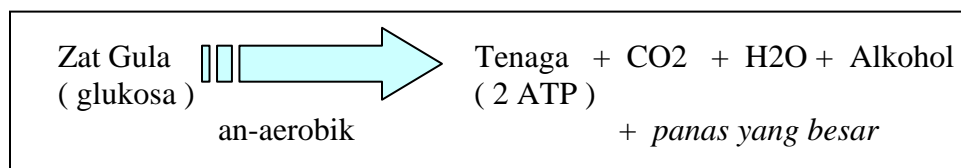
$$\begin{aligned} 2 \times 3 \text{ NADH}_2 &= 6 \times 3 \text{ ATP} = 18 \text{ ATP} \\ 2 \times 1 \text{ FADH}_2 &= 2 \times 2 \text{ ATP} = 4 \text{ ATP} \\ 2 \text{ Fosforilasi tkt substrat} &= 2 \text{ ATP} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Total} = 24 \text{ ATP}$$

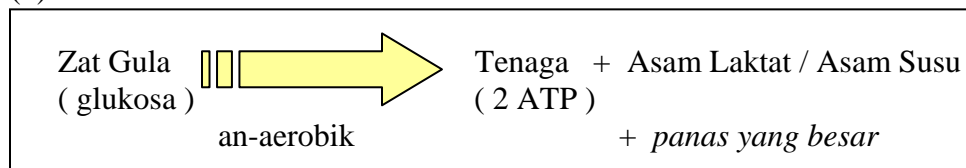
Jadi, total ATP dihasilkan dari pembakaran sempurna 1 mol glukosa = **36 ATP**

Pada kondisi kurang oksigen, seperti saat tanah terlalu basah atau tergenang air, maka jaringan akar atau biji-biji yang terbenam di dalamnya akan mengalami kekurangan oksigen. Dalam keadaan seperti ini maka pada jaringan akan terjadi **respirasi anaerobik**. Respirasi an-aerobik pada tubuh kita akan menghasilkan timbunan **asam laktat** yang menjadi tanda kelelahan otot. Pada tumbuhan, respirasi an-aerobik akan lebih cenderung menghasilkan ethanol daripada asam laktat. Namun demikian, bahan sisa metabolisme tersebut dapat diubah kembali menjadi glukosa atau dapat dimanfaatkan kembali. Secara ringkas ciri respirasi an-erobik adalah sbb :

(a) **alkoholik fermentation**



(b) **laktik fermentation**



Dari gambaran proses kimia pada respirasi an-aerobik di atas tampak bahwa :

- 1) respirasi an-aerob merupakan pembongkaran glukosa yang tidak sempurna,
- 2) hanya menghasilkan 2 ATP dari tiap mol glukosa yang dibongkar,
- 3) Entropi besar karena hasil pembongkaran menghasilkan sampah yang berupa

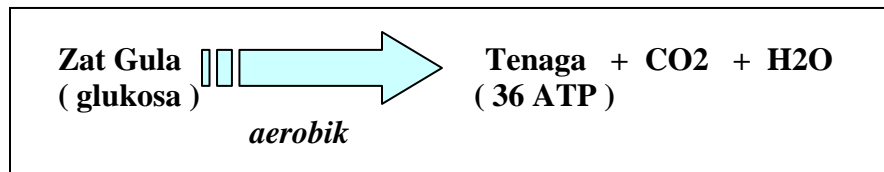
senyawa yang masih menyimpan energi cukup besar, yaitu :

- a) Ethanol + CO₂ , *atau*
 - b) Asam laktat
- 4) Sebagian energi terbuang dalam bentuk panas

Dengan demikian, respirasi aerob merupakan pembongkaran yang jauh lebih efisien, karena :

- 1) dapat membongkar jauh lebih sempurna dengan zat sisa berupa molekul kecil, yaitu CO₂ dan H₂O
- 2) Dapat menghasilkan 36 ATP dari setiap pembakaran 1 mol glukosa
- 3) Energi yang terbuang dalam bentuk panas sangat kecil

Pembongkaran glukosa sumber energi dalam suasana aerobik yang melibatkan proses-proses glikolisis (di sitosol) dan daur Krebs (di matrik mitokondria) disebut peristiwa **pembakaran sempurna**. Secara ringkas proses kimianya dapat digambarkan sbb :



DAFTAR PUSTAKA

- Edwards, Gerry and David Walker. 1983. *C3, C4 : Mechanisms and cellular and environmental regulation, of photosynthesis*. Blackwell Sci. Publ. Melbourne.
- Campbell, Neil A.; Jane B. Reece and Lawrence G. Mitchell. 1999. **Biology**. Addison-Wesley, Inc. California
- Salisbury, Frank B. and Cleon W. Ross. 1985. *Plant Physiology*. Wadsworth Publ. Comp. Inc. USA
- Taiz, Lincoln and Eduardo Zeiger. 1991. *Plant Physiology*. The Benjamin/ Cummings Publ. Comp. Inc. California
- Raven, Peter H.; Ray F. Evert and Susan E. Eichhorn. *Biology of Plants*. 3rd Ed. Worth Publisher. US

