

di University of California, Los Angeles (UCLA) menyimpulkan bahwa pikiran positif bekerja lebih baik daripada yang negatif pada kaitannya dengan kekebalan tubuh. Itulah mengapa Al-Qur'an juga melarang untuk menjatuhkan prasangka dan berpikiran negatif, baik kepada diri sendiri maupun kepada orang lain. "Wahai orang-orang yang beriman, jauhilah banyak prasangka! Sesungguhnya sebagian prasangka itu dosa ..." (al-Hujurât [49]: 12).

R_{efleksi}

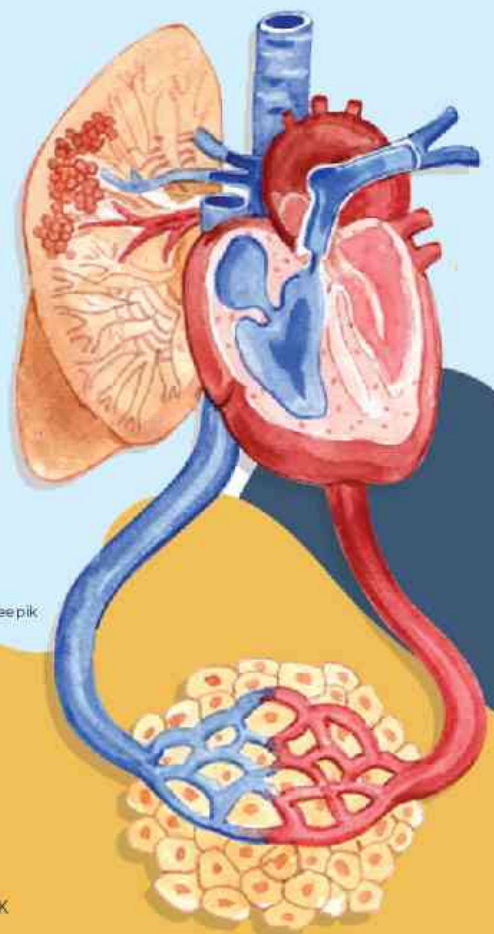
Segala sesuatu di alam semesta ini diatur secara seimbang oleh Allah Swt. Dalam tubuh manusia diciptakan penyakit begitu juga sistem pertahanannya. Pertahanan tubuh manusia bisa didapatkan secara aktif seperti berolahraga, berpuasa, menjaga ketenangan jiwa dan perasaan bahagia ataupun pasif seperti bayi baru lahir yang mendapatkan kekebalan dari air susu ibunya. Keseimbangan dalam tubuh harus disyukuri dengan selalu melaksanakan perintah dan menjauhi larangan-Nya. Hal ini karena segala hal yang diperintahkan agama terdapat kebaikan dan kemaslahatan bagi manusia, sebaliknya tiap larangan pasti mengandung mudarat dan bahaya.



Proyek

Diskusikanlah dengan teman kelompokmu. Jika terjadi kerusakan pada salah satu sistem organ tubuhnya, apakah seorang penderita tersebut dapat bertahan hidup? Mengapa?





Sumber: photographeeasia/ freepik

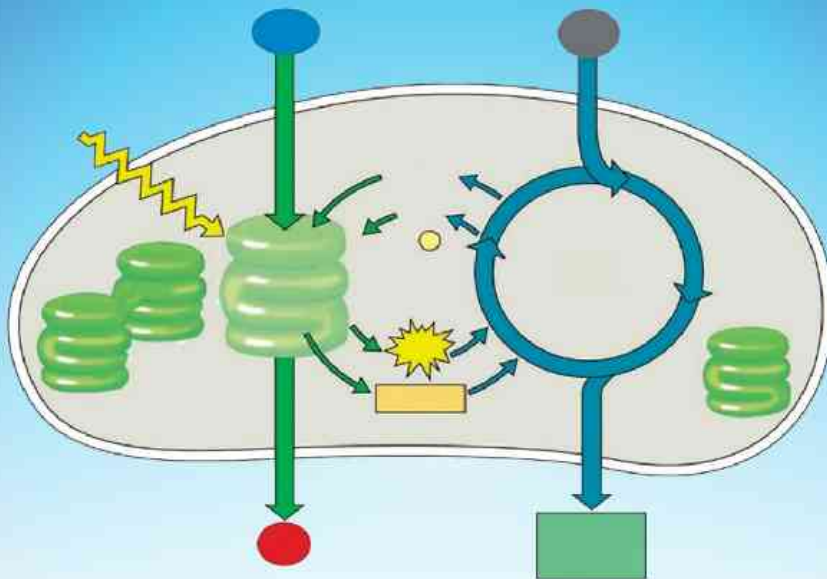


Bab 7

METABOLISME

Sumber: jcomp/ freepik





Sumber: <https://sckool.org/ap-biology-exam-bioenergetics-review-chapter-cell-respiration.html?page=6>

Pendahuluan

Selama ini, kamu biasa beraktivitas seperti berlari, makan, berpikir, berjalan, tidur, berenang, dan aktivitas lainnya. Pernahkah kamu berpikir, dari manakah energi atau tenaga yang kamu peroleh? Tenaga yang kamu peroleh berasal dari makanan yang kamu makan. Makanan tersebut setelah dicerna oleh organ-organ pencernaan akan menjadi sari-sari makanan, kemudian diserap oleh tubuh melalui pembuluh darah ke sel-sel tubuh. Di dalam mitokondria, zat makanan diurai untuk menghasilkan energi. Proses ini disebut proses penguraian atau katabolisme. Baik tumbuhan, hewan, maupun manusia memerlukan proses tersebut untuk melangsungkan kehidupannya. Selain proses penguraian (katabolisme), juga terjadi proses penyusunan energi yang disebut anabolisme.

Proses penguraian pada tumbuhan hijau terjadi pada saat proses fotosintesis yang menghasilkan suatu senyawa organik sebagai sumber energi kimia. Katabolisme dan anabolisme itulah yang dinamakan metabolisme.



Untuk mengetahui tentang metabolisme pada organisme, kamu harus mempelajari bab ini secara menyeluruh.

A. PENGERTIAN METABOLISME

Coba perhatikan gambar berikut ini.



Gambar 7.1 Aktivitas olahraga memerlukan energi

Sumber: SHUTTERSTOCK

Seluruh aktivitas, baik ringan maupun berat semuanya memerlukan energi. Tahukah kamu bagaimana tubuh kita dapat menghasilkan energi? Energi dihasilkan melalui reaksi kimia yang terjadi di dalam sel. Seluruh reaksi kimia yang terjadi di dalam sel-sel tubuh makhluk hidup inilah yang disebut metabolisme. Metabolisme sel dibedakan menjadi dua, yaitu katabolisme dan anabolisme. Katabolisme adalah proses penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana untuk menghasilkan energi. Sedangkan anabolisme adalah proses penyusunan senyawa kompleks dari senyawa sederhana. Seluruh reaksi metabolisme memerlukan bantuan enzim sebagai biokatalisator dan melibatkan *Adenosin Triphosfat* (ATP).

Metabolisme merupakan rangkaian reaksi kimia yang diawali dengan substrat yang diakhiri dengan produk. Reaksi dalam sel tidak terjadi bolak-balik, melainkan berjalan ke satu arah. Tiap produk akan menjadi reaktan bagi reaksi selanjutnya. Reaksi ini berurutan sampai produk akhir, membentuk suatu jalur metabolisme.



Bahan baku utama penghasil energi adalah makanan yang terlebih dahulu melalui proses pencernaan dan gas oksigen yang dihirup melalui pernapasan. Makanan berperan penting dalam menjaga kestabilan tubuh dan menghasilkan energi dalam proses metabolisme. Oleh karena itu, untuk mendapatkan energi sesuai dengan kebutuhan, manusia harus menjaga makanannya. Dalam Al-Qur'an, Allah Swt. memerintahkan manusia untuk memperhatikan makanan yang akan dimakan. Surah 'Abasa (80): 24 menyebutkan,

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ ﴿٢٤﴾

"Maka, hendaklah manusia itu memerhatikan makanannya."

Penjelasan Kata Kunci

- Kata يَنْظُرُ (*yanzur*) berasal dari kata *nazara* yang memiliki arti 'melihat dengan mata kepala' atau 'melihat dengan mata hati'. Kata *nazara* juga bisa berarti 'memerhatikan' atau 'memikirkan dengan akal pikiran' sehingga bisa dimaknai dengan 'mengamati' dan 'meneliti'.
- Kata طَعَام (*ta'am*) berasal dari kata *ta'ima* yang memiliki arti 'makanan' atau 'sesuatu yang dimakan'. Penggunaan kata *ta'am* dalam Al-Qur'an tidak selalu dipakai untuk menunjuk makanan secara umum, tetapi kadang langsung menunjuk pada gandum. Bahkan, kata ini juga bisa berarti 'meminum' atau 'minuman'.



Tafsir Ayat

Mengenai ayat ini, Fakhru ad-Din ar-Rāzi dalam tafsir *Mafātih al-Gaib* menjelaskan bahwa makanan yang diperoleh ada dua macam. *Pertama*, makanan yang wajib diperoleh dan harus ada dalam tubuh manusia, atau bisa disebut dengan makanan primer (wajib). *Kedua*, makanan tambahan atau sekunder agar tubuh menjadi lebih kuat dan sehat.



M. Quraish Shihab dalam *Tafsir al-Mishbah* menjelaskan bahwa ayat di atas mengisyaratkan perlunya kehati-hatian dalam memilih makanan. Manusia harus memperhatikan makanannya, baik dari jenisnya maupun proses yang harus dilaluinya, supaya mendapatkan hikmah dan pelajaran.



Pojok Riset

Makanan Halal dan Haram Mempengaruhi Kecerdasan?

Seorang ilmuwan muslim pada akhir abad 4 H. bernama Ibnu Abī al-Asy'as telah mengadakan penelitian terhadap makanan *ḥalāl* dan *ṭayyib*. Hasilnya dilaporkan dalam bukunya, *al-Gāzī wa al-Muṭāzī*, bahwa jenis makanan itu ada yang membesarkan tubuh jasmani dan ada yang menumbuhkan kecerdasan. Seperti halnya dalam ilmu gizi, karbohidrat membesarkan tubuh jasmani, sedangkan protein akan menumbuhkan kecerdasan.

Sumber: *Jurnal Komunikasi dan Pendidikan Islam*, Volume 4, Nomor 2 Desember 2015

Refleksi

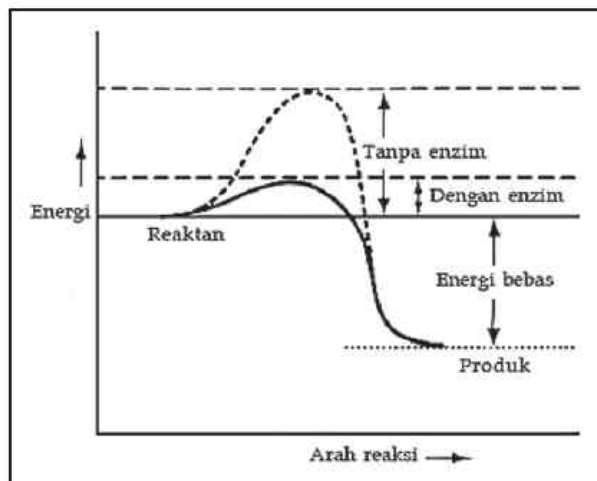
Proses metabolisme dalam diri makhluk hidup dapat berjalan dengan baik dan menghasilkan zat-zat yang berdampak pada kestabilan tubuh dipengaruhi oleh asupan makanan yang masuk ke dalamnya. Jika makanan yang dimakan baik dan bergizi maka akan menghasilkan energi dan tenaga yang sempurna. Demikian pula sebaliknya, jika yang dimakan adalah makanan-makanan yang kurang bergizi atau bahkan tidak bergizi sama sekali, maka bukan hanya menjadikan tubuh kita tidak berenergi atau bertenaga, tetapi juga bisa saja menjadi lemas dan sakit. Dengan memahami materi metabolisme dan uraian dari ayat Al-Qur'an tersebut, mulai saat ini jangan sembarang makan, terlebih makan-makanan yang tidak bergizi supaya kita terhindar dari penyakit. Selain baik dan bergizi,



makanan juga harus seimbang sesuai dengan keperluan atau kebutuhan tubuh. Hal ini tentu akan berbeda antara satu orang dengan orang lain terkait perbedaan yang ada pada masing-masing individu, seperti: perbedaan jenis kelamin, umur, berat badan, kesehatan seseorang, dan pola makannya. Sehingga sangat bijak ketika kita memerhatikan tiga hal tersebut, selain baik, bergizi, dan juga seimbang sesuai dengan kebutuhan masing-masing orang (individu).

B. ENZIM

Proses metabolisme merupakan reaksi yang sangat vital dalam tubuh makhluk hidup. Namun, proses ini memerlukan bantuan enzim sebagai biokatalisator. Apa itu biokatalisator? Biokatalisator berasal dari kata katalis yakni zat yang berperan untuk meningkatkan laju reaksi kimia tanpa ikut bereaksi. Dikarenakan reaksi ini terjadi pada tubuh makhluk hidup sehingga enzim ini berperan sebagai biokatalisator. Lalu bagaimana cara enzim meningkatkan laju reaksi kimia? Yakni dengan menurunkan energi aktivasi suatu reaksi. Perhatikan Gambar 7.2 berikut.

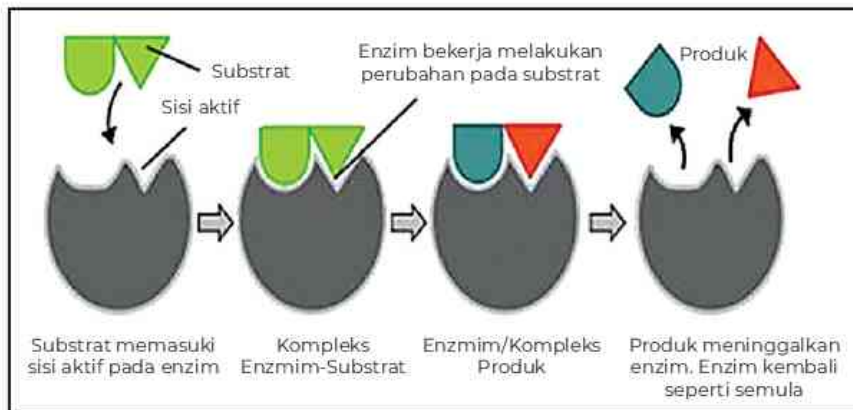


Gambar 7.2 Pengaruh Enzim terhadap Reaksi Metabolisme

Sumber: <https://images.app.goo.gl/kI3iLWJyVAKxNwyR7>



Enzim memiliki struktur lengkap yang disebut holoenzim. Enzim lengkap ini tersusun atas komponen protein (apoenzim) dan komponen non protein (gugus prostetik) yang terdiri dari kofaktor (anorganik) dan koenzim (organik). Pada bagian apoenzim terdapat sisi aktif tempat melekatnya substrat. Reaksi substrat yang dibantu enzim ini akan menghasilkan produk.



Gambar 7.3 Substrat melekat pada sisi aktif enzim

Sumber: <https://images.app.goo.gl/6VM9xRK9qqm4gmQ9>

1. Komponen-Komponen Enzim

Sebagian besar enzim tersusun oleh dua bagian, yaitu berupa protein yang disebut apoenzim dan bagian non-protein yang disebut kofaktor. Kofaktor dapat berupa molekul anorganik maupun molekul organik. Molekul anorganik seperti ion Fe, ion Zn, dan ion Mn. Sedangkan molekul organik yaitu: NAD^+ , Vitamin B1, B2, B6, Niasin, dan Biotin.

2. Fungsi dan Cara Kerja Enzim

Dalam reaksi kimia, antara suatu bahan (zat, unsur, molekul, atau senyawa) yang satu dapat mengadakan reaksi dengan bahan (zat, unsur, molekul, atau senyawa) yang lain, sehingga dihasilkan suatu senyawa baru. Selama terjadi reaksi kimia tersebut, diperlukan adanya suatu bahan yang berperan dalam mengatur waktu untuk terjadinya reaksi yaitu enzim. Enzim tersebut diperlukan untuk mempercepat terjadinya reaksi kimia (katalis).

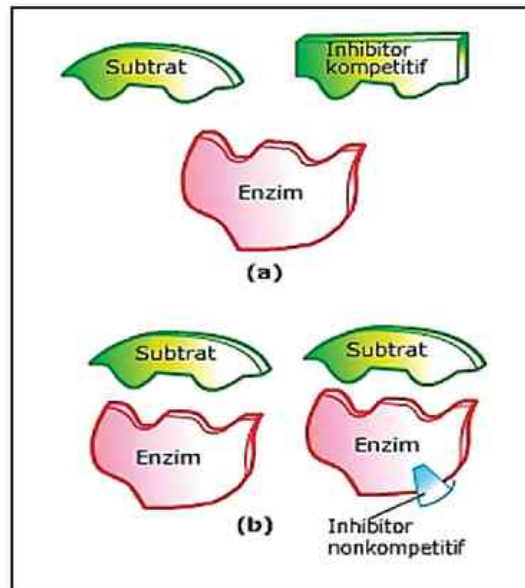


Enzim memiliki beberapa sifat khas, di antaranya:

- 1) Enzim terbuat dari protein. Dengan demikian enzim memiliki sifat serupa dengan protein.
- 2) Enzim bekerja secara spesifik. Setiap enzim hanya dapat membantu reaksi substrat tertentu. Contohnya enzim amilase hanya membantu reaksi substrat berupa amilum. Begitu pula enzim pepsin hanya membantu reaksi substrat berupa protein.
- 3) Enzim diperlukan dalam jumlah sedikit. Sifat enzim yang tidak ikut bereaksi mengakibatkan satu enzim dapat digunakan berkali-kali untuk mereaksikan zat tertentu sehingga enzim tidak dibutuhkan dalam jumlah banyak.
- 4) Enzim sebagai biokatalisator suatu reaksi. Enzim dapat mempercepat suatu reaksi namun tidak ikut bereaksi. Contoh: enzim amilase mempercepat perombakan amilum, tapi enzim amilase tidak ikut bereaksi.
- 5) Enzim dapat bekerja secara bolak-balik (*reversible*). Enzim dapat mengatalisasi reaksi maju maupun reaksi kebalikannya, sehingga enzim tidak memengaruhi arah suatu reaksi.
- 6) Enzim dipengaruhi oleh:
 - a. Suhu. Protein merupakan bahan baku enzim sehingga sifat enzim sama dengan protein. Pada suhu panas enzim akan mengalami denaturasi sedangkan pada suhu dingin enzim mengalami inaktivasi.
 - b. pH. Enzim dalam tubuh bekerja pada/dihasilkan oleh berbagai organ dengan kondisi pH yang berbeda-beda. Dengan demikian setiap enzim memiliki pH optimum yang berbeda-beda. Contohnya enzim pepsin akan bekerja optimal pada pH asam sedangkan enzim lipase dapat bekerja optimal pada pH basa.
 - c. Aktivator. Kehadiran aktivator akan memacu aktivitas/kerja enzim. Contohnya adalah koenzim-A, Mg^{2+} , dan Ca^{2+} .
 - d. Inhibitor. Inhibitor adalah zat yang dapat menghambat kerja enzim. Jenis inhibitor ada dua yaitu: inhibitor kompetitif dan inhibitor nonkompetitif. Inhibitor kompetitif artinya zat penghambat tersebut bersaing dengan substrat menempati sisi aktif enzim. Sedangkan inhibitor non-kompetitif, zat penghambat menempati sisi lain enzim sehingga mengubah bentuk sisi



aktif enzim. Akibatnya, substrat tidak dapat menempel pada sisi aktif enzim.



Gambar 7.4 Inhibitor kompetitif dan non-kompetitif

Sumber: <https://images.app.goo.gl/tSVWU5544KA1xoPs6>

Mengenai fotosintesis yang biasanya terjadi pada tumbuhan, sejatinya Al-Qur'an telah mengisyaratkan pada surah al-An'ām (6): 99.

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا
نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِنْ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِنْ أَعْنَابٍ
وَالزَّيْتُونِ وَالرَّمَّانِ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ انْظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾

"Dialah yang menurunkan air dari langit lalu dengannya Kami menumbuhkan segala macam tumbuhan. Maka, darinya Kami mengeluarkan tanaman yang menghijau. Darinya Kami mengeluarkan butir yang bertumpuk (banyak). Dari mayang kurma (mengurai) tangkai-



tangkai yang menjuntai. (Kami menumbuhkan) kebun-kebun anggur. (Kami menumbuhkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya pada waktu berbuah dan menjadi masak. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang beriman."

Penjelasan Kata Kunci

- Kata فَأَخْرَجْنَا (*fa akhrajnā*) berasal dari kata *akhraja-yukhriju* yang artinya 'mengeluarkan'. Pada kata tersebut, subjeknya adalah kata *nā* yang artinya adalah 'kami', menunjuk kepada Allah Swt. Dengan demikian, lafaz *fa akhrajnā* diartikan 'maka kami mengeluarkan'.
- Kata خَضْرَاءَ (*khaḍīran*) memiliki arti 'warna antara putih dan hitam', yaitu hijau.



Tafsir Ayat

Ayat di atas sejatinya menyimpan informasi ilmiah tentang adanya proses fotosintesis. Informasi Al-Qur'an dari ayat di atas yang berkenaan dengan fotosintesis bisa dipahami dari redaksi, "*Maka, darinya Kami mengeluarkan tanaman yang menghijau.*" Pada tumbuhan, sel-selnya dapat secara langsung memanfaatkan energi yang datang dari sinar matahari. Sel-sel tersebut akan mengubah energi sinar matahari menjadi energi kimia yang selanjutnya disimpan dalam bentuk nutrien, suatu bentuk yang sangat khusus. Demikian yang disebut dengan proses fotosintesis yang menghasilkan warna hijau pada daun. Dalam prosesnya, organisme yang menciptakan warna hijau pada daun adalah kloroplas dan tilakoid.

Pada ayat di atas, Allah Swt. menutup dengan redaksi, "*Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang beriman.*" Ketika Surah al-An'ām (6): 99 tersebut turun dengan membawa informasi bahwa Allah Swt. mengeluarkan tanaman yang menghijau belum dipahami sebagai infor-



masi mengenai adanya proses fotosintesis pada tumbuhan yang diibaratkan seperti “pabrik hijau” yang menghasilkan biji-bijian, buah, dan berbagai bagian dari tumbuhan.

Pasca penelitian oleh ilmuwan ahli fisiologi tumbuhan dari Swiss, Nicholas Theodore de Saussure (1804) baru diketahui bahwa di setiap tumbuhan terdapat “pabrik” yang mengolah dan memanfaatkan energi matahari untuk mengubah bahan asupan menjadi energi kimia. Proses pengolahan tersebut terjadi pertama pada siang hari dan lainnya pada malam hari. “Pabrik hijau” tersebut mengisap CO_2 dan melepaskan O_2 pada siang hari dan melakukan cara sebaliknya pada malam hari. Dengan demikian, apa yang diinformasikan Al-Qur’an persis berkeseuaian dengan ilmu pengetahuan, padahal Al-Qur’an turun 1400-an tahun yang lalu.

Tingkat reproduksi oksigen paling tinggi adalah saat pagi atau waktu “subuh”, saat matahari mulai menyingsing. Penelitian membuktikan bahwa tingkat kerja paling produktif memang terjadi pada pagi hari, yaitu saat sinar matahari berada pada tingkat paling terkonsentrasi. Mengenai hal ini telah disyaratkan oleh Allah Swt. dalam surah at-Takwīr (81):18.

وَالصُّبْحُ إِذَا تَنَفَّسَ ﴿١٨﴾

“Demi subuh apabila (fajar) telah menyingsing.”

Syekh Mutawallī asy-Sya'rāwī (w. 1998 M), seorang ahli tafsir asal Mesir, menyatakan bahwa ayat tersebut memberikan pengertian ketika siang datang atau awal cahaya matahari mulai menyingsing itu memberikan udara yang segar. Jika pada malam hari tumbuh-tumbuhan mengeluarkan karbon dioksida, maka pada pagi hari semua tumbuh-tumbuhan mengeluarkan oksigen yang baik untuk bernapas bagi manusia. Oleh karena itu, waktu subuh adalah awal untuk bernapas sembari bersyukur dan mengingat kebesaran Allah Swt. Pada pagi hari, kita dianjurkan untuk berdoa, sebagaimana disebutkan dalam hadis,

اَللّٰهُمَّ بِكَ اَصْبَحْنَا وَبِكَ اَمْسَيْنَا وَبِكَ نَحْيَا وَبِكَ نَمُوتُ وَإِلَيْكَ النُّشُورُ. (رواه أبو داود والترمذي وابن ماجه)



"Ya Allah dengan karunia-Mu kami memasuki waktu subuh dan waktu petang dan dengan-Mu kami hidup dan mati dan kepada-Mu kami akan kembali." (Riwayat Abū Dāwūd, at-Tirmīz, dan Ibnu Mājah)

Selain surah al-An'ām (6): 99 di atas, informasi tersirat mengenai fotosintesis juga dapat dipahami dari surah al-Wāq'ah (56): 71–72 berikut.

﴿٧١﴾ أَفَرَأَيْتُمُ النَّارَ الَّتِي تُورُونَ ﴿٧٢﴾ أَأَنْتُمْ أَنْشَأْتُمْ شَجَرَتَهَا أَمْ نَحْنُ الْمُنْشِئُونَ ﴿٧٣﴾

"Apakah kamu memperhatikan api yang kamu nyalakan? Apakah kamu yang menumbuhkan kayunya atau Kami yang menumbuhkan?"

Ayat di atas sejatinya menyimpan isyarat akan adanya proses fotosintesis. Isyarat itu bisa digali melalui kata *an-nār* pada ayat di atas. Kata *an-nār* tersebut bukan lagi diartikan dengan 'api' melainkan sebagai oksigen. Begitu juga dengan kata *syajarah* lebih diartikan pohon daripada kayu sehingga ada oksigen yang dihasilkan oleh pohon melalui proses fotosintesis.

Penjelasan mengenai fenomena api (oksigen) dan pohon hijau tersebut juga disebutkan dalam surah Yāsīn (36): 80,

﴿٨٠﴾ الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنتُم مِّنْهُ تُوقِدُونَ ﴿٨١﴾

"(Dialah) yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau. Kemudian, seketika itu kamu menyalakan (api) darinya."

Refleksi

Fotosintesis baru ditemukan oleh Jan Ingenhousz pada tahun 1779 atau pada abad ke-18, sedangkan Al-Qur'an telah memberikan isyarat ilmiah pada abad ke-6, 12 abad sebelum penemuan Jan Ingenhousz. Betapa agung isyarat ilmiah yang disampaikan Allah Swt. di dalam Al-Qur'an.



C. KATABOLISME

Masih ingatkah kamu apa itu metabolisme? Metabolisme adalah reaksi penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim. Penguraian senyawa ini menghasilkan atau melepaskan energi (endergonik) berupa *Adenosin trifosfat* (ATP) yang digunakan organisme untuk beraktivitas. Selain itu sifat katabolisme adalah eksotermik artinya melepaskan panas.

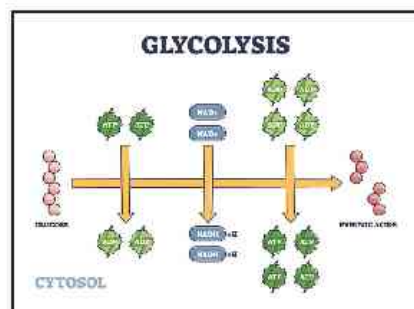
Reaksi yang umum terjadi adalah reaksi oksidasi pada proses respirasi sel. Energi yang dilepaskan oleh reaksi katabolisme disimpan dalam bentuk fosfat, terutama dalam bentuk ATP dan berenergi elektron tinggi *Nikotilamid adenin dinukleotida hidrogen* (NADH) serta *Flavin adenin dinukleotida H₂* (FADH₂). Respirasi sel terdiri dari respirasi aerob dan respirasi anaerob.

Respirasi anaerob adalah pernapasan sel yang tidak melibatkan oksigen. Respirasi anaerob dikenal dengan istilah fermentasi. Berdasarkan hasilnya, fermentasi terbagi menjadi fermentasi asam laktat dan fermentasi alkohol. Proses ini hanya melalui tahap glikolisis saja dan menghasilkan dua molekul ATP dari satu molekul glukosa.

Pada respirasi aerob terdapat peranan oksigen sebagai akseptor terakhir elektron. Proses ini terdiri dari empat tahapan, yakni glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus Krebs, dan transpor elektron.

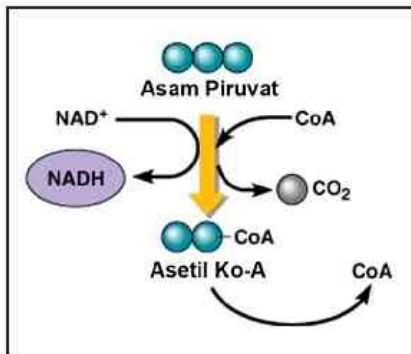
1. Glikolisis

Glikolisis artinya adalah pemecahan glukosa. Proses ini terjadi di sitosol. Satu molekul glukosa (6C) dipecah menjadi dua molekul asam piruvat (3C). Hasil lainnya berupa dua molekul ATP dan dua Molekul NADH.



Gambar 7.5 Glikolisis

Sumber: SHUTTERSTOCK



Gambar 7.6 Dekarboksilasi Oksidatif

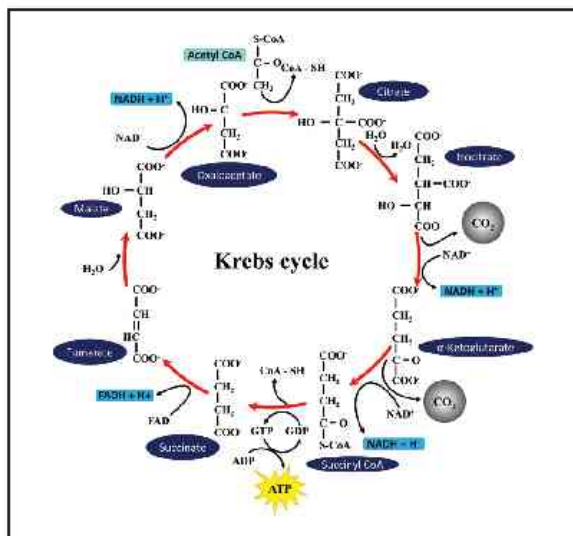
Sumber: <https://images.app.goo.gl/Snjw4xx2Ry8pK5dDA>

2. Dekarboksilasi Oksidatif

Proses ini berlangsung di matriks mitokondria. Dua molekul asam piruvat hasil glikolisis menjadi bahan baku pada tahapan ini. Hasil akhirnya berupa dua molekul Asetyl Co-A dan dua molekul NADH . Adapun hasil lainnya yakni berupa dua molekul CO_2 (karbon dioksida) yang akan dieksresikan melalui sistem pernapasan.

3. Siklus Krebs

Siklus Krebs berlangsung di matriks mitokondria. Molekul Asetyl Co-A hasil dari dekarboksilasi oksidatif memasuki tahapan ini dan kemudian berikatan dengan asam oksaloasetat. Adapun hasil dari Siklus Krebs ini adalah enam molekul NADH , dua molekul ATP , dua Molekul FADH_2 , dan limbah berupa empat molekul CO_2 . Proses Siklus Krebs dapat kamu cermati pada gambar berikut.



Gambar 7.7 Siklus Krebs

Sumber: SHUTTERSTOCK



4. Transpor Elektron

Transpor elektron adalah tahapan terakhir respirasi sel yang terjadi di membran dalam mitokondria. Pada tahapan ini, terjadi pemindahan elektron dan ion hidrogen (H^+) yang pada akhirnya akan menghasilkan ATP dan gas O_2 (oksigen). Elektron tersebut dibawa oleh molekul NADH dan $FADH_2$ yang dihasilkan dari tahapan glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, dan Siklus Krebs. Setiap molekul NADH yang memasuki transpor elektron akan menghasilkan 3 molekul ATP, sedangkan satu molekul $FADH_2$ akan menghasilkan 2 ATP. Sehingga jumlah ATP yang dihasilkan dari tahap transpor elektron ini adalah sebagai berikut.

Tabel 7.1 Hasil Tahap Respirasi Sel (Aerob) yang Memasuki Transpor Elektron

No.	Tahap	Hasil	
		Langsung	Tidak Langsung
1.	Glikolisis	2 ATP	2 NADH
2.	Dekarboksilasi Oksidatif	-	2 NADH
3.	Siklus Krebs	2 ATP	6 NADH
			2 $FADH_2$

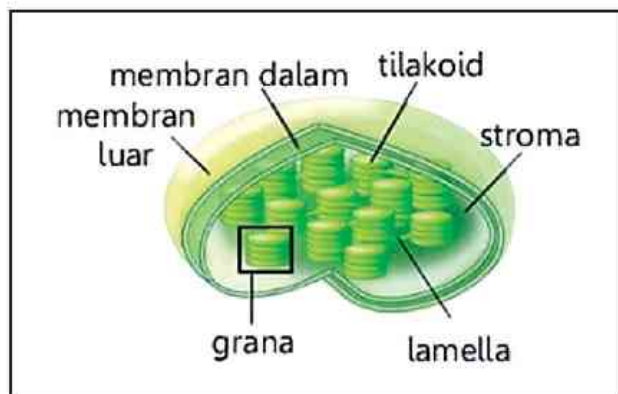
Berdasarkan tabel 6.1 tersebut, seluruh hasil tidak langsung berupa NADH dan $FADH_2$ akan dibawa ke dalam membran dalam mitokondria dan memasuki tahap transpor elektron. Jika ditotalkan, ada 10 NADH dan 2 $FADH_2$ sehingga jumlah ATP yang dihasilkan pada transpor elektron adalah 34 ATP.

Dengan demikian, total keseluruhan ATP yang dihasilkan pada respirasi sel adalah 38 ATP. Namun demikian, karena pada sel eukariot glikolisis berlangsung di sitosol, sedangkan proses-proses berikutnya di mitokondria, maka diperlukan 2 molekul ATP untuk mengangkut NADH yang dihasilkan dari glikolisis untuk memasuki mitokondria. Dengan demikian, hasil akhir ATP adalah $38 \text{ ATP} - 2 \text{ ATP} = 36 \text{ ATP}$.



D. ANABOLISME

Anabolisme merupakan reaksi kebalikan dari katabolisme. Anabolisme adalah reaksi pembentukan molekul sederhana menjadi molekul kompleks. Contoh anabolisme dalam kehidupan adalah proses fotosintesis yang terjadi pada organel kloroplas. Reaksi ini memerlukan energi (endergonik) dan menyerap panas (endoterm).



Gambar 7.8 Struktur Organel Kloroplas

Sumber: <https://images.app.goo.gl/EHNk7WbzTINwZqgZB>

Pada proses fotosintesis terjadi dua jenis reaksi, yaitu reaksi terang dan reaksi gelap.

1. Reaksi Terang

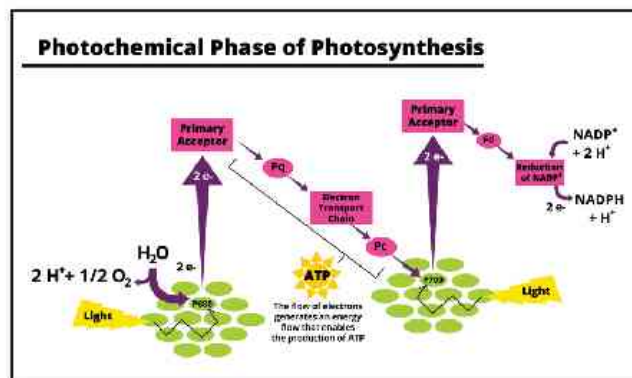
Reaksi terang terjadi di stroma. Pada reaksi ini energi cahaya akan diubah menjadi energi kimia berupa ATP dan NADPH_2 . Reaksi terang terdiri atas dua jenis, yaitu reaksi nonsiklik dan reaksi siklik.

Pada reaksi nonsiklik melibatkan fotosistem II (P 680) dan fotosistem I (P 700). Fotosistem II berperan dalam menyerap energi cahaya, kemudian terjadi pemindahan elektron pada akseptor elektron sehingga dihasilkanlah ATP dan NADPH_2 . Ketika elektron meninggalkan fotosistem II maka akan terjadi ketidakstabilan, sehingga diperlukan elektron agar fotosistem II kembali stabil. Dari manakah elektron tersebut berasal? Jawabannya dari proses fotolisis air. Dua molekul H_2O (air) yang telah sampai di kloroplas akan mengalami fotolisis (pemecahan air oleh cahaya). Hasilnya adalah 4 ion hidrogen (H^+), 4 elektron, dan 1 molekul



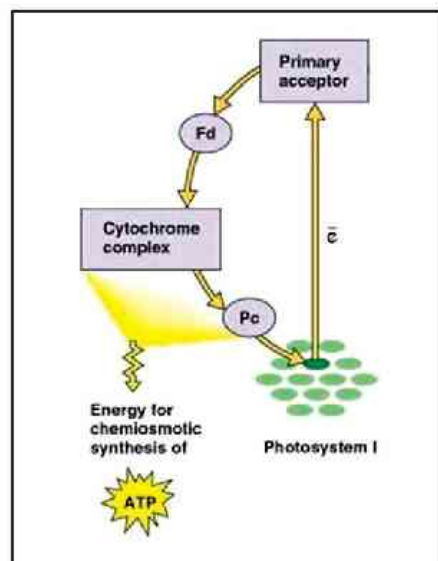
oksigen. Elektron tersebut akan memasuki fotosistem II, sedangkan oksigen dilepaskan ke lingkungan sekitar.

Berbeda dengan reaksi sebelumnya, pada reaksi siklik fotosistem yang terlibat hanya Fotosistem I. Hasilnya pun hanya berupa ATP. Seluruh hasil reaksi terang ini akan digunakan sebagai energi reaksi gelap.



Gambar 7.9 Reaksi Terang Non Siklik

Sumber: SHUTTERSTOCK



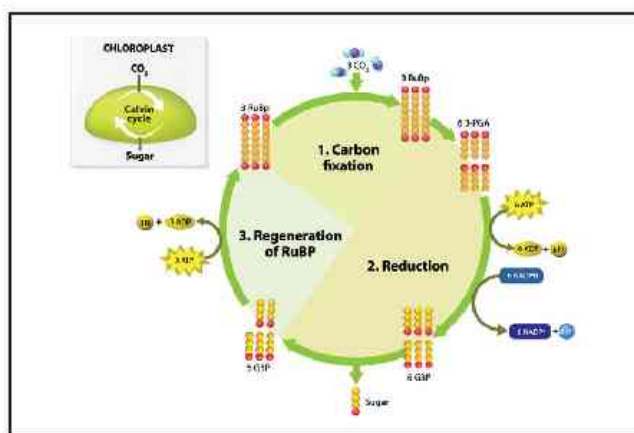
Gambar 7.10 Reaksi Terang Siklik

Sumber: <https://imagesapp.google.com/zx13zA9Hia14brZAA>



2. Reaksi Gelap

Mengapa reaksi ini bernama reaksi gelap? Reaksi ini tidak memerlukan energi cahaya. Keberlangsungan reaksi ini memanfaatkan energi kimia hasil dari reaksi terang (ATP dan NADPH_2). Reaksi gelap terjadi di stroma. Pada proses ini terjadi proses fiksasi CO_2 yang pada akhirnya menghasilkan glukosa. Reaksi gelap terjadi dalam serangkaian proses yang bernama Siklus Calvin pada gambar berikut.



Gambar 7.11 Siklus Calvin

Sumber: <https://images.app.goo.gl/KxZTSIA3oV1DcfSY9>

Penjelasan tentang materi metabolisme sel mengandung hikmah yang dapat diambil dalam kehidupan sehari-hari. Berikut penjelasan integrasi ayat mengenai metabolisme dan hikmahnya dalam kehidupan.

Kerja enzim yang kurang baik akan berdampak pada proses, seperti respirasi, pertumbuhan, perkecambahan, kontraksi otot, fotosintesis, fiksasi nitrogen, dan proses pencernaan yang dialami oleh makhluk multi-seluler menjadi tidak lancar. Oleh karena itu, memperhatikan apa yang dimakan adalah sebuah keniscayaan (keharusan).

Anjuran tersebut sejatinya juga sudah diimbau oleh Allah Swt. melalui pesan ayat-ayat Al-Qur'an. Misalnya, Allah Swt. berfirman dalam surah 'Abasa (80): 24 yang berarti, "Maka, hendaklah manusia itu memperhatikan makanannya." Perintah ini adalah bagian dari tugas manusia yang seharusnya selalu diperhatikan ketika hendak melakukan tugas-tugasnya secara sempurna, yaitu memperhatikan jenis makanan



dan merenungi bagaimana proses yang dilalui hingga akhirnya siap dimakan. Oleh sebab itu, pada kaitannya dengan makanan, yang perlu diperhatikan di dalam Islam tidak hanya bergizi dan bermanfaat bagi tubuh, tetapi juga makanan tersebut halal (bukan makanan haram, seperti anjing dan babi) serta cara mendapatkannya juga dengan cara yang baik (halal).

Mengenai hal itu, Allah Swt. berfirman dalam surah al-Baqarah (2): 168,

يَا أَيُّهَا النَّاسُ كُلُوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَالًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ مُبِينٌ ﴿١٦٨﴾

"Wahai manusia, makanlah sebagian (makanan) di bumi yang halal lagi baik dan janganlah mengikuti langkah-langkah setan. Sesungguhnya ia bagimu merupakan musuh yang nyata."



Penjelasan Kata Kunci

- Kata حَلَالًا (*halālan*) berasal dari asal kata *ḥalla* yang berarti 'terlepas', lawan kataterikat. Dengan demikian, halal berarti makanan yang terlepas atau bersih dari keharaman dan keburukan.
- Kata طَيِّبًا (*ṭayyiban*) memiliki arti 'bersih', 'baik', dan 'terasa lezat'. Dengan demikian, *ṭayyiban* dalam hal makanan berarti makanan yang bersih, baik atau bergizi, dan lezat.



Tafsir Ayat

Pada ayat tersebut, Allah Swt. memerintahkan kita untuk memakan yang halal juga baik atau bergizi. Selain itu, di ujung ayat Allah Swt. juga memerintahkan agar jangan mengikuti langkah setan yang menjerumuskan kepada keburukan dan kebinasaan. Salah satu yang bisa kita lakukan dalam upaya menjauh dari langkah setan adalah jangan sekali-kali memubazirkan atau menyia-nyiakan makanan karena se-



sungguhnya para pemboros itu adalah saudara-saudara setan (al-Isrā' (17): 27).

Makanan yang baik sebaiknya juga kaya akan unsur-unsur makanan, seperti protein, glukosa, lemak, dan vitamin. Misalnya seperti unsur-unsur yang terdapat pada daging, ikan, madu, dan buah-buahan. Di dalam Al-Qur'an terdapat himbauan untuk memanfaatkan jenis makanan yang kaya unsur-unsur tersebut. Allah Swt. berfirman pada surah an-Nahl (16): 5 dan 14 berikut.

وَالْأَنْعَامَ خَلَقَهَا لَكُمْ فِيهَا دِفْءٌ وَمَنْفَعٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ ﴿٥﴾

"Dia telah menciptakan hewan ternak untukmu. Padanya (hewan ternak itu) ada (bulu) yang menghangatkan dan berbagai manfaat, serta sebagian (daging)-nya kamu makan."

وَهُوَ الَّذِي سَخَّرَ الْبَحْرَ لَكُمْ أَكْلًا مِنْهُ حَمًا طَرِيًّا وَتَسْتَخْرِجُوا مِنْهُ حِلْيَةً تَلْبَسُونَهَا وَتَرَى الْفُلْكَ مَوَاجِرَ فِيهِ وَلِتَبْتَغُوا مِنْ فَضْلِهِ وَلِعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ ﴿١٤﴾

"Dialah yang menundukkan lautan (untukmu) agar kamu dapat memakan daging yang segar (ikan) darinya dan (dari lautan itu) kamu mengeluarkan perhiasan yang kamu pakai. Kamu (juga) melihat perahu berlayar padanya, dan agar kamu mencari sebagian karunia-Nya, dan agar kamu bersyukur."

R_{efleksi}

Menjaga tubuh agar tetap prima merupakan anjuran agama. Karena kelangsungan atau kontinuitas ibadah memerlukan tubuh yang sehat dan kuat, apalagi ada beberapa ibadah yang membutuhkan tubuh prima seperti puasa dan haji. Oleh karena itu, menjaga tubuh yang sehat dan kuat merupakan bagian dari ibadah kepada Allah Swt. Muslim/mukmin yang kuat lebih dicintai Allah Swt. daripada



muslim/mukmin yang lemah. Tentunya kuat secara iman, akal pikiran, mental, dan fisik. Oleh karena itu, kewajiban kita sebagai hamba Allah Swt. adalah selalu berusaha menjadi muslim/mukmin yang kuat.



Pojok Sains

Fitoplankton Penyedia Oksigen Terbesar di Bumi

Tumbuhan terkenal dengan ciri khasnya yaitu mampu melakukan fotosintesis. Proses ini menghasilkan makanan bagi tumbuhan dan oksigen yang dilepaskan ke lingkungan. Namun, ternyata tumbuhan bukanlah penyedia oksigen terbanyak di dunia, melainkan fitoplankton. Fitoplankton juga berfotosintesis. Perbandingan luas lautan dengan daratan adalah 70:30. Artinya, 70 persen luas Bumi adalah lautan. Fitoplankton merupakan organisme yang hidup di seluruh permukaan lautan. Dengan demikian jelas bahwa oksigen yang berada di permukaan Bumi sebagian besar dihasilkan oleh fitoplankton.

Sumber: <https://www.kompas.com/tren/read/2021/05/04/091000165/mengenal-fitoplankton-produsen-oksigen-terbesar-di-bumi?page=all>



Pojok Riset

*Pohon Kersen (*Muntingia calabura*) merupakan Jenis Pohon Pelindung Jalan yang Memiliki Potensi Serapan Gas CO₂ Tertinggi.*

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Bogor dan sekitarnya tentang potensi serapan gas karbon dioksida (CO₂) pada beberapa jenis pohon pelindung jalan, dihasilkan data bahwa pohon kersen memiliki kemampuan daya serap paling tinggi terhadap gas CO₂ dibandingkan jenis pohon lainnya. Kecepatan penyerapan



gas CO_2 yang terjadi pada pohon kersen adalah $23,92 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{detik}$. Pada penelitian ini terdapat 63 individu dari 21 jenis tanaman yang dijadikan sebagai objek penelitian. Jenis tanaman lain yang memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap gas CO_2 adalah pohon bintaro (*Cerbera manghas*) $16,42 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{detik}$ dan pohon dadap (*Erythrina cristagalli*) $16,38 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{detik}$. Selain memiliki daya serapan CO_2 tertinggi di antara jenis lainnya, pohon kersen juga memiliki bentuk kanopi seperti payung yang cukup rindang dan berbuah kecil yang disukai burung. Dengan demikian, secara ekologi jenis tersebut cukup baik apabila ditanam di pinggir jalan atau di taman-taman kota. Namun, penanaman jenis ini perlu memperhatikan kondisi jalan. Mengapa? Karena tinggi pohon kersen pada umumnya hanya mencapai 3–6 m dan memiliki percabangan yang cukup banyak, sehingga dapat mengganggu arus lalu lintas di sekitarnya, terutama bagi pengendara truk dan bus.

Sumber: Muhammad Mansur dan Bayu Arief Pratama, "Potensi Serapan Gas Karbondioksida (CO_2) Pada Jenis-Jenis Pohon Pelindung Jalan (Potential Absorption of Carbon Dioxide (CO_2) in Wayside Trees)" dalam *Jurnal Biologi Indonesia* 10(2) :149–158 (2014)



Proyek

Kamu sudah mengetahui betapa pentingnya peran tumbuhan terkait proses fotosintesis. Ayo, tanamlah satu jenis tanaman saja di sekitar rumahmu. Kamu dapat menanamnya dari biji atau membelinya dari penjual tanaman. Dengan begitu, berarti kamu telah ikut berkontribusi terhadap pelestarian alam sekitar.

