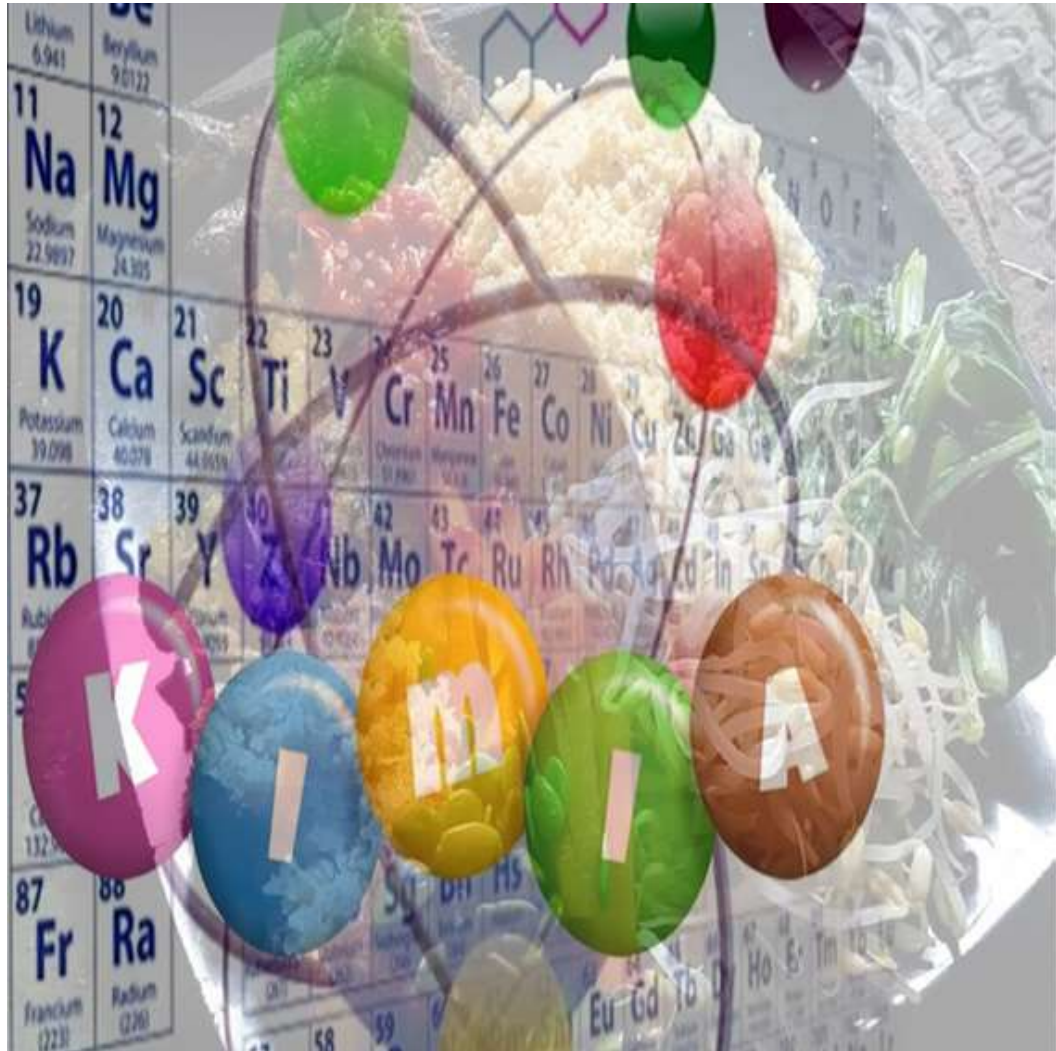


KIMIA BAHAN MAKANAN

Familia Novita Simanjuntak, S.P., M.Si



Editor: Dr. Sumiyati, M.Pd

KIMIA BAHAN MAKANAN

Penulis:

Familia Novita Simanjuntak, S.P., M.Si

Editor:

Dr. Sumiyati, M.Pd

ISBN: 978-623-7256-87-8

Penerbit: UKI Press

Redaksi: Jl. Mayjen Sutoyo No.2 Cawang Jakarta 13630
Telp. (021) 8092425

Cetakan I Jakarta: UKI Press, 2020

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.



**UKI Press
2020**

HARMONISASI MELALUI SEPIRING

MAKANAN

Harmonisasi adalah suatu keadaan dalam sebuah ekosistem yang timbul setelah terjadi interaksi (*interaction*) dan saling ketergantungan (*inter-dependensi*) antar komponen (faktor biotik dan abiotik) yang menghasilkan keberagaman dalam ekosistem tersebut. Selanjutnya, harmonisasi akan menggiring keadaan ke arah keberlanjutan (*sustainable*). Lima keadaan tersebutlah yang menjadi prinsip dasar ilmu lingkungan menurut Daniel D. Chiras, seorang penulis buku *Environmental Science* sejak tahun 1985.

Harmonisasi menjadi penting karena kehidupan di bumi hadir dalam kondisi sumber daya yang terbatas di semua dimensi, mulai dari ketersediaan sumber daya alam yang menyokong kebutuhan makhluk hidup sampai pada kemampuan bumi menampung sisa/buangan dari hasil aktivitas makhluk hidup (*carrying capacity*). Oleh karena itu, prinsip harmonisasi

menjadi pokok bahasan yang menjadi dasar atas penyusunan buku Kimia Bahan Makanan.

Inspirasi penyusunan buku Kimia Bahan Makanan berasal dari seorang ilmuwan kimia yaitu Ellen Swallow Richards, yang menemukan bahwa kajian keluarga dan kosumen (*family and consumer science*) dapat dijadikan sebagai landasan kajian ilmu kimia. Richards meyakini kajian keluarga dan konsumen yang mendasari kajian ilmu kimia melalui penerapannya dalam kehidupan sehari-hari akan mengendalikan kualitas lingkungan hidup yang berdampak pada peningkatan kualitas hidup. Dengan demikian, kajian ilmu kimia menjadi ruh penguat untuk mencapai keadaan harmonis dalam ekosistem.

Sasaran utama pembaca buku Kimia Bahan Makanan adalah remaja tengah yang berusia 15-19 tahun. Pada tahun 2017, Indonesia mengalami bonus demografi dengan populasi remaja mencapai 8,3% dari total populasi. Di sisi lain, angka harapan hidup di Indonesia pada tahun 2019 mencapai 71 tahun. Dalam kajian ilmu psikologi, remaja tengah fokus pada pencapaian tugas perkembangan membangun identitas sebagai pondasi karakter sumber daya manusia. Sehingga, manusia

hanya mempunyai waktu 4 tahun saja untuk membangun identitasnya sebagai warga negara Indonesia dengan kualitas karakter yang sejalan (harmonis) dengan upaya pembangunan bangsa yang berkelanjutan (*sustainable development goals*).

Oleh karena itu, buku Kimia Bahan Makanan berupaya untuk melakukan harmonisasi melalui sepiring makanan yang mengajak setiap pembaca melibatkan perasaan, keinginan dan harapan melalui pengalamannya, beserta pengetahuannya terkait makanan dan aktivitas makan. Buku ini adalah edisi I yang mempunyai 4 bagian dengan 2 bab utama yaitu Bab 1: Makanan Adalah Kehidupan Dan Relasi Dan Bab 2: Penghormatan Yang Wajar Ketika Makan. Terdapat teori singkat terkait materi yang relevan pada bagian tertentu sebagai pengkayaan pengetahuan yang dibutuhkan oleh pembaca.

Harapannya, buku Kimia Bahan Makanan dapat menjadi salah satu rujukan tambahan bagi keluarga, khususnya para ibu, dan pelajaran kimia di sekolah untuk mendukung peningkatan kualitas hidup secara maksimal bagi anak-anak dan semua anggota keluarga, sekaligus terlibat aktif dalam pelestarian

kualitas lingkungan hidup melalui konsumsi pangan yang bergizi, beragam, dan berimbang serta dilengkapi dengan aktivitas fisik yang wajar.

“You Are What You Eat” kini menjadi “You Are Safe From What You Eat”

Familia Novita Simanjuntak, S.P., M.Si
03 Agustus 2020

KATA PENGANTAR

Buku Kimia Bahan Makanan tidak hanya berpusat pada bahan makanan, tetapi juga memberi perhatian pada dampak bahan makanan dalam aktivitas makan terhadap kondisi internal pembaca dengan melibatkan perasaan dan pengalaman. Teori yang disajikan pun dipilih yang paling relevan dengan materi setiap bagian meski pastinya akan terasa masih banyak kekurangannya.

Dasar penyusunan buku Kimia Bahan Makanan adalah kelestarian daya dukung dan daya tampung bumi dalam pelayanan terhadap kebutuhan makhluk hidup, termasuk manusia, pada saat ini dan dapat tetap bertahan hingga waktu di masa mendatang (berkelanjutan). Buku Kimia Bahan Makanan mempunyai maksud yang lebih mendalam yaitu menggerakkan setiap pembaca supaya bergerak bersama mulai dari yang paling sederhana yang dapat dilakukan, misalnya dengan memilih bahan-bahan makanan yang sumber dan pengadaannya semaksimal mungkin dapat mengendalikan penurunan kualitas lingkungan hidup.

Pilihan sasaran utama yaitu remaja tengah oleh karena remaja tengah mempunyai tugas perkembangan terpenting bagi pembentukan identitas (jati diri) manusia yang akan dan

harus bertahan hingga masa dewasa, sehingga buku ini didominasi dengan gambar untuk membantu remaja tengah mendapat gambarnya. Kendati demikian, target pembaca buku ini tentunya adalah para orang tua dan guru-guru SMA untuk semua mata pelajaran terkait antara lain Kimia, Biologi, Fisika, Geografi, Sejarah, Bimbingan dan Konseling, dalam rangka memberi dukungan positif bagi setiap remaja tengah untuk mencapai tugas perkembangannya secara maksimal.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang namanya tidak dapat penulis sebut satu per satu yang turut membantu baik secara langsung dan tidak langsung hingga penyusunan ***Buku Kimia Bahan Makanan*** ini selesai untuk dipublikasikan untuk umum.

Penulis

Familia Novita Simanjuntak, S.P., M.Si

DAFTAR ISI

COVER

SEKAPUR SIRIH	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix

Petunjuk Penggunaan Buku Kimia Bahan Makanan ..	1
Bagian 1. Makanan adalah Kehidupan dan Relasi	8
Bagian 2. Penghormatan dalam Porsi yang Wajar	
ketika Makan	46
7 Refleksi Sebelum Makan	60
<i>Mengapa harus konsumsi bahan</i>	
<i>makanan yang beragam?</i>	<i>62</i>
<i>Apakah yang dimaksud dengan</i>	
<i>Ecological Citizenship?</i>	<i>73</i>
DAFTAR PUSTAKA	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Analogi Keadaan Lingkungan Hidup	3
Gambar 2. Hubungan Reaksi Fotosintesis dengan Reaksi Respirasi	18
Gambar 3. Daur Biogeokimia	21
Gambar 4. Siklus Karbon	22
Gambar 5. Siklus Nitrogen	25
Gambar 6. Siklus Fosfor	27
Gambar 7. Rantai Makanan	31
Gambar 8. Gambaran Jejaring Makanan	32
Gambar 9. Perbandingan Kondisi Ekosistem	34
Gambar 10. Jejaring Makanan	35
Gambar 11. Interaksi Faktor Abiotik dan Biotik dalam Reaksi Fotosintesis dan Respirasi	43
Gambar 12. Sepiring Makanan	43
Gambar 13. Komposisi Tubuh Manusia dan Piramida Makanan GERMAS	48
Gambar 14. Grafik Peningkatan Jejak Ekologis dan Penurunan Biokapasitas per Kapita	63
Gambar 15. Jejak Ekologis	64

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Angka Kecukupan Gizi (per orang per hari)46

Tabel 2. Persentase dan Fungsi Unsur Kimia dalam

Tubuh Manusia49

Tabel 3. Tabel Kategori Motivasi dalam Skema Teori

Penentuan Nasib Sendiri (SDT)59

PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU KIMIA BAHAN MAKANAN PADA REMAJA DALAM RANGKA MEMBANGUN *ECOLOGICAL CITIZENSHIP*

Hi...halo...apa kabar? Sudah bersyukurkah hari ini? Hari ini kamu sarapan apa? Jawaban yang diharapkan tentunya ‘kabar baik,’ ‘sudah bersyukur,’ dan ‘tentunya makanan sehat dan lezat’. Namun jika jawabannya berbeda, saya berharap keadaan kita dalam kondisi hidup, bersyukur, dan sehat.

Buku ini saya susun khusus untuk kamu yang berusia 15 – 17 tahun (remaja tengah). Topik utamanya tentang makanan, dan selebihnya tentang ilmu kimia. Kok? Maksudnya?

Yup...buku ini tentang makanan yang akan berkaitan dengan ilmu kimia. Tujuan utamanya tentu ingin mengajak teman-teman remaja untuk lebih care (peduli) pada asupan makanan sehari-hari. Maksudnya? Tidak ada maksud khusus kok, sekedar berharap teman-teman remaja mau menjadi ‘*your best version of influencer to have a healthier life*’ dan pengaruh yang kamu berikan pada dunia dapat membuat ‘hidupmu menjadi lebih hidup’.

Masa sich? Emangnya mungkin? Caranya gimana? Hmm, terus terang saya juga masih belum mendapat jawaban yang pasti, karena itu, ketika membaca dan menggunakan modul ini, saya membutuhkan peran serta teman-teman remaja memberi jawaban yang menurut kalian adalah ‘paling cocok’ dan ‘benar’ pada setiap pertanyaan yang kamu temukan simbol (**æ**), pertanyaan pengalaman (**E**), pertanyaan baper (**F**), latihan otak (**B**) dan tuliskan pada

lembaran terpisah yang disediakan dalam modul.

Kamu boleh gunakan media ‘gadget’, pengetahuan dasar sejak dalam didikan orang tua dalam keluarga, pengalaman, bahkan perasaan kamu, yup...jawaban baper (bawa perasaan) juga diperbolehkan selama jawabannya ‘paling cocok’ dan ‘benar’ ya!

Buku ini terdiri atas 4 bagian yaitu; (1) bagian pembukaan berupa petunjuk penggunaan buku; (2) bagian 1 dengan topik makanan adalah kehidupan dan relasi; (3) bagian 2 dengan topik penghormatan dalam porsi yang wajar ketika makan; dan (4) bagian penutup yang berisi 7 Refleksi Sebelum Makan.

~~~**SEMANGAT BEKERJA**~~~



Gambar 1. Analogi Keadaan Lingkungan Hidup

**æ1...** Mari kita cermati Gambar 1. Keadaan manakah yang dapat menggambarkan relasimu (dengan diri sendiri, orang tua, guru di sekolah, teman-teman di sekolah dan di rumah) dalam kehidupan sehari-hari? Tuliskan cerita singkatmu dalam lembar yang tersedia ya!

**Baper (F1)**...Mari kita cermati Gambar 1., pada kedua gambar dapat kita lihat bahwa kehidupan terjadi pada keadaan ekosistem yang berbeda. Apakah yang kamu rasakan ketika kamu bernapas dalam keadaan yang terlihat pada Gambar 1. (atas dan bawah)? Keadaan manakah yang membuatmu merasa betah dan lebih nyaman? Tuliskan jawabanmu pada lembaran yang tersedia ya!

**Baper (F2)**...Menurut perasaanmu, apa saja yang dapat mengubah keadaan pada Gambar 1. atas menjadi seperti yang tampak pada Gambar 1. bawah? Bagaimana ya caranya supaya keadaan yang tampak pada Gambar 1. bawah menjadi seperti keadaan pada Gambar 1. atas? Tuliskan jawabanmu pada lembaran yang tersedia ya!

**Pengalaman (E1)**...Sepanjang kamu hidup, keadaan pada Gambar 1. (atas atau bawah) yang manakah yang pernah kamu alami? Menurut pengalaman kamu itu, bagaimana sensasi rasa yang kamu alami ketika menyantap makanan favoritmu pada keadaan Gambar 1. (atas dan bawah)? Tuliskan jawabanmu pada lembaran yang tersedia ya!

## **Prolog**

Pada bagian ini, pembaca diharapkan dapat membayangkan dirinya berada dalam keadaan lingkungan seperti yang

disajikan dalam Gambar 1. Jika sulit untuk membayangkan, maka pembaca dapat mengamati Gambar 1. selama 60 detik dan pengamatan dilakukan secara berulang apabila bayangan mengalami gangguan. Tujuan yang akan dicapai setelah melalui bagian ini adalah untuk membangun keterhubungan manusia yang berperan sebagai pembaca dengan keadaan dan kondisi lingkungan hidup yang ada di sekitarnya.

Pembaca juga dapat melakukan simulasi sederhana, misalnya melakukan aktivitas makan dalam keadaan lingkungan yang mirip dengan Gambar 1. agar pembaca mendapat pengalaman yang mendalam sesuai dengan keadaan masing-masing lingkungan, dan pengalaman tersebut dapat dibagikan baik secara tertulis di media sosial maupun secara verbal dalam komunikasi sosial sehari-hari. Sehingga, pada akhirnya, setiap pembaca dapat terlibat secara aktif sebagai agen perubahan (*agent of change*) yang berdampak pada peningkatan kualitas lingkungan hidup.

Bagian ini bermaksud untuk menjalin keterhubungan pembaca dengan keadaan lingkungan hidup di sekitar. Keterhubungan dengan keadaan lingkungan hidup di sekitar didefinisikan sebagai sebuah keadaan yang menjadi realisasi tempat manusia bersama alam, yang mempengaruhi keberadaan manusia—tentang bagaimana manusia mengalami



dunia di sini dan sekarang—tentang bagaimana respon emosional, perasaan, dan sikap manusia terhadap alam. Lebih lanjut, keterhubungan dengan lingkungan hidup di sekitar mencakup pemahaman tentang alam dan segala sesuatu yang dibuat oleh manusia di alam, termasuk bagian-bagian yang tidak menyenangkan, yang secara berangsur membentuk kemiripan yang menjadi ciri kepribadian.

Temuan penelitian María José Briceño Ruperti, et al. (2020) menyatakan bahwa terdapat tiga komponen yang menjelaskan bentuk konstruk keterhubungan yaitu: (1) Komponen kognitif sebagai inti dari keterhubungan alam dan mengacu pada bagaimana seseorang terintegrasi dengan alam; (2) Komponen afektif yaitu rasa peduli individu terhadap alam; dan (3) Komponen perilaku berupa komitmen individu untuk melindungi lingkungan alam. Ketiga komponen tersebut secara terintegrasi membentuk tiga dimensi bagi pengalaman manusia antara lain perasaan terancam, mendapat dorongan dan kepuasan. Setiap dimensi membawa perasaan yang berbeda (seperti kecemasan, kegembiraan, dan ketenangan), dan motivasi yang berbeda (menghindari, mengejar, dan beristirahat), masing-masing melepaskan berbagai hormon dalam tubuh.

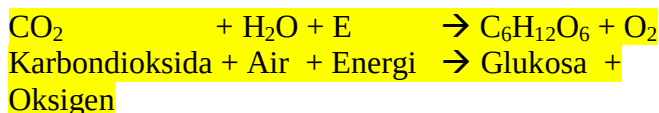
Dengan demikian, keterhubungan dengan keadaan lingkungan hidup di sekitar muncul dari keinginan manusia yang terdalam dan sifatnya cenderung stabil. Keterhubungan dapat dilakukan dengan cara menstimulasi otak melalui berbagai pengalaman, sehingga akhirnya menumbuhkan tanggung jawab individu terhadap kesehatan ekosistem, dan menentukan perannya dalam lingkungan hidup global melalui perilaku pro-lingkungan hidup, khususnya terkait pilihan konsumsi, dan peran serta dalam sistem politik untuk memastikan lingkungan hidup yang sehat bagi generasi masa depan.

Harapannya, setelah menyelesaikan perjalanan di bagian ini, pembaca telah mendapat pengalaman keterhubungan dengan keadaan lingkungan hidup di sekitar. Berikutnya, perjalanan berlanjut ke Bagian 1 yaitu Makanan adalah Kehidupan dan Relasi. Perjalanan di Bagian 1 membutuhkan pengetahuan, pengalaman, dan perasaan terkait kehidupan dan relasi yang berawal dari interaksi antara faktor biotik dan abiotik dalam reaksi fotosintesis dan respirasi.

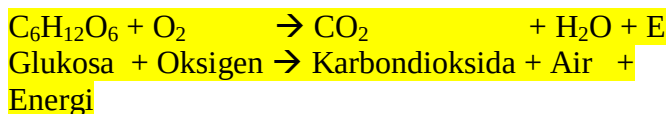
## **BAGIAN 1. MAKANAN ADALAH KEHIDUPAN DAN RELASI**

Daniel D. Chiras (2001) menyatakan bahwa kehidupan pertama di bumi adalah bakteri autotrof yang dapat membuat makanannya sendiri. Selanjutnya, ribuan tahun kemudian, kehidupan manusia mulai terjadi setelah oksigen terbentuk di udara melalui proses fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan berhijau daun. Kemudian, dari kehidupan menghasilkan buangan melalui respirasi ke ekosistem.

Reaksi kimia dalam proses fotosintesis dapat kita tuliskan sebagai berikut:



Selanjutnya, reaksi kimia yang terjadi dalam proses respirasi adalah sebagai berikut:



### **Fotosintesis**

Fotosintesis berasal dari kata foton yang berarti cahaya, dan sintesis yang berarti menyusun. Fotosintesis berarti suatu penyusunan senyawa kimia kompleks (organik) yang

membutuhkan energi cahaya bersumber alami dari matahari. Proses fotosintesis berlangsung di dalam pigmen sel tertentu yang menggunakan bahan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

### 1. Cahaya Matahari

Cahaya matahari terdiri atas beberapa spektrum , yang masing-masing spektrum mempunyai panjang gelombang berbeda, sehingga memberi pengaruh yang berbeda terhadap proses fotosintesis. Fotosintesis menghasilkan senyawa karbohidrat dan oksigen yang dilepas ke udara sebagai senyawa sampingan, yang volumenya dapat diukur. Pengukuran volume oksigen yang dikeluarkan oleh tubuh tumbuhan merupakan tingkat produksi fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan tersebut.

### 2. Pigmen Fotosintesis

Proses fotosintesis tidak dapat terjadi pada setiap sel. Proses ini hanya dapat terjadi pada sel yang mengandung pigmen fotosintetik yaitu jenis pigmen yang terdapat di dalam jaringan daun. Daun mempunyai mesofil atau daging daun yang terdiri atas jaringan bunga karang dan jaringan pagar. Sel-sel pada jaringan bunga karang dan pagar mengandung kloroplas atau organel yang mengandung zat warna (pigmen

hijau) atau klorofil, yang mampu menyerap energi cahaya matahari.

### 3. Struktur Kloroplas

Kloroplas adalah struktur pipih yang dibatasi oleh sistem membran ganda yang terdiri atas ruangan berisi cairan yang disebut *stroma* dan membran dalam yang terlibat berpasangan disebut *lamella*. Lamela membesar bertahap dan membentuk gelembung pipih yang membungkus membran yang disebut *membran tilakoid* dalam bentuk bangunan *kantung tilakoid*. Kantung ini biasanya berlapis-lapis tersusun yang disebut *grana*. Pengubahan energi cahaya menjadi energi kimia terjadi di dalam tilakoid, sedangkan produk akhir yaitu glukosa dibentuk di dalam *stroma*. Klorofil merupakan bagian dari perangkat fotosintesis yang dikenal sebagai fotosistem.

### 4. Fotosistem

Fotosistem adalah suatu unit yang mampu menangkap energi cahaya matahari yang terdiri atas klorofil a, kompleks antena, dan akseptor elektron. Klorofil a terdapat di dalam bagian pusat reaksi yang berperan menyalurkan elektron berenergi tinggi ke akseptor utama elektron, yang selanjutnya masuk ke dalam siklus elektron. Elektron ini memperoleh energi dari

cahaya yang berasal dari molekul perangkat pigmen yang disebut kompleks antena. Fotosistem dibagi dua, yaitu fotosistem I yang didalamnya terjadi penyerapan energi cahaya dilakukan oleh klorofil a yang sensitif cahaya, yang disebut P700 karena mempunyai panjang gelombang 700 nm, dan fotosistem II yang di dalamnya terjadi penyerapan energi cahaya dilakukan oleh klorofil a sensitif cahaya dengan panjang gelombang 680 nm, yang disebut P680.

Proses penyerapan energi cahaya melepas elektron berenergi tinggi dari klorofil a, yang disalurkan dan ditangkap oleh akseptor elektron, merupakan awal dari rangkaian panjang proses fotosintesis. Reaksi kimia proses fotosintesis secara sederhana dibedakan menjadi dua, yaitu reaksi terang dan reaksi gelap.

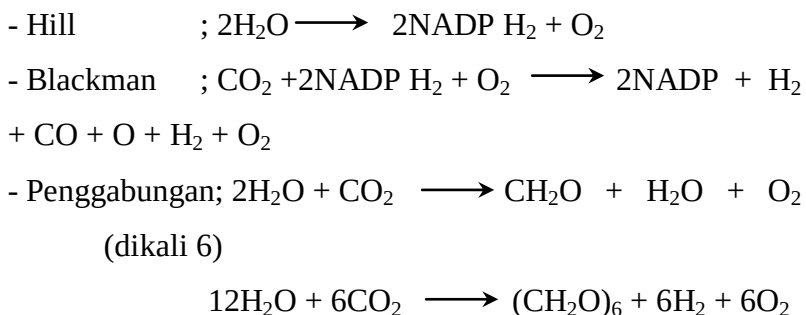
Reaksi terang menggunakan energi cahaya yang berlangsung di dalam membran tilakoid (klorofil) menghasilkan senyawa ATP dan NADPH. Kedua senyawa ini akan digunakan dalam reaksi gelap sebagai sumber energi yang berlangsung di dalam stroma (kloroplas) menghasilkan glukosa. Siklus zat pada reaksi gelap sering disebut siklus Calvin-Benson, yang dibagi dalam tiga tahap :

- a. Fase fiksasi ; fiksasi karbon ( $\text{CO}_2$ ) dari udara oleh senyawa karbon beratom C5, yang dikenal dengan

ribulose bifosfat (RuBP), menghasilkan senyawa beratom C6 yang tidak stabil dan akan segera pecah menjadi dua senyawa C3 yang disebut asam *fosfoglisarat* (APG) yang bersumber dari ATP.

- b. Fase reduksi ; pereduksian senyawa antara yaitu *fosfogliseraldehid* (PGAL) melalui pemakaian H dari NADPH untuk membentuk zat makanan (glukosa). Dua molekul PGAL akan membentuk satu molekul glukosa.
- c. Fase regenerasi ; pembentukan kembali RuBP untuk melanjutkan fungsinya sebagai fiksator CO<sub>2</sub>.

Reaksi terang membutuhkan energi matahari yang tidak peka terhadap suhu dan kecepatan reaksi fotokimianya relatif lebih besar dari reaksi gelap, sedangkan, reaksi gelap merupakan reaksi enzimatik yang tidak memerlukan cahaya dan peka terhadap suhu. Reaksi terang (Hill) dan reaksi gelap (Blackman) digabung, maka reaksinya sebagai berikut :

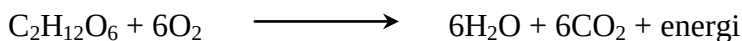


Faktor-faktor yang mempengaruhi proses fotosintesis adalah :

1. Cahaya ; intensitas, lama penyinaran, kualitas (panjang gelombang)
2. Temperatur (suhu)
3. Kadar CO<sub>2</sub>
4. Kadar air
5. Senyawa-senyawa kimia tertentu

### **Respirasi**

Respirasi atau pernapasan adalah salah satu proses katabolisme, yaitu proses pembebasan energi yang tersimpan dalam zat sumber energi melalui proses kimia yang menggunakan oksigen. Zat sumber energi dalam tubuh organisme terdiri atas zat-zat organik seperti karbohidrat, lemak, protein, asam amino. Proses kimia ini mengurai zat-zat organik menjadi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O) dengan membebaskan sejumlah energi yang akan digunakan untuk berbagai aktivitas kehidupan. Rangkaian reaksi kimia respirasi merupakan kebalikan reaksi kimia fotosintesis, yaitu :



Rangkaian proses reaksi kimia tersebut merupakan rangkaian proses reaksi yang kompleks melalui serangkaian reaksi kimia, yang dibedakan menjadi tiga tahap yaitu glikolisis, daur krebs dan transpor elektron respirasi.

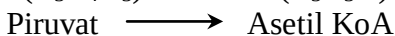
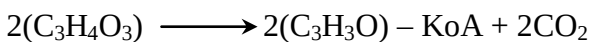
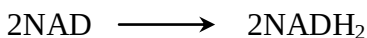


## 1. Glikolisis

Glikolisis adalah rangkaian reaksi perubahan molekul glukosa menjadi asam piruvat yang menghasilkan NADH dan ATP. Sifat-sifat glikolisis adalah :

- a. dapat berlangsung secara aerob dan anaerob
- b. terdapat kegiatan enzimatis dan Adenosin Tripospat (ATP) serta Adenosin Dipospat (ADP)
- c. ADP dan ATP berperan dalam pemindahan fosfat dari molekul satu ke molekul lain

Respirasi aerob menggunakan glukosa sebagai substrat yang diperoleh dari hasil fotosintesis. Hasil akhir glikolisis adalah asam piruvat yang diubah menjadi Asetil KoA dan proses perubahan ini merupakan persimpangan jalan untuk menuju berbagai biosintesis yang lain. Asetil KoA yang terbentuk kemudian memasuki siklus krebs.



## 2. Siklus Krebs

Perubahan Asetil KoA menjadi KoA terjadi di dalam siklus Krebs yang berlangsung di matriks mitokondria. Asetil KoA bergabung dengan asam oksaloasetat membentuk asam sitrat yang terjadi di awal siklus Krebs. KoA yang dilepaskan

memungkinkan pengambilan fragmen 2C lain dari piruvat, sedangkan sisa karbon yang berasal dari glukosa dilepaskan sebagai CO<sub>2</sub>.

Energi yang diperlukan oleh siklus Krebs dilepas untuk menggabung pospat dengan ADP membentuk ATP, dan beberapa atom hidrogen juga dilepas kemudian diambil oleh NAD<sup>+</sup> atau pembawa lain untuk ditransfer ke sistem transpor elektron. Pemecahan rantai karbon glukosa selesai pada siklus Krebs.

Hasil proses glikolisis, reaksi antara dan siklus Krebs adalah pemecahan satu molekul glukosa 6 karbon menjadi 6 molekul 1 karbon, yang juga menghasilkan 4 molekul ATP dari glikolisis dan siklus Krebs. Setiap proses melepaskan atom hydrogen yang ditransfer ke sistem transpor elektron oleh molekul pembawa.

### 3. Sistem Transpor Elektron

Sistem transpor elektron membentuk energi dari glukosa menjadi ATP yang terjadi di dalam membran dalam mitokondria. Hidrogen dari siklus Krebs bergabung dengan FADH<sub>2</sub> dan NADH yang diubah menjadi elektron dan proton. Atom oksigen dalam sistem ini berperan sebagai akseptor elektron terakhir, yang akan bereaksi dengan H<sup>+</sup>

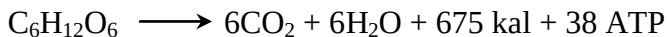
membentuk H<sub>2</sub>O. Sistem traspor elektron menghasilkan 34 ATP.

Total ATP yang dihasilkan oleh respirasi seluler adalah sebagai berikut :

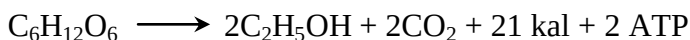
|               |                                                           |                                       |
|---------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|               | (secara tidak langsung)                                   |                                       |
|               | (secara langsung)                                         |                                       |
| Glikolisis    | 2 NADH <sub>2</sub> = 6 ATP                               | 2 ATP                                 |
| Reaksi antara | 2 NADH <sub>2</sub> = 6 ATP                               |                                       |
|               |                                                           |                                       |
| Siklus Krebs  | 6 NADH <sub>2</sub> = 18 ATP                              | 2 ATP                                 |
|               | $\frac{2 \text{ FADH}_2 = 4 \text{ ATP}}{34 \text{ ATP}}$ | $\frac{4 \text{ ATP}}{4 \text{ ATP}}$ |

Respirasi meliputi respirasi aerob yang membutuhkan oksigen dan respirasi anaerob yang disebut respirasi intramolekul atau fermentasi. Energi yang dihasilkan oleh respirasi aerob lebih tinggi dari yang dihasilkan oleh respirasi anaerob.

Respirasi aerob :



Respirasi anaerob :



Skema Respirasi Aerob dan Respirasi Anaerob :

Heksosa  $\longrightarrow$  respirasi aerob  $\longrightarrow$  CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + energi

Bakteri asam susu asam  $\longrightarrow$   
susu + energi (intramolekul)

Asam piruvat (glikolisis)  $\longrightarrow$  respirasi anaerob

$\nearrow$   
 $\searrow$

Rag  $\longrightarrow$  asetaldehida  
dehidrogenase

$\downarrow$

alkohol + energi

alkohol + energi bakteri  $\longrightarrow$  asam cuka + energi

Asam Piruvat dalam Respirasi Anaerob :

1. Pengubahan asam piruvat menjadi etanol

Karboksilase piruvat

$\text{CH}_3\text{COCOOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{CHO} + \text{CO}_2^-$

(asam piruvat) (asetaldehida)

$\downarrow$  alkohol dehidrogenase + NADH<sub>2</sub>

$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{NAD} + \text{energi}$

(etanol)

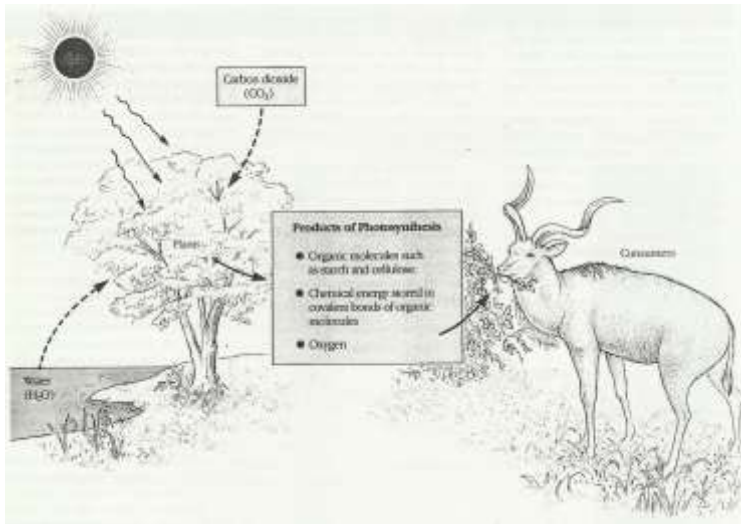
2. Pengubahan asam piruvat menjadi asam susu (asam laktat)

dehidrogenase asam susu

$\text{CH}_3\text{COCOOH} + \text{NADH}_2 \longrightarrow \text{CH}_3\text{CHOHCOOH} + \text{NAD} + \text{energi}$

(asam piruvat) (asam laktat)

## Hubungan Fotosintesis Dengan Respirasi



Gambar 2. Hubungan Reaksi Fotosintesis dengan Reaksi Respirasi

Gambar 2. memperlihatkan hubungan antara reaksi fotosintesis dan respirasi yang terjadi di dalam ekosistem. Fotosintesis dan respirasi adalah dua reaksi yang saling melengkapi, yang berarti, hasil proses satu akan menyediakan sumber energi untuk proses lainnya, dan menjamin cadangan ATP konstan, sehingga penyediaan sumber energi tetap terjadi untuk proses hidup seperti pemeliharaan sel, pertumbuhan, dan perkembangan. Kegiatan respirasi tumbuhan berlangsung sepanjang hari yang dinyatakan dengan volume oksigen (diambil) atau volume CO<sub>2</sub> (dibebaskan) selama 24 jam per gram berat kering tumbuhan.

Tumbuhan melakukan fotosintesis dan respirasi pada siang hari. Proses fotosintesis memerlukan  $\text{CO}_2$  dan membebaskan  $\text{O}_2$ , sebaliknya, proses respirasi memerlukan  $\text{O}_2$  dan membebaskan  $\text{CO}_2$ . Jumlah zat yang diambil atau dilepas tergantung pada aktivitasnya. Volume  $\text{CO}_2$  yang dilepas oleh proses respirasi sama dengan volume  $\text{CO}_2$  yang diperlukan oleh proses fotosintesis, atau sebaliknya, volume  $\text{O}_2$  yang dilepas oleh proses fotosintesis sama dengan volume  $\text{O}_2$  yang diperlukan oleh proses respirasi.

Fenomena tersebut akan terjadi apabila tumbuhan dalam keadaan statis, dan juga dapat terjadi pada saat intensitas cahaya tertentu, yang berbeda-beda untuk berbagai jenis tumbuhan. Intensitas cahaya pada saat terjadi aktivitas fotosintesis sama dengan aktivitas respirasi disebut titik kompensasi.

Kestatisan tumbuhan dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang stabil. Pencemaran air dan udara sangat mempengaruhi kestabilan faktor lingkungan, seperti gas rumah kaca dapat menyebabkan pemanasan global yang meningkatkan suhu, kabut asap mengurangi intensitas cahaya matahari masuk ke bumi yang mengganggu proses fotosintesis dan respirasi secara bersamaan, dan seterusnya.

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas manusia, disadari atau tidak, menyebabkan gangguan proses respirasi bagi manusia itu sendiri dan mengancam kehidupan manusia (bahan makanan) karena proses fotosintesis tumbuhan terganggu (terhambat). Pencemaran yang terus menerus terjadi tanpa dilakukan usaha pemulihan akan dapat mengganggu proses kehidupan vital makhluk hidup termasuk manusia yaitu fotosintesis dan respirasi yang bekerja saling melengkapi.

**Latihan otak (B1)...**Reaksi kimia dalam fotosintesis dan respirasi yang diberi warna kuning belum setara. Tuliskanlah penyetaraan persamaan reaksi tersebut dalam lembaran yang terpisah ya!

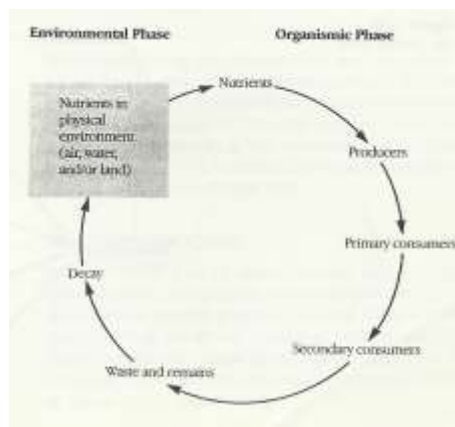
Kehidupan ini dipengaruhi oleh faktor biotik (tumbuhan, hewan, mikro-organisme, dan manusia) dan faktor abiotik (sinar matahari, kelembaban udara, temperatur, tekanan udara, dan iklim).

### Faktor Abiotik

Faktor abiotik adalah semua unsur dasar dari habitat dan lingkungannya, yang mencakup tanah, air, udara, seperti oksigen dan karbondioksida, nitrat dan fosfat, serta senyawa organik dan anorganik. Persenyawaan tersebut terdapat

sebagai hasil proses metabolisme atau proses dekomposisi makhluk hidup yang telah mati. Faktor abiotik juga mencakup faktor lingkungan fisik lainnya yaitu sinar matahari, suhu udara, curah hujan, kelembaban udara, dan angin. Energi sinar matahari merupakan energi yang terbanyak yang diterima oleh tumbuhan untuk proses fotosintesis.

Oksigen, karbondioksida dan nutrisi sebagian besar berasal dari hasil pelapukan dan pengendapan bahan-bahan organik makhluk hidup yang telah mati dan tidak aktif, bahan organik atau nutrisi yang terlarut dalam ekosistem akuatik. Semua bahan organik dan anorganik tersebut berperan menjadi bahan dasar untuk daur hara (daur biogeokimia) dalam ekosistem. Gambar 3. Menyajikan daur hara dalam ekosistem.



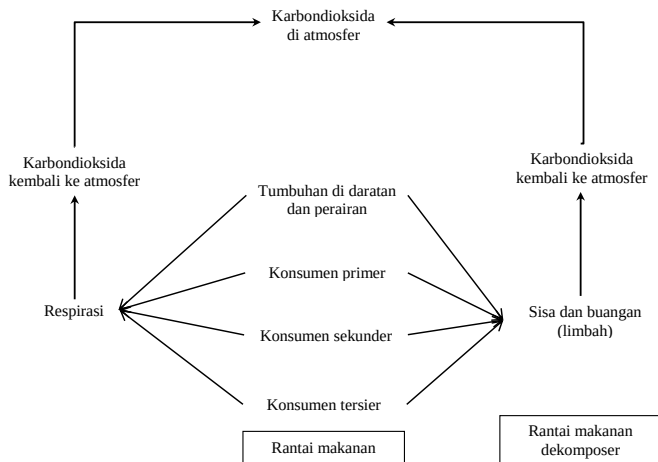
Gambar 3. Daur Biogeokimia



Tumbuhan membutuhkan sejumlah unsur esensial yang menjadi nutrisi utama. Meskipun tidak semua unsur tersebut diperlukan oleh setiap jenis tumbuhan dalam kuantitas atau perbandingan yang sama, namun secara pasti semua tumbuhan membutuhkan sejumlah nutrisi yang spesifik minimal untuk pertumbuhannya. Siklus biogeokimia terdiri atas siklus karbon, siklus nitrogen dan siklus fosfor.

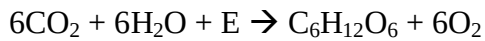
### Siklus Karbon

Siklus karbon adalah siklus nutrisi gas yang menggambarkan pergerakan karbon, sebuah unsur penting bagi semua molekul organik. Karbon bergerak di antara lingkungan dan makhluk hidupnya, tetapi pergerakannya lebih cepat dari nutrisi lainnya. Siklus karbon secara sederhana disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Siklus Karbon

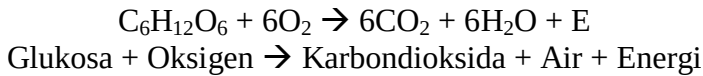
Karbondioksida atmosfer memasuki ekosistem daratan dan perairan. Di atas tanah, karbondioksida diserap oleh pori-pori atau mulut daun tumbuhan. Di dalam tumbuhan, karbondioksida masuk ke dalam sel dan bergabung dengan hidrogen (yang diperoleh dari molekul air) selama proses fotosintesis. Fotosintesis tersebut menghasilkan molekul organik melalui reaksi kimia sebagai berikut:



Karbondioksida + Air + Energi  $\rightarrow$  Glukosa + Oksigen

Sinar matahari mendorong reaksi fotosintesis menyatukan karbon, oksigen dan hidrogen menjadi molekul organik yang lebih besar melalui proses fiksasi karbon. Molekul organik tersebut akan berpindah ke tropik level yang lebih tinggi yaitu sebagai konsumen primer pemakan tumbuhan yang kemudian akan dimakan oleh konsumen sekunder. Dengan demikian, karbon mengalir dari atmosfer menuju dan melalui rantai makanan. Karbon kembali ke atmosfer melalui dua cara.

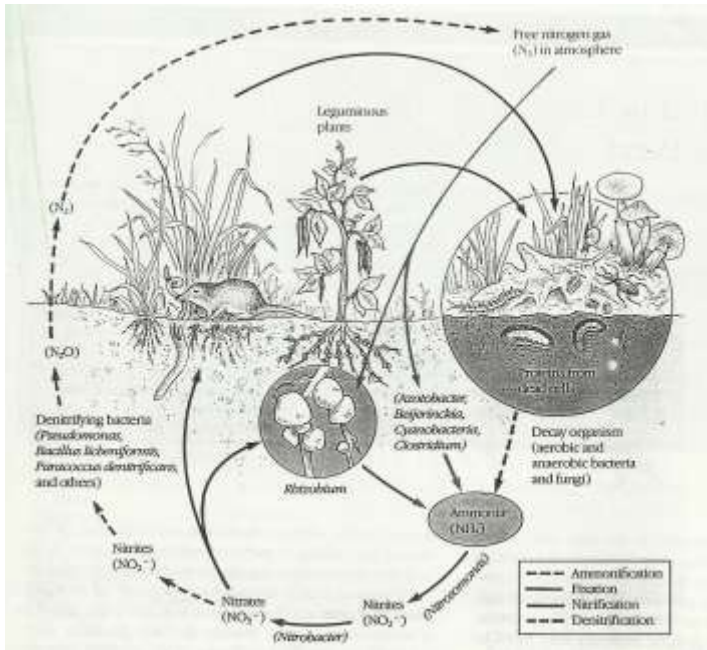
Pertama, di dalam tumbuhan dan hewan, beberapa molekul organik dipecah (dioksidasi) untuk menghasilkan energi sel melalui respirasi sel menghasilkan energi yang siap pakai, panas, karbondioksida dan air. Karbon dilepaskan oleh respirasi sel kembali memasuki lingkungan sebagai fase siklus sebagai berikut:



Cara kedua karbon kembali ke atmosfer melalui rantai makanan pengurai oleh organisme pengurai yang memakan bahan organik terlarut (*detritus*) dan mengubahnya menjadi jaringan hidup, energi dan melepas karbondioksida. Karbon juga akan terlepas ke atmosfer ketika pembakaran bahan organik oleh alam seperti petir dan kebakaran hutan atau disebabkan oleh aktifitas manusia seperti pembakaran ilalang, kayu dan batu bara.

### Siklus Nitrogen

Selain karbon, nitrogen juga merupakan bagian penting bagi molekul organik terutama asam amino yang membentuk protein dan bahan genetik RNA dan DNA. Kandungan gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ) di atmosfer mencapai 79%, namun gas nitrogen ini tidak dapat digunakan oleh tumbuhan dan hewan sehingga harus diubah dulu menjadi amonia ( $\text{NH}_3$ ) atau nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Siklus nitrogen disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Siklus Nitrogen

Pengubahan nitrogen bebas di atmosfer menjadi bentuk siap pakai terjadi dalam jumlah yang sedikit dan terjadi pada organisme tertentu yang ditemukan di dalam tanah dan air. Ketika senyawa nitrogen siap pakai terbentuk, tumbuhan pun dapat menyerapnya melalui akar dan menggunakannya untuk membuat asam amino, protein, DNA dan RNA. Hewan mendapat nitrogen yang diperlukan dengan memakan tumbuhan.

Pengubahan nitrogen bebas menjadi molekul anorganik disebut fiksasi nitrogen. Fiksasi nitrogen terjadi secara alami di dalam ekosistem perairan oleh ganggang hijau-biru, di

daratan oleh bakteri pengikat nitrogen yang ditemukan di dalam tanah dan bintil akar pada tanaman kacang-kacangan (kacang polong, alfalfa, buncis dan semanggi) dan mungkin di tanaman lain, dan di atmosfer yang dihasilkan oleh petir.

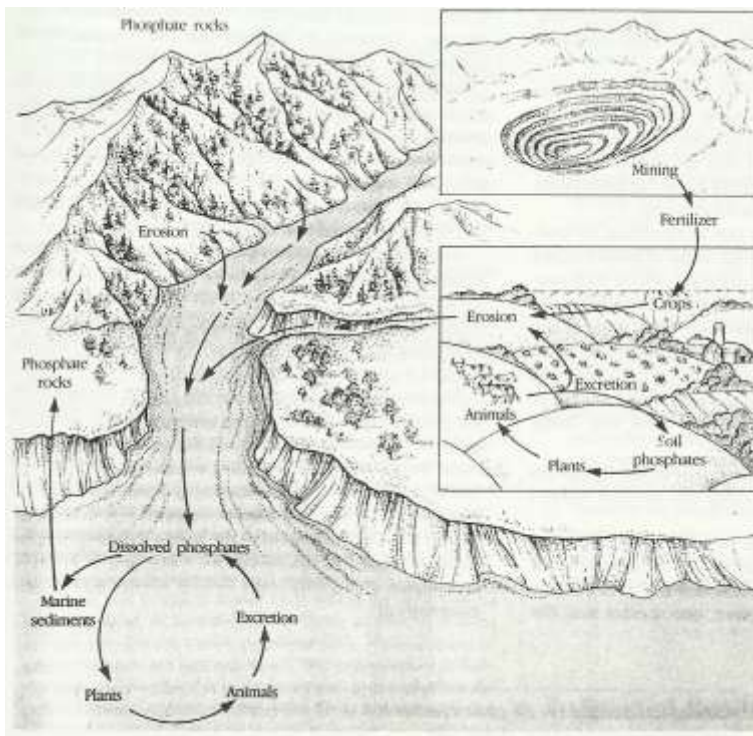
Nitrogen kembali ke tanah melalui penguraian bahan organik terlarut. Bakteri pembentuk amonia dan jamur tertentu di dalam tanah memakan bahan organik terlarut kaya nitrogen dan mengubah nitrogen organik menjadi amonia dan garam amonium. Garam amonium melekat pada akar tanaman dan amonia diuapkan dan memasuki atmosfer. Amonia juga diubah menjadi nitrit oleh bakteri tanah. Nitrit dapat diubah menjadi nitrat yang dapat diserap oleh akar tanaman.

Akhirnya, nitrit, nitrat, dan amonia mungkin diubah menjadi gas nitrogen oleh bakteri pengikat nitrit di dalam tanah. Nitrogen lepas ke udara membentuk siklus. Dalam berbagai bentuk, nitrogen beredar dari udara ke tanah menuju tumbuhan lalu ke hewan dan kembali ke tanah dan udara di dalam siklus yang tiada henti.

Praktek pertanian menyebabkan nitrogen, khususnya nitrat, tercuci memasuki danau, badan air dan laut. Kelebihan nitrat dapat menyebabkan permasalahan pencemaran air dan penurunan kualitas tanah sehingga menurunkan produktifitas pertanian.

## Siklus Fosfor

Fosfor sangat penting bagi kehidupan. Fosfor ditemukan di dalam makhluk hidup sebagai fosfat ( $\text{PO}_4$ ) yang menjadi bagian penting dari RNA dan DNA. Fosfor juga ditemukan di dalam lemak (fosfolipid) di dalam membran sel. Tidak seperti siklus nitrogen dan siklus karbon, siklus fosfor adalah sebuah siklus endapan karena paling banyak terkandung di dalam lingkungan waduk berupa batuan fosfor. Siklus fosfor disajikan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Siklus Fosfor

Fosfat perlahan-lahan tercuci dari bebatuan oleh hujan dan cairan es dan hanyut ke danau, badan air, kolam dan laut. Fosfat terlarut digunakan oleh tanaman dan berpindah ke hewan di dalam jejaring makanan. Fosfat kembali memasuki lingkungan dalam beberapa cara yaitu:

1. Beberapa dibuang secara langsung melalui kotoran oleh hewan;
2. Ketika tumbuhan dan hewan mati, fosfat dibebaskan dari senyawa organik oleh bakteri
3. Setiap tahun, sejumlah besar fosfat tercuci ke laut dan mengendap. Endapan ini dapat digunakan oleh organisme perairan. Sisanya tetap terendap dan sewaktu-waktu terangkat oleh perputaran.

Fosfat adalah komponen penting pupuk. Penggunaan pupuk yang berlebihan oleh manusia mengganggu siklus fosfor. Oleh karena fosfor adalah faktor pembatas di dalam ekosistem perairan, kelebihan fosfat dari lahan pertanian dapat menyebabkan pertumbuhan ganggang dan tumbuhan air lain yang sangat cepat sehingga menyebabkan perairan tertutup dan menghambat terjadinya fotosintesis (asupan oksigen dalam air menjadi terganggu).

### Faktor Biotik

Faktor biotik adalah semua komponen makhluk hidup yang terdapat dalam ekosistem yang mencakup tumbuhan, hewan, manusia dan mikroorganisme. Faktor biotik dalam ekosistem dikelompokkan berdasarkan perolehan sumber energi (jejaring makanan) dan strukturnya. Berdasarkan perolehan sumber energi (jejaring makanan) faktor biotik terdiri atas:

1. Komponen autotropik terdiri atas tumbuhan hijau atau fitoplankton yaitu organisme yang mampu mensintesis makanannya sendiri berupa bahan organik dan bahan anorganik sederhana dengan bantuan sinar matahari dan butir hijau daun.
2. Komponen hijau tropik terdiri atas hewan yaitu organisme yang sumber makanannya dari bahan-bahan organik yang dibentuk oleh komponen autotrof, kemudian menyusunnya kembali dan menguraikan bahan-bahan organik kompleks yang telah mati ke dalam senyawa anorganik sederhana. Organisme heterotrof dapat dibedakan juga ke dalam kelompok *biophage*, yaitu organisme yang mengkonsumsi organisme lain; dan *saprophage* yaitu organisme pengurai bahan-bahan organik dari organisme yang telah mati.

Interaksi faktor abiotik dan biotik dalam ekosistem erat kaitannya dengan rantai makanan dan jejaring makanan yaitu peristiwa makan dan dimakan antar individu yang berujung



pada kestabilan ekosistem (*sustainability*) oleh adanya kehati (keanekaragaman hayati).

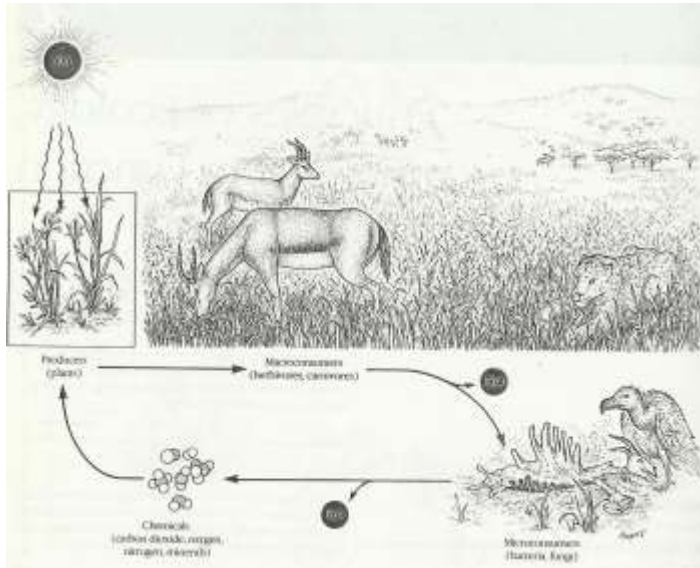
### Rantai Makanan dan Jejaring Makanan

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya bahwa produsen dan konsumen saling bergantung. Produsen melakukan fotosintesis untuk menghasilkan senyawa organik kaya energi untuk berbagai kegunaan. Senyawa tersebut mendukung kehidupan organisme konsumen.

Sebagai contoh, tumbuhan dimakan oleh berbagai herbivora (salah satu jenis konsumen) seperti sapi, serangga, tikus dan rusa. Herbivora kemudian dimakan oleh omnivora, karnivora dan akhirnya oleh pengurai, kembali menegaskan ayat kitab suci “semua daging adalah tumbuhan”.

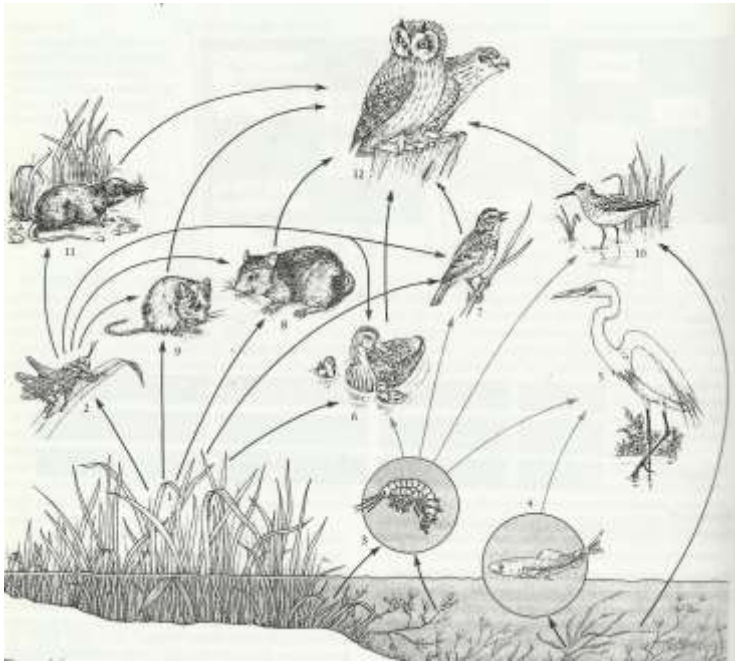
Saling keterkaitan antara produsen dan konsumen terlihat di sekitar kita. Tikus hidup di dalam dan sekitar rumah kita, misalnya, memakan beras dan tanaman liar, kemudian dimangsa oleh kucing dan burung hantu yang datang dari tetangga dan hutan. Ketika tikus dan burung hantu mati, mereka akan dimakan oleh bakteri. Di dalam setiap ekosistem, semua tumbuhan dan hewan pada saat yang sama menjadi makan malam, atau bahkan cemilan, bagi organisme

lain. Serangkaian organisme yang saling makan dan dimakan disebut rantai makanan sebagai berikut:



Gambar 7. Rantai Makanan

Rantai makanan yang sederhana hanya terjadi di dalam buku saja, padahal, organisme selalu berada di dalam banyak rantai yang saling berkesinambungan yang membentuk sebuah jejaring makanan yang besar. Jejaring makanan mencakup semua peristiwa makan dan dimakan yang terjadi di dalam ekosistem sebagaimana yang digambarkan di bawah ini.



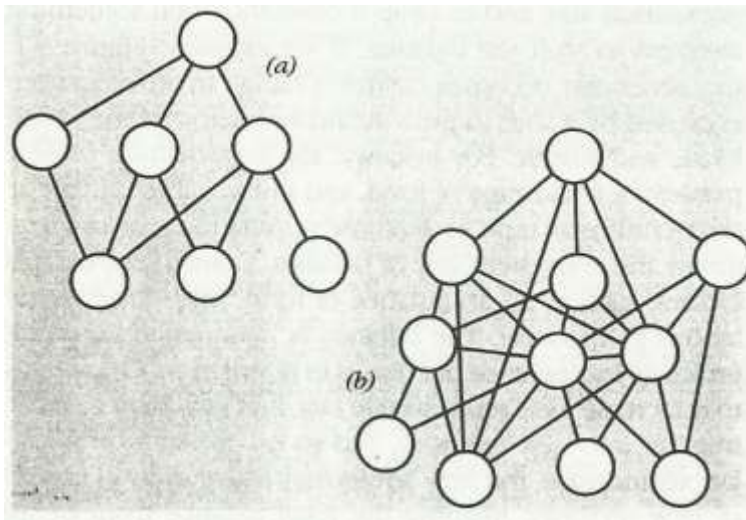
Gambar 8. Gambaran Jejaring Makanan

Rumput (1) dimakan oleh herbivora belalang (2), sedangkan tumbuhan air dimakan oleh herbivora udang (3). Udang dimakan oleh ikan kecil (4) lalu ikan kecil dimakan oleh bangau (5). Sebagai kelanjutan jejaring makanan, terdapat omnivora yaitu bebek (6), burung gereja (7), tikus besar (8), tikus sawah (9) dan sandpiper (10). Tikus tanah (11) adalah karnivora tingkat pertama, sedangkan karnivora tingkat paling atas (level kedua) adalah elang dan burung hantu (12)

### Keanekaragaman Hayati dan Kestabilan Ekosistem

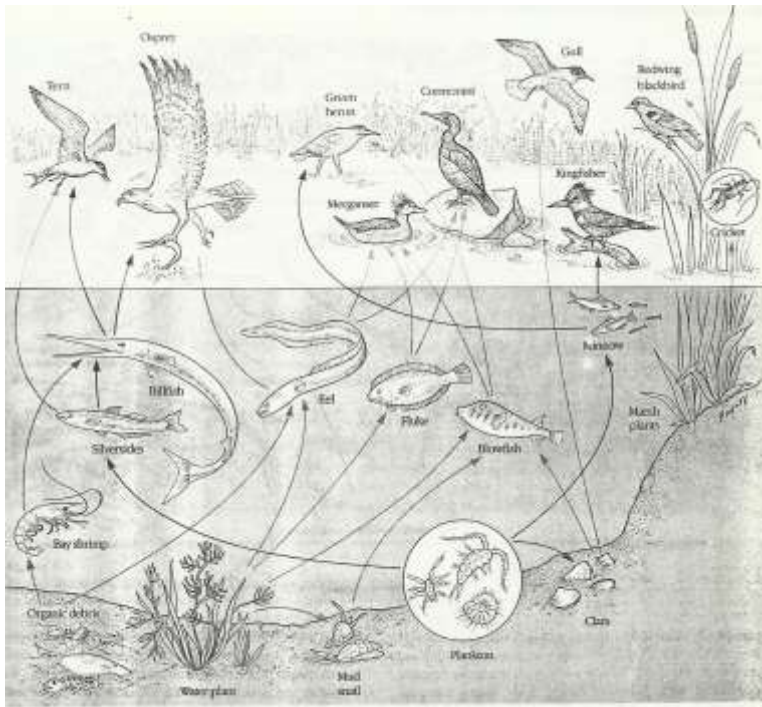
Kestabilan ekosistem dipengaruhi oleh keanekaragaman hayati (kehati) yaitu sebuah ukuran untuk jumlah spesies yang berbeda dalam satu komunitas biotik., atau ukuran keragaman di dalam sebuah ekosistem. Kehati berhubungan dengan setidaknya tiga variabel yaitu jumlah spesies yang berbeda di dalam sebuah ekosistem, jumlah individu di dalam setiap spesies dan total individu semua spesies di dalam komunitas.

Kehati adalah satu komunitas yang sangat dewasa atau klimaks karena telah berada pada tahap stabil dan akan bertahan terhadap bencana ataupun intervensi manusia. Semakin tinggi keragaman akan semakin tinggi tingkat kestabilannya. Kita bandingkan saja hutan hujan tropis dengan tundra. Hutan hujan tropis akan lebih tahan dan tidak berubah jika mengalami gangguan ketimbang tundra yang jauh lebih rentan terhadap gangguan. Ekosistem yang lebih sederhana seperti pertanian gandum pun sangat rentan terhadap perubahan dan mungkin rusak akibat perubahan faktor abiotik dan biotik seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 9. Perbandingan Kondisi Ekosistem  
(a) Ekosistem sederhana yang rentan terhadap perubahan;  
(b) Ekosistem kompleks yang stabil terhadap perubahan

Tingkat keragaman yang rendah (a) hanya mampu mendukung jejaring makanan yang sederhana, sedangkan tingkat keragaman yang tinggi (b) mampu mendukung jejaring makanan yang lebih kompleks dan membentuk ekosistem yang lebih stabil karena meningkatkan jumlah jaringan di dalam jejaring. Tingkat keragaman di dalam jejaring makanan lebih jelas terlihat pada gambar berikut.



Gambar 10. Jejaring Makanan

### Interaksi Antar Organisme

Di dalam ekosistem, organisme saling berinteraksi. Terdapat banyak interaksi yang berbeda di antara organisme dari spesies yang berbeda. Interaksi tersebut antara lain:

1. Pemangsaan terjadi ketika satu organisme dari spesies pemangsa memburu satu individu dari spesies lain (mangsa) untuk dimakan, contohnya seekor burung murai menangkap cacing atau serigala menyerang dan membunuh seekor kerbau. Interaksi ini menguntungkan si pemangsa, tetapi juga memberi kebaikan untuk

populasi mangsa karena pemangsa hanya memburu yang lemah, sakit dan tua. Pembunuhan ini mengurangi populasi mangsa dan memberi persediaan makanan yang lebih banyak bagi individu yang tersisa. Keuntungan ini terutama pada saat musim dingin atau ketika sumber daya makanan terbatas.

2. Komensalisme adalah sebuah interaksi antara dua spesies dimana salah satu mendapat keuntungan sedangkan yang lain bersifat netral, contohnya bakteri usus manusia yang sifatnya tidak merugikan ataupun menguntungkan. Bakteri tersebut mendapat asupan makanan yang terus menerus di dalam usus.
3. Mutualisme adalah sebuah hubungan yang memberi keuntungan bagi kedua organisme. Contoh klasik dari hubungan ini terjadi pada organisme kecil yang disebut liken. Liken hidup di atas batu, menyerap air hujan dan asupan yang melewati permukaan batu menjadi makanannya. Liken adalah jamur dengan lumut yang hidup bersama di dalamnya, sering disebut dengan hubungan endosimbiosis. Lumut menghasilkan karbohidrat yang dibutuhkan jamur untuk bertahan hidup, dan jamur menyediakan kelembaban dan tempat hidup bagi lumut, dengan demikian, kehidupan keduanya saling memberi keuntungan. Contoh lain dari mutualisme

ketika satu organisme sangat tergantung pada organisme lain untuk bertahan hidup.

4. Kompetisi menggambarkan beberapa spesies yang hidup di relung yang sama sehingga saling bersaing untuk mendapat makanan, air dan sumber daya lingkungan lainnya. Ketika terjadi kompetisi yang buruk di dalam spesies, satu spesies akan menggantikan yang lain, di kasus lain, kompetisi yang sangat tinggi dapat mengurangi sumber daya secara drastis sehingga populasi kedua spesies menjadi sangat berkurang atau tersingkirkan.
5. Parasitisme berarti satu spesies (parasit) hidup pada atau di atas organisme lain sebagai inang. Pada hubungan ini, parasit mengumpulkan makanannya secara perlahan-lahan dari inangnya. Parasit dapat hidup sementara seperti kutu kayu, atau juga bisa hidup lama seperti yang dilakukan oleh cacing pita. Parasit yang hidup lama dapat melemahkan inang bahkan sampai mati, meski jarang terjadi.
6. Netralisme, sesuai dengan namanya, adalah sebuah hubungan yang tidak saling mempengaruhi satu sama lain. Satu organisme hidup sangat dekat dengan organisme lain namun tidak saling memberi pengaruh satu sama lain, contohnya burung pekica yang hidup



dengan keledai di pegunungan yang tidak berhubungan baik secara langsung maupun secara kelihatan.

Ekosistem adalah satu kesatuan yang dinamis dan stabil oleh adanya aliran materi dan energi yang terjadi secara terus menerus melalui jejaring makanan dan interaksi antara makhluk hidup.

### Dampak Manusia terhadap Ekosistem

Manusia adalah bagian dari banyak ekosistem dan dapat mempengaruhi aliran materi dan energi secara nyata. Dampak manusia terhadap ekosistem yaitu:

1. Mengubah komponen biotik dengan cara:
  - a. Memasukkan pesaing. Kita secara berangsur-angsur telah memasukkan spesies asing ke dalam area yang baru yang menyebabkan permasalahan serius akibat pertumbuhan populasi spesies asing yang lebih cepat.  
Contoh: tanaman baru yang dimasukkan ke dalam area yang baru dapat menyaingi spesies yang ada atau kelinci yang dimasukkan ke dalam satu ekosistem akan memakan rumput-rumputan dan mengurangi persediaan makanan bagi domba karena lima ekor kelinci memakan rumput sebanyak satu ekor domba.

b. Mengurangi atau memasukkan pemangsa. Manusia cenderung memburu pemangsa seperti beruang, elang, dan serigala dari habitatnya sehingga menyebabkan pertumbuhan populasi mangsa (seperti serangga, tikus dan rusa) meningkat dan kebutuhan akan asupan rumput meningkat. Dengan demikian, terjadilah kelebihan jumlah herbivora yang tidak diimbangi oleh pertumbuhan rumput sementara pemangsa berkurang banyak jumlahnya sehingga terjadilah kompetisi yang besar antara serangga, tikus dan rusa (mangsa).

Manusia juga terkadang memasukkan pemangsa baru ke dalam satu ekosistem, contohnya ikan pemangsa larva nyamuk untuk mengendalikan malaria. Ikan tersebut juga memakan sangat banyak zooplankton, protista pemakan ganggang yang mengapung. Jumlah zooplankton dan protista yang turun drastis menyebabkan jumlah ganggang meningkat pesat dan menutupi permukaan air sehingga pertumbuhan tanaman air turun drastis akibat kurangnya sinar matahari yang dapat masuk ke dalam perairan.

c. Memasukkan organisme pembawa penyakit (patogen). Patogen, sama seperti organisme lainnya, adalah bagian dari satu ekosistem yang tahan. Namun, manusia tanpa sadar memasukkan patogen ke dalam ekosistem baru

yang tidak mempunyai pengendali alami, sehingga pertumbuhannya pesat dan menimbulkan kerusakan.

Contohnya kentang import (harga jual panen lebih tinggi ketimbang lokal) yang ditanam di dalam satu areal pertanaman. Ternyata kentang tersebut membawa satu jenis jamur penyebab busuk buah yang juga menyerang tanaman kubis dan kentang lokal. Oleh karena tidak adanya pengendali alami di dalam areal pertanaman, maka serangan jamur penyebab busuk buah tersebut semakin parah dan menurunkan produktifitas pertanian.

2. Mengubah komponen abiotik dengan cara:
  - a. Menghasilkan pencemaran. Pencemaran air dan udara menyebabkan lingkungan menjadi tidak nyaman bagi kehidupan banyak organisme. Contohnya, senyawa klorin yang dibuang ke sungai oleh pipa buangan pabrik dapat mematikan ikan; tumpahan minyak di danau, sungai, dan lautan mematikan ikan, reptil, dan burung-burung; pestisida beracun mematikan burung-burung yang memangsa serangga dan ikan yang terkontaminasi; pencemaran panas dari pipa pabrik di bawah laut membunuh ikan dan banyak organisme air pemangsa ikan; peningkatan karbon dioksida di atmosfer menyebabkan perubahan suhu global sehingga mempengaruhi iklim di banyak daerah di dunia yang

mematikan kehidupan ribuan spesies tanaman dan hewan. Masih banyak lagi aktifitas manusia yang membuat lingkungan abiotik menjadi tidak nyaman sehingga mengurangi atau mematikan spesies dan menciptakan ketidakseimbangan ekologi.

- b. Menguras sumber daya. Populasi manusia dapat menguras atau bahkan menghancurkan sumber daya yang digunakan oleh spesies lain. Misalnya, aliran air dari gunung dialihkan untuk mendukung pertumbuhan kota dan menyebabkan banyak jalur air yang kering. Perumahan di pinggir pantai akan mengotori muara dan rawa-rawa.
- c. Menyederhanakan ekosistem. Ketika manusia mengalihfungsikan sebuah hutan menjadi pertanian monokultur, maka di situ jelas terlihat telah terjadi penyederhanaan ekosistem. Kegiatan tersebut telah mengusik komponen lingkungan biotik dan abiotik akibat pengurangan keanekaragaman hayati sehingga menyebabkan ketidakstabilan ekosistem dan akhirnya hancur.

Kehati yang rendah dapat membuat satu ekosistem menjadi lebih rentan terhadap kerusakan. Pertanian monokultur rentan rusak akibat serangan serangga dan tanaman patogen khususnya virus dan jamur. Dukungan

komponen biotik secara keseluruhan dialihkan menjadi sumber makanan bagi pertumbuhan tanaman secara maksimum, sehingga virus, jamur dan serangga menjadi pengganggu yang dominan. Oleh karena pertahanan ekosistem sangat rendah akibat pertanian monokultur, maka manusia mulai menggunakan obat-obatan sintetis (herbisida, fungisida, insektisida) untuk mengendalikan serangan pengganggu supaya tetap menghasilkan produksi yang maksimum. Obat-obatan sintetis tersebut dapat teraliri oleh air maupun udara menuju ekosistem alami dan meracuni makhluk hidup yang menguntungkan entah bagi makhluk hidup lain maupun manusia.

Bagian ini membahas dampak manusia terhadap ekosistem melalui makanan dan aktivitas makan. Pembahasan melibatkan pengetahuan kognitif dan afektif, serta psikomotorik pembaca. Jawabannya membutuhkan imajinasi dan perasaan yang mendalam disertai karakter rendah hati dan jujur dalam penyusunan deskripsi jawaban. Peran faktor biotik yang dimaksud juga mencakup peran manusia yang mengadakan dan mengolah bahan makanan menjadi sepiring santapan.



Gambar 12. Sepiring Makanan

Gambar 11. Interaksi Faktor Abiotik dan Biotik dalam Reaksi Fotosintesis dan Respirasi

æ2...Gambar 11. dan Gambar 12. mempunyai keterkaitan yang sangat erat yaitu pada peran setiap komponen ekosistem (manusia, binatang, tumbuhan, mikro-organisme, lingkungan biotik dan abiotik) yang saling berkesinambungan menghasilkan hidangan yang lezat dan bergizi. Tuliskan beberapa keterkaitan peran yang dapat kamu temukan ketika kamu mencermati Gambar 11. dan Gambar 12. pada lembaran yang tersedia ya!

**Latihan otak (B2)...** Sekarang, pandangi sajian santap siang kamu hari ini. Tuliskan nama sajian milikmu pada lembaran

yang tersedia kemudian tuliskanlah komponen apa saja yang tampak dan tidak tampak dalam sajian santap siangmu dan peran dari masing-masing komponen tersebut!

(Komponen yang tidak tampak misalnya petani, mikroorganisme tanah, dan komponen yang tampak mulai dari diri sendiri, orang yang memasak, beras yang menjadi nasi, dan seterusnya)

**Pengalaman (E2)**...Pernahkah kamu menyantap makanan yang dimasak oleh ibu atau ayah atau salah satu anggota keluarga di rumah? Ketika kamu menyantap makanan yang sama yang dibeli di luar rumah, apakah rasanya sama atau dapatkah kamu menemukan rasa yang berbeda? Tuliskan cerita pengalaman tentang sensasi rasa itu pada lembaran terpisah ya!

**Baper (F3)**...Ketika diberi pilihan, manakah yang kamu pilih, makan sendiri atau makan bersama keluarga di rumah atau makan bersama keluarga di luar rumah atau makan bersama teman-teman di tempat biasa? Tuliskan pilihanmu (mulai dari pilihan yang paling favorit sampai pilihan terakhir yang terpaksa) beserta alasannya ya pada lembaran yang terpisah!

~~~Sekarang kamu boleh menikmati sajian santap siangmu.

Selamat makan!!! Yummmm...~~~

Akhir dari perjalanan Bagian 1 adalah pembaca mampu mengkarakterisasi aspek kehidupan dan relasi dalam sepiring makanan yang disantap dalam kehidupan sehari-hari. Karakterisasi tersebut diharapkan terus terjadi secara berkelanjutan sehingga dapat menimbulkan perasaan menghormati terhadap peran semua komponen yang terlibat dalam penyajian sepiring makanan. Penghormatan dalam porsi yang wajar dalam sepiring makanan pada Bagian 2 bermaksud untuk mengajak pembaca terlibat aktif mencapai kualitas hidup yang sesuai dengan kebutuhan dan kemampuannya.

BAGIAN 2. PENGHORMATAN DALAM PORSI YANG WAJAR KETIKA MAKAN

Penghormatan diberikan kepada setiap komponen yang menjalankan perannya dalam penyusunan komposisi tubuh manusia dan piramida makanan GERMAS. Oleh karena sasaran utama pembaca utama buku Kimia Bahan Makanan adalah remaja tengah, maka angka kecukupan gizi yang digunakan sebagai rujukan yaitu angka kecukupan gizi menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 75 Tahun 2013 tentang Angka Kecukupan Gizi yang Dianjurkan Bagi Bangsa Indonesia, misalnya untuk remaja usia 16-18 tahun yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Angka Kecukupan Gizi (per orang per hari) untuk Remaja usia 16-18 tahun

| Gizi Makro | | | | Gizi Mikro | | | |
|-------------------|-------|------|------|------------------------------|-----|----------------|------|
| | | | | Vitamin | | Mineral | |
| Berat badan (kg) | | 56 | 50 | Vitamin A (mcg) | 600 | Kalsium (mg) | 1200 |
| Tinggi badan (cm) | | 165 | 158 | Vitamin D (mcg) | 15 | Fosfor (mg) | 1200 |
| Energi (kkal) | | 2675 | 2125 | Vitamin E (mg) | 15 | Magnesium (mg) | 220 |
| Protein (g) | | 66 | 59 | Vitamin K (mcg) | 55 | Natrium (mg) | 1500 |
| Lemak (g) | Total | 89 | 71 | Vitamin B1 (mg) | 1,3 | Kalium (mg) | 4700 |
| | n-6 | 16 | 11 | Vitamin B2 (mg) | 1,6 | Mangan (mg) | 1,6 |
| | n-3 | 1,6 | 1,1 | Vitamin B3 (mg) | 15 | Tembaga (mcg) | 890 |
| Karbohidrat (g) | | 368 | 292 | Vitamin B5 (Pantotenat) (mg) | 5 | Kromium (mcg) | 24 |
| Serat (g) | | 37 | 30 | Vitamin B6 (mg) | 1,3 | Besi (mg) | 26 |

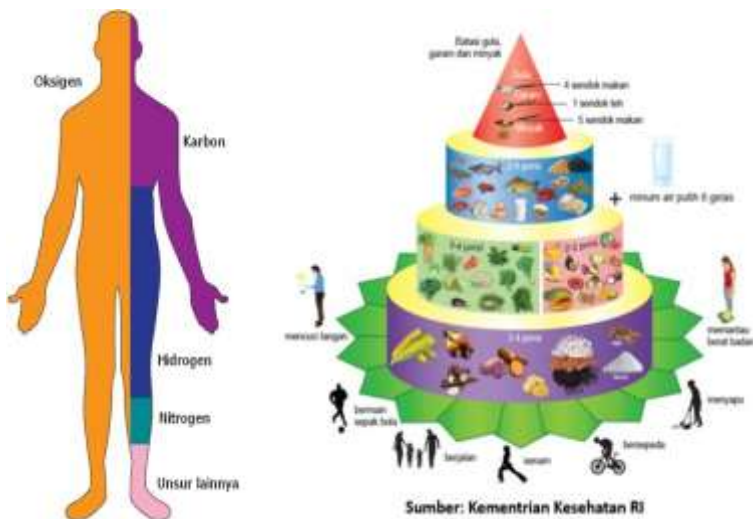
| | | | | | | | | |
|----------|--|----------|----------|-------------------|---------|---------|-------------------|---------|
| Air (mL) | | 22
00 | 21
00 | Folat (mcg) | 40
0 | 40
0 | Iodium
(mcg) | 15
0 |
| | | | | Vitamin B12 (mcg) | 2,
4 | 2,
4 | Seng (mg) | 14 |
| | | | | Biotin (mcg) | 30 | 30 | Selenium
(mcg) | 30 |
| | | | | Kolin (mg) | 55
0 | 42
5 | Fluor (mg) | 2,5 |
| | | | | Vitamin C (mg) | 90 | 75 | | |

Sumber: Lampiran Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 75 Tahun 2013 tentang Angka Kecukupan Gizi yang Dianjurkan Bagi Bangsa Indonesia

Gerakan Masyarakat Sehat (GERMAS) adalah program Gerakan Nasional Sadar Gizi (GNSG) untuk mendukung ketahanan pangan, sekaligus mencapai kehidupan sehat dan sejahtera. Tujuan program GNSG secara umum untuk menciptakan norma social masyarakat Indonesia supaya menerapkan pola konsumsi makanan yang seimbang dan aktivitas fisik yang teratur dan terukur. Secara khusus, program GNSG bertujuan untuk:

1. Meningkatkan pengetahuan, sikap dan perilaku masyarakat tentang pola konsumsi makanan yang beragam, bergizi seimbang, dan aman;
2. Membudayakan masyarakat untuk melakukan aktivitas fisik yang teratur dan terukur;
3. Meningkatkan kerjasama dan dukungan para pemangku kepentingan yang strategis (pemerintah, swasta, dan masyarakat) dalam pengembangan dan penerapan norma sosial pola konsumsi makanan dan aktivitas fisik.

Bagian ini bermaksud mengajak pembaca untuk mengidentifikasi kebutuhannya baik kebutuhan fisik maupun non fisik dalam rangka memberikan penghormatan dalam porsi yang wajar ketika makan. Secara berangsur, penghormatan dalam porsi yang wajar dapat membangun literasi kimia sebagai dukungan positif untuk mencapai manusia sehat (*good health*) dan sejahtera (*wellbeing*).



Gambar 13. Komposisi Tubuh Manusia (kiri); Piramida Makanan GERMAS (kanan)

æ3...Ketika kamu mencermati Gambar 13., bagaimana pendapat kamu tentang perbandingannya pada sajian santap siang yang tadi kamu nikmati? Apakah makananmu tadi dapat memenuhi kebutuhan tubuhmu seperti yang tampak

pada Gambar 13. kiri? Lalu, Gambar 13. kanan, apakah kamu setuju dengan piramida tersebut? Tuliskan cerita singkat tentang pendapatmu pada lembaran yang tersedia ya!

Pengalaman (E3)...Berdasarkan pengalaman hidup kamu, apakah ada alasan khusus kamu untuk memilih makanan dan berapa banyaknya yang akan dimakan? Tuliskan semua alasan kamu pada lembaran yang tersedia ya!

Sekarang kita lanjut mencermati Tabel 2. yang menyajikan persentase dan fungsi unsur kimia dalam tubuh manusia.

Tabel 2. Persentase dan Fungsi Unsur Kimia dalam Tubuh Manusia

| Unsur | % dlm tubuh manusia | Sumber | Fungsi |
|-------------|---------------------|---|---|
| Oksigen (O) | 65 | Daging, ikan, buah-buahan, air mineral | <ul style="list-style-type: none"> • Pelarut primer • Pengatur suhu & tekanan osmotik |
| Karbon (C) | 18 | Makanan yang mengandung karbohidrat, protein, dan lemak | <ul style="list-style-type: none"> • Sumber energi • Pembangun massa tubuh |
| Hidrogen | 10 | Air mineral, | <ul style="list-style-type: none"> • Ada dalam air dan |

| | | | |
|---------------|------|---|--|
| (H) | | tomat, alpukat | semua molekul organik |
| Nitrogen (N) | 3 | Kacang tanah, bayam, daging | <ul style="list-style-type: none"> • Ditemukan dalam protein dan asam nukleat |
| Kalsium (Ca) | 1.5 | Susu, sayuran hijau, kacang dan biji-bijian | <ul style="list-style-type: none"> • Sangat penting untuk kontraksi otot |
| Pospor (P) | 1.0 | Daging, ikan, bawang putih, susu, kentang, kacang | <ul style="list-style-type: none"> • Bertindak sebagai penyangga • Penyokong kekuatan dan struktur tulang dan gigi |
| Potassium (K) | 0.35 | Pisang, kentang, kacang, alpukat, pepaya, melon, ikan | <ul style="list-style-type: none"> • Elektrolit yang sangat penting • Membantu penyebaran dorongan saraf • Mengatur detak jantung |
| Sulfur (S) | 0.25 | Telur, daging merah, bawang, makanan laut | <ul style="list-style-type: none"> • Memberi bentuk pada protein yang membantu berfungsinya protein dengan baik |
| Sodium (Na) | 0.15 | Garam, asinan, kecap, keju | <ul style="list-style-type: none"> • Elektrolit yang penting untuk mengatur jumlah air • Membantu kerja saraf |
| Magnesium | 0.05 | Pisang, | <ul style="list-style-type: none"> • Dibutuhkan dalam |

| | | | |
|--|---------------------------|---|---|
| (Mg) | | kacang, ikan, sayuran hijau | <p>lebih dari 300 reaksi biokimia</p> <ul style="list-style-type: none"> • Membangun otot dan tulang • Kofaktor kepala dalam banyak reaksi enzimatik |
| Besi (Fe) | 0.006 | Sayuran hijau, makanan laut | <ul style="list-style-type: none"> • Membantu produksi darah |
| Tembaga (Cu), Seng (Zn), Selenium (Se), Molybdenum (Mb), Fluor (F), Yodium (I), Mangan (Mn), Kobalt (Co) | Totalnya kurang dari 0.70 | Air mineral, telur, jamur, keju, oat, daging ayam, daging hati, makanan laut, coklat, kacang-kacangan, sayuran berdaun, teh, kopi, rumput laut, garam beryodium | <ul style="list-style-type: none"> • Tembaga adalah zat gizi mikro untuk pertumbuhan dan perkembangan, dan juga penting untuk berbagai fungsi metabolisme; • Seng berperan penting dalam pertumbuhan sel, pembelahan sel, penyembuhan luka, dan pemecahan karbohidrat; • Selenium melindungi tubuh dari kerusakan oksidatif; • Molibdenum menghilangkan racun dari metabolisme sulfur yang mengandung asam amino; • Fluor bertanggung jawab untuk mineralisasi dan |

| | | | |
|-------------------------|-------------|--|--|
| | | | <p>pembentukan enamel gigi;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Yodium sangat penting untuk pembentukan hormon tiroid; • Mangan membantu dalam pembentukan jaringan ikat, tulang, faktor pembekuan darah, hormon seks selain menjadi penting dalam metabolisme lemak dan karbohidrat, penyerapan kalsium, dan regulasi gula darah; • Kobalt membantu menyerap dan memproses vitamin B12, mengobati penyakit anemia dan penyakit menular tertentu, memperbaiki mielin (dinding sel saraf), mengatur dan merangsang produksi beberapa enzim, seperti tiroksin, hormon tiroid. Tubuh dapat menggunakan kobalt sebagai pengganti seng. |
| Lithium (Li), Strontium | Hadir dalam | | <ul style="list-style-type: none"> • Lithium sangat penting untuk |

| | | | |
|--|-----------------|--|---|
| (Sr),
Aluminium
(Al), Silicon
(Si), Timbal
(Pb), Arsen
(As),
Vanadium
(V), Brom
(Br) | jumlah
jejak | | <p>menjaga kesehatan neurologis;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Strontium membantu pembentukan tulang dan mencegah keropos tulang. Bentuk radioaktif dari strontium juga dapat membunuh beberapa sel kanker; • Aluminium bertanggung jawab atas pematangan kromatin; • Silikon membantu meningkatkan kekencangan dan kekuatan dalam arteri, jaringan ikat, tendon, kulit, dan mata; • Vanadium berperan dalam metabolisme enzim; • Brom dalam jumlah yang tepat dapat mengatur siklus seksual dan mempengaruhi fungsi sistem saraf pusat. Suplemen bromin dapat meningkatkan kesehatan pasien dengan dialisis atau nutrisi parenteral total. |
|--|-----------------|--|---|

Sumber: Widdowson, McCance, & Spray (1951)

Latihan otak (B3)...Coba kamu ingat-ingat lagi, tadi komponen apa saja yang ada dalam sajian santap siangmu (boleh lihat jawaban yang berkode **B2**). Nah, sekarang lihat Tabel 1., tulislah pada lembaran yang tersedia unsur kimia apa saja yang masuk ke dalam tubuhmu ketika tadi kamu menyantap makananmu dan apa fungsi unsur kimia tersebut bagi tubuhmu!

Latihan otak (B4)...Selain reaksi kimia fotosintesis dan respirasi, coba identifikasi reaksi kimia apa saja yang mungkin terjadi setelah kamu santap siang tadi (gunakan *smartphone*-mu dan ketik di *search* “contoh reaksi kimia dalam tubuh manusia”) dan tulislah reaksi kimia tersebut (dalam keadaan setara, jika mampu) pada lembaran yang terpisah!

Pengalaman (E4)...Pernahkah kamu menonton konten media sosial misalnya youtube atau instagram tentang makanan atau minuman yang dioplos dengan bahan-bahan kimia sintetis (buatan pabrik)? Apakah kamu pernah merasa khawatir untuk membeli makanan atau minuman tersebut? Bagaimanakah rasanya? Tuliskan pengalaman tentang sensasi rasa itu pada lembar yang tersedia ya!

Baper (F4)...Bayangkan jika kamu berhasil menanam sendiri sayuran dan buah favoritmu hingga satu hari kamu memanennya dan memakannya, kira-kira, apakah yang kamu rasakan ketika kamu memakan sayuran atau buah favoritmu? Akan dapatkah kamu merasakan sensasi rasa tenang ketika memakan sayuran atau buah favoritmu yang kamu tanam sendiri? Apakah rasanya akan sama dengan sayuran atau buah favoritmu yang dibeli di pasar atau supermarket? Tuliskan cerita singkat tentang bayangan sensasi rasa kamu di lembar yang tersedia ya!

*****MARI BANGUN BANGSA MULAI
DARI TUBUH YANG SEHAT DAN
KUAT*****

Pada bagian akhir ini, penulis mengharapkan pembaca, terutama remaja tengah, mampu menentukan jenis motivasi apa yang menjadi pendorong terbangunnya perilaku pro-lingkungan hidup setelah melalui perjalanan yang tersajikan dalam buku Kimia Bahan Makanan. Perilaku manusia umumnya merupakan hasil interaksi individu dengan kehidupan sosialnya yang diperoleh melalui percampuran warisan budaya sebagai pengatur dan penilai perilaku. Perilaku yang demikian terjadi secara tidak spontan dan tidak memberikan kepuasan yang melekat.

Perilaku manusia yang terjadi melalui belajar sambil bekerja mengikuti peraturan dan hukum sosial, kemudian berlanjut dalam praktek perilaku masyarakat sangat berbeda dengan motivasi yang berasal dari dalam. Akan tetapi, beberapa perilaku tertentu yang diperoleh dari masyarakat menjadi sangat penting bagi individu agar dapat bersosialisasi dan berbaur di dalam budaya yang lebih besar.

Gagasan tentang mayoritas perilaku manusia diatur, setidaknya dipermulaannya, oleh faktor dari luar diri adalah kunci pembentuk kedua dalam SDT yaitu motivasi yang berasal dari luar. Teori penentuan nasib diri (SDT) menguraikan empat jenis utama motivasi yang berasal dari luar secara luas terhadap pengaturan perilaku yang

diinternalisasi selanjutnya membentuk kebebasan pribadi. Keempat jenis utama pengaturan tersebut adalah:

1. Pengaturan dari luar yaitu jenis motivasi yang berasal dari luar paling kecil kebebasannya, oleh individu yang berperilaku untuk mendapat hadiah atau menghindari hukuman dari luar, misalnya orang membeli produk hemat energi karena pemerintah memberi insentif.
2. Pengaturan rujukan terjadi pada orang yang bertindak untuk menghindari perasaan bersalah atau penolakan, atau untuk meminta persetujuan atau meningkatkan kepercayaan dirinya. Pengaturan rujukan terjadi pada orang yang membeli produk hemat energi untuk menghindari penolakan dari keluarga atau teman.
3. Pengaturan teridentifikasi yaitu jenis motivasi yang berasal dari luar yang paling bebas kedua, terjadi pada orang yang secara sadar menerima tujuan atau hasil sebagai kepentingan pribadi, namun belum terintegrasi sebagai bagian dari identitas dan diri mereka. Misalnya seseorang memilih produk hemat energi karena dia percaya kepada dorongan untuk mengurangi jejak karbon, padahal kepercayaan dan perilakunya tidak semua konsisten atau selaras dengan dorongan tujuan tersebut.

4. Pengaturan terintegrasi dinyatakan sebagai jenis motivasi yang berasal dari luar yang paling bebas, terjadi ketika seseorang mengidentifikasi dirinya ke dalam pengaturan perilaku atau tujuan itu sendiri, dan melakukannya dengan kesadaran yang penuh dan kehendak yang sepenuh hati. Misalnya seorang membeli produk hemat energi untuk mengurangi dampak kepada lingkungan sebagai nilai, gaya hidup, dan identitas pribadi. Pengaturan ini tampaknya terinternalisasi, namun sumbernya tetap berasal dari luar diri sendiri.

Selain motivasi yang berasal dari dalam, pengaturan terintegrasi dan pengaturan teridentifikasi secara bersama paling kuat membentuk internalisasi dan kehendak yang sepenuh hati, SDT memasukkan keduanya dalam kategori motivasi bebas. Pengaturan rujukan dan pengaturan dari luar secara bersamaan disebut motivasi terkendali yang menjadi penentu perilaku yang berasal dari luar diri atau dibentuk oleh pengalaman tertentu. Kategori ketiga dalam SDT yaitu amotivasi, perilaku yang ditunjukkan oleh ketiadaan motivasi dan pengaturan perilaku atau perilaku dibawah pengaruh tertentu (misalnya perilaku pecandu narkoba). Ketiga kategori SDT tersebut diperlihatkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Kategori Motivasi dalam Skema Teori Penentuan Nasib Sendiri (SDT)

| Jenis Motivasi | Jenis Pengaturan | Lokus Kausalitas | Kategori Umum |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| Motivasi intrinsik | Pengaturan intrinsik | Internal | Otonom |
| Motivasi ekstrinsik | Pengaturan terintegrasi | Sesuatu yang internal | Otonom |
| | Pengaturan teridentifikasi | Sesuatu yang internal | Otonom |
| | Pengaturan rujukan | Sesuatu yang eksternal | Terkendali |
| | Pengaturan dari luar | Eksternal | Terkendali |
| Tidak termotivasi | Tidak ada pengaturan | Impersonal (bersifat umum) | Tidak termotivasi |

Diadaptasikan dari Deci dan Ryan (2000)

Akhirnya, sampai di sinilah petualangan kimia bahan makanan ini. Saya yakin kamu pasti lelah, dan mudah-mudahan kamu mendapat sensasi senang ketika menggunakan modul belajar ini.

Jika kamu masih berkenan, bolehlah tuliskan pendapat kamu tentang buku ini ya! Membosankankah? Membuatmu tergerakkah? Atau pendapat lain yang ingin kamu berikan, entah itu kritikan atau masukan, silahkan ditulis pada lembaran yang tersedia ya!

Terakhir saya lampirkan 7 Refleksi Sebelum Makan. Refleksi ini dapat membantu kamu mendapat pengalaman baru ketika kamu menyantap makananmu. Jangan dihapal, cukup dibaca iseng-iseng saja.

7 REFLEKSI SEBELUM MAKAN

1. Sepiring makanan kita adalah alam semesta. Para petani, pedagang, ibu dapur, bahkan cacing, mikroba, sinar matahari, mineral, seluruhnya bekerja sama sehingga makanan ini hadir di hadapan kita.

2. Mari berkeadilan, makan secukupnya dan dihabiskan karena menyisakan makanan sama dengan mencuri hak orang miskin dan yang kelaparan.
3. Mari berkesadaran, kunyah perlahan-lahan.
4. Mari bersyukur, rasakan setiap keajaiban rasa yang hadir di lidah kita.
5. Semoga makanan kita, penuh dengan welas asih dan tidak di atas penderitaan makhluk lain.
6. Mari kita rasakan makan bersama dengan penuh rasa persaudaraan.
7. Setelah piring kita kosong, pandangi piring kosong, berterima kasih kepada setiap tokoh yang terlibat dan makanan yang masuk ke dalam tubuh kita sudah bertransformasi menjadi diri kita.

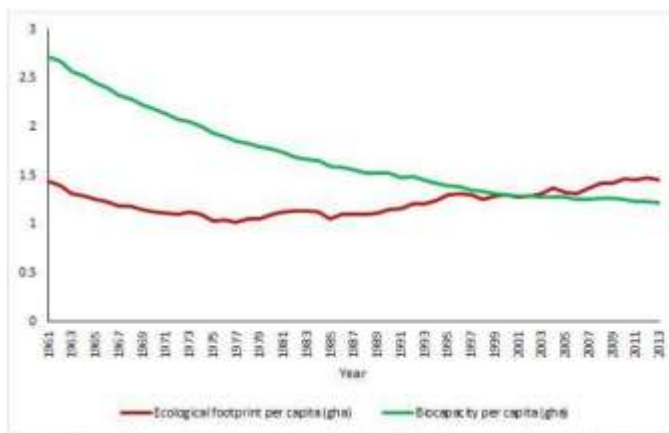
**~~~TERIMA KASIH ATAS KERJA KERAS
DAN SEMANGATNYA~~~**

Mengapa harus konsumsi bahan makanan yang beragam?

Pertanyaan tersebut pasti masih terlintas dalam benak kita. Berikut adalah penjelasan secara singkat terkait alasannya. Ada dua kondisi Indonesia yang menjadi pertimbangan utama untuk perilaku konsumsi bahan makanan yang beragam yaitu: (1) jejak ekologis Indonesia sebagai negara kepulauan; dan (2) kondisi keanekaragaman hayati di Indonesia.

1) Jejak ekologis Indonesia sebagai negara kepulauan.

Jejak ekologis Indonesia dibatasi oleh kemampuan kondisi geografis Indonesia yang merupakan negara kepulauan dalam pemenuhan kebutuhan populasi yang pada tahun 2018 sudah mencapai 266,79 juta dan tren pertumbuhan populasi tersebut masih meningkat terutama karena penerapan kebijakan pemerintah Indonesia terhadap pengendalian penduduk masih bersifat sektoral. Oleh karena itu, kajian Riyan Subekti dan Djoko Suroso (2018) menggambarkan bahwa terjadi peningkatan eksponensial pada eksploitasi sumber daya alam dan lingkungan, sedangkan di sisi lain, daya dukung dan daya tampung bumi Indonesia mengalami penurunan seperti yang disajikan dalam Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Peningkatan Jejak Ekologis dan Penurunan Biokapasitas per Kapita (daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup)

Jejak ekologis merupakan sebuah model perhitungan terhadap kemampuan jasa lingkungan hidup (daya dukung dan daya tampung) untuk memenuhi kebutuhan manusia yang mencakup kebutuhan energi, pangan, industri, dan sosial budaya, seperti yang disajikan dalam Gambar 15. Jejak ekologis adalah nilai-nilai yang dinyatakan dalam satuan hektar secara global mencakup daratan dan lautan yang diperlukan untuk menyediakan (atau regenerasi) layanan ekosistem setiap tahun seperti: lahan pertanian untuk penyediaan makanan nabati dan produk serat; tanah penggembalaan dan lahan pertanian untuk produk hewan; lahan perikanan (laut dan darat); hutan untuk kayu dan hasil hutan lainnya; tanah serapan untuk mengakomodasi

penyerapan karbondioksida antropogenik (jejak karbon), dan wilayah terbangun (*built-up area*) untuk tempat tinggal dan infrastruktur lainnya. Jika merujuk pada Gambar 14, maka jejak ekologis rata-rata penduduk Indonesia sudah melebihi biokapasitas global sehingga terjadi defisit ekologis yang berdampak pada penurunan kualitas lingkungan hidup.



Gambar 15. Jejak Ekologis

Jejak ekologis menjadi salah satu konsep dari implikasi teori ekonomi untuk mengukur keberlanjutan ekologis. Konsep jejak ekologis berlandaskan pada Hukum Pertama Termodinamika atau Hukum Konservasi Materi dan Energi yang menyatakan bahwa dalam sistem tertutup jumlah total massa atau energi akan tetap sama, meskipun salah satu

massa atau energi tersebut mungkin telah berubah menjadi bentuk lain. Artinya, jika energi di dalam suatu bentuk atau tempat menghilang, jumlah yang sama harus muncul dalam bentuk lain atau di tempat lain. Sehingga, meskipun transformasi dapat mengubah distribusi jumlah energi di antara berbagai bentuknya, namun jumlah total energi, ketika semua bentuk diperhitungkan, akan tetap sama. Hal inilah yang dimaksud dengan materi dan energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan.

Hukum pertama telah memberikan dasar teoritis, yaitu prinsip keseimbangan energi untuk perhitungan penggunaan sumber daya. Ayres (1978) menyatakan bahwa prinsip keseimbangan energi adalah bagian nilai total bahan dan energi yang diambil dari lingkungan alam sebagai bahan baku harus seimbang dengan jumlah total bahan dan energi yang kembali ke lingkungan sebagai arus limbah, dikurangi akumulasi dalam bentuk saham/modal sumberdaya alam dan produk persediaan. Hukum Kedua Termodinamika (Hukum Entropi atau Hukum Peningkatan Entropi). Entropi adalah ukuran penyebaran panas atau bahan (pada tingkat molekuler). Sebuah entropi s dari panas misalnya, dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut: $s = q/T$ (kilokalori/Kelvin) dengan nilai panas q kilokalori dan pada $T^{\circ} K$.

William Rees (1992) menjelaskan interpretasi modern terhadap hukum kedua termodinamika yaitu bahwa entropi dari setiap sistem yang terisolasi secara spontan akan meningkat. Artinya, konsentrasi materi tersebar, energi yang tersedia tidak teratur, gradien menghilang, dan urutan yang struktural dan integritas akan rusak. Akhirnya, ada suatu titik di dalam sistem yang dapat dibedakan dari yang lain. Dengan demikian, hukum kedua termodinamika dapat berimplikasi pada aktivitas manusia.

Aktivitas (ekonomi) manusia sangat kompleks, jauh dari ekuilibrium, dan mengorganisir sistem sendiri, sama seperti sistem kehidupan yang lain. Dengan demikian, perekonomian manusia (human economy) juga tunduk pada hukum kedua termodinamika. Perbedaan utama antara ekonomi manusia dan sistem hidup lainnya adalah bahwa ekonomi manusia tidak hanya melakukan metabolisme biologis, tetapi juga metabolisme industri. Implikasi umum dari hukum kedua termodinamika untuk ekonomi manusia sebagai berikut: energi memasuki proses ekonomi dalam keadaan entropi rendah dan keluar dari sistem itu dalam keadaan entropi tinggi. Atau dengan kata lain, konsumsi pada umumnya setara dengan timbulnya entropi dan produksi selalu diikuti dengan konsumsi yang menyebabkan terjadinya peningkatan entropi pada sistem tertentu secara keseluruhan. Sepanjang

sisi proses pembuatan yang diinginkan terus terjadi, maka penciptaan produk limbah atau emisi entropi tinggi ke lingkungan selalu terjadi.

Setelah energi/bahan bakar dibakar, entropi tinggi limbah panas dan asap akan dipancarkan ke lingkungan. Kita tidak dapat dengan mudah mengubah mereka kembali ke bentuk asli entropi rendah, sehingga membutuhkan adanya tambahan entropi energi rendah dan materi yang akan secara bersamaan menyebabkan peningkatan lebih lanjut entropi secara total. Kondisi inilah yang disebut sebagai gambaran keseimbangan energi yang menentukan keberlanjutan kelangsungan hidup manusia.

Keseimbangan energi hanya mungkin terjadi apabila ekosfer memiliki sistem satu tingkat lebih tinggi dari pada sistem kehidupan manusia sehingga mampu menyediakan pendukung kehidupan dan layanan yang sangat diperlukan bagi manusia. Layanan tersebut meliputi penyediaan energi dengan entropi rendah, dan penyerapan limbah dengan entropi tinggi. Interpretasi modern terhadap hukum entropi menyatakan bahwa ekonomi hanyalah satu tingkat di dalam hirarki sistem di mana kelangsungan hidup setiap sub sistem tergantung pada produktivitas sistem di atasnya. Hubungan ini tidak akan bermasalah, baik bagi ekonomi atau ekosfer,

selama konsumsi bahan dan limbah yang dihasilkan tidak secara signifikan melebihi produksi sumber daya dan asimilasi limbahnya.

Namun, ketika keseimbangan energi hilang, maka muncullah masalah lingkungan karena limbah dengan entropi tinggi sering mengganggu fungsi modal alam dan menghambat layanan pendukung kehidupan yang diberikan oleh udara, air, dan tanah. Polusi juga menghambat kemampuan modal buatan manusia untuk memberikan pelayanannya. Dengan demikian, prinsip keseimbangan energi jelas berlandaskan pada hukum kedua termodinamika, dan merupakan keharusan yang sangat penting bagi aspek keberlanjutan. Jika tidak, kegiatan manusia tidak akan dapat bertahan akibat berkurangnya kemampuan ekosfer dalam penyediaan jasa pendukung kehidupan.

2) Indonesia mempunyai keanekaragaman hayati tertinggi kedua setelah Brazil.

Artinya, bumi Indonesia mempunyai kelimpahan pada jenis, bukan pada kuantitas individu, sehingga perilaku konsumsi yang tidak beragam menjadi ancaman terbesar terhadap kepunahan individu dalam jejaring makanan yang ditopang oleh keanekaragaman hayati dan berdampak pada penurunan

kualitas daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup. Oleh karena itu, kreatifitas di bidang industri pengolahan bahan pangan yang berbasis pada keanekaragaman jenis bahan baku menjadi pondasi penting dalam pemenuhan kebutuhan gizi makro dan mikro manusia Indonesia, misalnya pembuatan produk otak-otak yang menggunakan tepung ikan yang jenisnya beragam, penggunaan beragam jenis umbi untuk produk tepung yang digunakan dalam berbagai jenis makanan seperti mie, roti, kue, dll. Sehingga, pengembangan produk makanan berbasis keanekaragaman hayati menjadi salah satu solusi bagi keseimbangan energi dalam aktivitas manusia sebagaimana telah dijelaskan pada No. 1 terkait implikasi hukum kedua termodinamika.

Berikut adalah beberapa pertanyaan yang dapat membantu kita mengukur jejak ekologis:

- 1) Seberapa sering saya makan daging atau ikan, apakah lebih dari sekali sehari, atau kurang dari sekali dalam seminggu?
- 2) Seberapa sering saya membeli produk organik untuk daging, sayur, dan juga produk susu?
- 3) Seberapa sering saya membeli produk lokal untuk daging, sayur, dan susu?
- 4) Kendaraan apa yang saya miliki, yang sering digunakan untuk bepergian, mobil atau motor?

- 5) Berapa jam saya menggunakan motor atau mobil sendiri?
- 6) Seberapa sering saya menggunakan kereta, bis, dan alat transportasi umum lainnya?
- 7) Berapa jam yang saya gunakan dalam setahun ini untuk perjalanan lewat udara?
- 8) Berapa banyak orang yang tinggal di rumah saya?
- 9) Bagaimana cara saya menyejukkan rumah?
- 10) Apakah saya mematikan lampu dan alat-alat listrik lainnya saat tidak digunakan, atau hanya mengubah dalam posisi *standby*?
- 11) Apa perlengkapan rumah yang membutuhkan tenaga listrik yang saya beli dalam 12 bulan terakhir ini?
- 12) Berapa rupiah yang saya bayar untuk konsumsi air dalam aktivitas mandi, menyiram tanaman, dan sebagainya?
- 13) Sampah macam apa yang saya daur ulang?

Selanjutnya adalah beberapa usaha yang dapat kita lakukan untuk mengendalikan jejak ekologis kita sebagai berikut:

- 1) Mengurangi jejak karbon dengan cara:
 - a) Menggunakan transportasi yang bersih, misalnya berjalan kaki, bersepeda atau menggunakan angkutan umum, mematikan mesin kendaraan jika menunggu lebih dari 30 detik, mengganti transportasi pesawat dengan bus atau kereta api jika jarak tempuh dekat.

- b) Menambahkan perlengkapan untuk simpanan energi di rumah, misalnya menggunakan lampu *fluorescent* yang rendah merkuri, memilih genteng rumah yang sesuai cuaca, membatasi penggunaan pemanas air, memilih energi yang efisien.
 - c) Mengadopsi kebiasaan menyimpan energi, misalnya melepaskan kabel steker alat elektronik saat tidak digunakan, mengeringkan pakaian di terik matahari, memilih peralatan elektronik yang ramah lingkungan;
- 2) Mengurangi jejak makanan, dapat dilakukan dengan cara misalnya: makan makanan lokal, organik dan musiman, membeli bahan makanan dari petani lokal atau pasar tradisional, pilih makanan yang memiliki sedikit kemasan untuk mengurangi sampah;
- 3) Mengurangi jejak perumahan dengan cara:
- a) Memilih material bangunan, perlengkapan dan produk pembersih yang berkelanjutan, misalnya dengan cara: membangun rumah dengan konsep *green design* (melengkapi rumah dengan alat daur ulang air dan sampah serta adanya area tangkapan air hujan), memilih peralatan yang efisien energi, menggunakan produk yang bersifat *biodegradable* dan non-toksik.
 - b) Mengadopsi kebiasaan menyimpan air, misalnya dengan cara: penggunaan mesin pencuci piring dan

pakaian pada saat banyak cucian, cuci kendaraan ditempat pencucian yang efisien menggunakan air;

- 4) Mengurangi jejak barang dan pelayanan, dapat dilakukan dengan cara misalnya: beli produk yang memang benar-benar dibutuhkan, daur ulang seluruh bahan seperti kertas, kaca, aluminium dan plastik, buat pupuk kompos dari sisa makanan, beli produk-produk yang dapat didaur ulang.

Pertanyaan dan usaha tersebut akan bertambah seiring dengan meningkatnya kualitas kesadaran dan perilaku pro-lingkungan hidup manusia dalam perannya sebagai individu dalam ekosistem. Kesadaran dan perilaku pro-lingkungan hidup tersebut harus dapat terinternalisasi sebagai karakter manusia yang terjadi pada saat manusia memasuki periode tugas perkembangan remaja tengah dalam kurun waktu yang sangat singkat yaitu hanya 4 tahun dari siklus hidup manusia yang mencapai 71 tahun yang menjadi angka harapan hidup di Indonesia.

Apakah yang dimaksud dengan ecological citizenship?

Pertanyaan terakhir tentu terkait *ecological citizenship* (kewargaan ekologis) karena memang tujuan penyusunan buku Kimia Bahan Makanan adalah untuk membangun kewargaan ekologis, khususnya pada remaja tengah. Buku ini akan menjelaskan secara singkat terkait kewargaan ekologis.

Pertama kali, tentunya atas pertimbangan bahwa daya dukung dan daya tampung bumi dalam melakukan layanannya dalam keadaan terbatas dan membutuhkan waktu yang relatif lama untuk pulih dari dampak aktivitas manusia. Di sisi lain, aktivitas manusia tumbuh secara eksponensial searah dengan tren pertumbuhan populasi yang meningkat. Sehingga, manusia perlu melakukan sesuatu untuk mengendalikan penurunan kualitas daya dukung dan daya tampung bumi, salah satunya dengan cara menjadi warga ekologis.

Ecological citizenship (Kewargaan ekologis) mempunyai keutamaan adil yaitu memastikan terjadinya distribusi ekologis yang adil melalui praktik-praktik ramah lingkungan yang dianggap sebagai tanggung jawab individu dan politik dalam rangka merawat lingkungan hidup yang diteruskan dan berlanjut ke generasi berikutnya. Hal ini berarti bahwa kewajiban warga ekologis tidak terbatas pada ruang publik,

melainkan diperluas ke dalam kehidupan pribadi. Kewargaan ekologis harus menjalani teladan dalam gaya hidup yang berkelanjutan dan meyakinkan bahwa jejak ekologis tidak akan menghalangi kehidupan yang berkualitas bagi generasi saat ini dan mendatang (Bartkienė, Bikauskaitė dan Šaulauskas, 2018).

Pengembangan kewargaan ekologis diawali oleh keinginan mendalam manusia untuk terhubung dengan alam (Grabs, 2018) untuk dapat menerima bahwa tanggung jawab individu terhadap kesehatan ekosistem dan perannya dalam lingkungan hidup global melalui perilaku pro-lingkungan hidup dan peran serta dalam sistem politik untuk memastikan lingkungan hidup yang sehat bagi generasi masa depan. Dengan kata lain, kewargaan ekologis adalah kombinasi perilaku pro-lingkungan hidup dan peran serta publik dalam proses politik (Dobson, 2003; Torbjörnsson dan Molin, 2014; Symons dan Karlsson, 2018).

Keinginan mendalam manusia untuk terhubung dengan alam yang dimaksud oleh Grabs (2018) dapat dibangun dengan cara menstimulasi otak dengan berbagai pengalaman dalam pembelajaran terutama yang berkaitan dengan keadaan alam dan lingkungan hidup yang membuat dirinya merasa nyaman dan sehat (Ruperti *et al.*, 2020). Pendidikan yang berada

dalam arus utama pengalaman pembelajaran yang mendekatkan alam dengan kehidupan sehari-hari secara lebih lanjut dapat membentuk kecerdasan ganda, khususnya kecerdasan inter-personal.

Pengalaman pembelajaran tersebut dimulai sejak pendidikan usia dini dimana alam menjadi tempat pertemuan manusia dengan dirinya dan keadaan di sekitarnya. Oleh karena itu, Widdop Quinton dan Khatun (2020) menyatakan bahwa anak-anak yang hidupnya sangat dekat dengan alam akan membangun sistem berpikir ekologis remaja yang mudah mengenali keterhubungan dirinya dengan alam di sekitar (socio-kultural). Tseng dan Wang (2020) menyatakan bahwa pengalaman dekat dengan alam dalam proses pembelajaran di sekolah berpotensi meningkatkan keintiman, minat, identitas, dan bahkan jalur karir siswa yang terkait dengan alam, yang tentu saja harus disesuaikan dengan tugas perkembangannya.

Ecological citizenship adalah konsep kunci untuk menyusun konsep baru tentang hubungan antara manusia dengan alam dan di antara manusia itu sendiri atau pengubahan konsep kewargaan sebagai jalan yang layak menuju peningkatan tanggung jawab lingkungan secara individu (Jagers, Martinsson dan Matti, 2013; Karatekin dan Uysal, 2018) melalui pengurangan jejak ekologis individu (Grabs, 2018).

Ecological citizenship akan membangun sebuah sistem pendekatan dan kemitraan di antara individu yang terlibat dalam rantai permintaan, mulai dari produsen sampai konsumen akhir untuk memastikan bahwa bumi tetap sehat sampai ke generasi berikutnya, yang selanjutnya akan membentuk konsumsi yang berkelanjutan (Scharmer, 2009; Sayogo *et al.*, 2018).

Lebih lanjut, Grabs (2018) menyatakan bahwa kewargaan ekologis dapat meliputi 8 sasaran dari 17 sasaran tujuan pembangunan berkelanjutan melalui pengurangan jejak ekologis secara individu. Kedelapan sasaran tersebut diterima sebagai tujuan bersama untuk dicapai melalui konsumsi dan pembangunan yang berkelanjutan. Delapan sasaran yang dimaksud yaitu: (1) air bersih dan sanitasi layak; (2) energi bersih dan terjangkau; (3) kota dan komunitas yang berkelanjutan; (4) konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab; (5) penanganan perubahan iklim; (6) ekosistem laut; (7) ekosistem daratan; (8) perdamaian, keadilan, dan kelembagaan yang tangguh. Dengan demikian, kewargaan ekologis adalah jenis kewargaan yang menggiatkan individu, komunitas, dan organisasi sebagai warga dunia untuk mempertimbangkan tanggung jawab dan hak lingkungan hidup melalui penekanan pada empat dimensi yaitu tanggung

jawab, keberlanjutan, hak asasi dan keadilan, dan peran serta (Karatekin dan Uysal, 2018).

Keterkaitan antara kewargaan ekologis dengan konsumsi yang berkelanjutan menurut Middlemiss (2010) ada pada tanggung jawab yang menjadi konsep utama dalam relasi manusia dengan lingkungan hidupnya. Konsumsi berkelanjutan yang mendorong kewargaan ekologis dicapai melalui sebuah pendekatan sistem dan kerjasama antar pelaku yang bekerja di dalam rantai penyediaan produksi, mulai dari produsen sampai ke konsumen akhir untuk memastikan bumi tetap sehat sampai generasi masa depan. Dalam hal ini, konsumsi berkelanjutan dalam kewargaan ekologis merupakan kemampuan yang dapat dilakukan oleh individu atas dukungan tatanan sosial sebagai agen perubahan yang menjalankan tanggung jawab individu terhadap permasalahan lingkungan hidup (Grabs, 2018). Dengan demikian, kewargaan ekologis bukan sekedar teori politik saja melainkan sebuah proses pembangunan sejak manusia dilahirkan sampai pada akhirnya si manusia tersebut dapat terlibat politik secara aktif, baik di dalam komunitasnya dan dunia (Jagers *et al.*, 2013; Guckian *et al.*, 2018).

Miller dan Spoolman (2016) menyatakan bahwa kewargaan ekologis yang berperan sebagai agen perubahan, secara

individu dan secara bersama bekerja menjadi pemimpin lingkungan hidup untuk membuat perubahan melalui: (1) keteladanan dengan menjalani gaya dan nilai-nilai hidup yang memperlihatkan kepada orang lain bahwa perubahan itu mungkin dan dapat menguntungkan); (2) kemitraan di dalam sistem ekonomi dan politik saat ini dan menggiringnya ke arah perbaikan kualitas lingkungan hidup melalui kampanye dan memilih kandidat yang melek ekologi serta mengkomunikasikannya kepada para kandidat terpilih; (3) keterlibatan aktif di dalam urusan pemerintah setempat; (4) usulan dan pekerjaan yang diarahkan menuju solusi yang lebih baik untuk permasalahan lingkungan hidup; (5) pelajar dan lembaga pendidikan yang dapat menjalani peran penting bagi lingkungan hidup, misalnya mendorong universitas untuk berhenti mendanai industri yang merusak lingkungan hidup, meningkatkan investasi pada energi terbarukan dan bisnis lainnya yang bekerja bagi kualitas lingkungan hidup, pelajar menjalani gaya hidup yang ramah lingkungan dan membuat pusat pelatihan untuk membangun kincir angin, energi surya, dan membuat peralatan rumah tangga dari bahan-bahan sisa atau bekas pakai (Benninghaus, Kremer dan Sprenger, 2017; Emiru dan Waktola, 2018).

Pembentukan kewargaan ekologis pada tingkat pelajar melalui pembelajaran yang bernapaskan kehidupan untuk

merekonseptualisasi kelas komunikasi lingkungan sebagai pembelajaran transformatif (Cox, 2018). Pemetaan kognitif mengenai kewargaan hijau dapat menjelaskan kewargaan ekologis yang menggambarkan pengetahuan dan pemahaman pelajar terhadap topik-topik tertentu (Guckian *et al.*, 2018). Temuan riset Bakar *et al.* (2018) menyatakan bahwa pengetahuan tentang keberlanjutan membantu pelajar untuk memahami pentingnya daur ulang dan permasalahan lingkungan sehingga si pelajar berharap hidup di lingkungan yang bersih dan akan berpartisipasi dalam perlindungan lingkungan.

Pemetaan kognitif dibangun dari peta konsep interdisipliner yang mampu berpikir kritis terhadap perencanaan studi dan masa depan. Hasil riset Reiska *et al.* (2018) menyatakan bahwa siswa kelas X-XII SMA Estonia secara longitudinal memperlihatkan perubahan peta konsep berupa analisis interdisiplin pada mata pelajaran kimia yang interdisipliner mencakup kajian biologi, fisika dan geografi menggunakan pendekatan kehidupan sehari-hari. Guru kimia yang menggunakan pendekatan STES (*Science, Technology, Environment and Society*) dalam pembelajaran dapat memberi efek positif pada siswa SMA melalui munculnya perasaan khawatir terhadap masa depan dan merasa bertanggung jawab dalam pembuatan keputusan yang dapat

menjaga kualitas lingkungan hidup dan kelestarian sumber daya alamnya (Abad, Alvaro, dan Nudelman, 2018). Kemampuan berpikir kritis dalam analisis interdisiplin, perasaan khawatir dan bertanggung jawab tersebut berperan menjadi indikator awal terbangunnya *ecological citizenship* pada remaja tengah.

Peningkatan kesadaran lingkungan (Emiru dan Waktola, 2017) pada remaja dapat melalui pelibatan remaja untuk berpartisipasi dalam masalah ekologi, mulai dari menilai pengetahuan mereka dan mendeskripsikan kesediaan mereka untuk membayar dan mengambil tindakan. Guckian, Hamilton, dan De Young (2018) menyatakan bahwa tampilan visual dari konsep yang bermakna dan saling terkait yang mewakili pengalaman unik, pengalaman yang dialami seseorang, dan pengetahuan tentang topik ekologis dapat mendorong pemetaan konseptual remaja.

Selanjutnya, Tsakeni (2018) menyatakan bahwa kesempatan pembelajaran terkait pembangunan berkelanjutan dapat terwujud dalam mata pelajaran fisika dengan pendekatan materi kimia sebagai kerangka konsep ESD (*education for sustainable development*). Kerangka konsep ESD tersebut menggunakan 5 pilar yaitu sosial, ekonomi, lingkungan hidup, keterampilan berwarga negara, dan pedagogi untuk

ESD. Pernyataan tersebut sejalan dengan hasil riset Kinslow *et al.* (2018) bahwa pendekatan isu-isu sosio-ilmiah dalam pembelajaran siswa SMA Midwest, Amerika, dapat mencapai kompetensi literasi lingkungan hidup dan penalaran sosio-ilmiah (*socio-scientific reasoning*).

Pendidikan tentang keberlanjutan dan lingkungan yang dinyatakan dalam Tsakeni (2008) harus dapat mendorong remaja untuk secara ekologis sadar dengan melihat diri mereka sebagai inkarnasi tanah dan memiliki keunikan dan estetika untuk orang lain untuk mengagumi, memahami, dan meniru dunia yang berkelanjutan (Ideland, 2018). Sehingga, pendidikan untuk keberlanjutan perlu menyediakan psikologi pembelajaran untuk memengaruhi kepekaan, disposisi, dan kesadaran yang menjangkau jiwa remaja untuk memengaruhi pengaruh, emosi, dan hasrat mereka.

Harapannya, buku Kimia Bahan Makanan ini dapat menjadi pintu masuk bagi setiap pembaca, terutama kaum remaja tengah, yang ingin terlibat secara aktif melindungi dan melestarikan kualitas lingkungan hidup melalui makanan dan aktivitas makan dalam kehidupan sehari-hari. Materi buku Kimia Bahan Makanan masih akan berlanjut, tentu saja kelanjutan tersebut bertujuan untuk mengajak setiap pembaca meningkatkan kualitas kesadarannya sebagai *agent of change*

yang senantiasa mengupayakan daya dukung dan daya tampung bumi secara optimal mendukung kehidupan generasi saat ini hingga generasi berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abad, A. M., Alvaro, C. E. S., & Nudelman N. S. (2018). Pedagogic proposal focused on sustainable development: Fracking, a matter of active debate at present in the Argentine Patagonia. *Sustainable Development Research and Practice in Mexico and Selected Latin American Countries, World Sustainability Series*, 93-102.
- Ayres, R. U. (1978). Resources, environment, and economics: Applications of the materials/energy balance principle.
- Bakar, F., Avan, C., & Aydinli, B. (2018). The attitude comparison of gifted students and normal peers on the recycling and environmental effects. *Kastamonu Education Journal*, 26:3, 935-944.
- Bartkienė, A., Bikauskaitė, R., & Šaulauskas, M. P. (2018). Ecological citizenship: Habitus of care in the public sphere. *Problemos*, 93, 130-141.
- Benninghaus, J. C., Kremer, K. & Sprenger, S. (2017): Assessing high-school students' conceptions of global water consumption and sustainability, *International*

Research in Geographical and Environmental Education, 1-17.

Chiras, D. D. (1985). *Environmental Science: A framework for decision making*. Canada: The Benjamin/Cummings Publishing Co., Inc.

Cox, J. R. (2018). Environmental communication pedagogy and practice. *Environment Education Research*, 24:8, 1224-1227.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological inquiry*, 11(4), 227-268.

Dobson, A. (2003). *Citizenship and The Environment*. New York: Oxford University Press Inc.

Emiru, T.S. and Waktola, D.K., 2018. The environmental awareness of higher education students and the implications for the Paris Climate Agreement: empirical evidences from Ethiopia and USA. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 27(3), pp.216-233.

Grabs, T. V. (2018). *Developing ecological citizenship: The role of political agents using Bronfenbrenner's Bioecological Model*. Walden Dissertations and Doctoral Studies: 261 pages.
<https://scholarworks.waldenu.edu/dissertations>, 03 Oktober 2018, pk. 20.15 WIB

Guckian, M. L., Hamilton, E. M. & De Young, R. (2018). Living well and living green: Participant conceptualizations of green citizenship. *Handbook of Sustainability and Social Science Research*, 315-334.

Ideland, M. (2018). *The Eco-Certified Child: Citizenship and Education for Sustainability and Environment*. Swedia: Springer.

Jagers, S. C., Martinsson, J., & Matti, S. (2013). Ecological citizenship: a driver of pro-environmental behaviour? *Environmental Politics*, 23:3, 434-453.

Karatekin, K. & Uysal, C. (2018). Ecological citizenship scale development study. *International Electronic Journal of Environmental Education*, 8:2, 82-104.

Kinslow, A. T., Sadler, T. D., & Nguyen, H. T. (2018). Socio-scientific reasoning and environmental literacy

in a field-based ecology class. *Environmental Education Research*, 1-23.

Middlemiss, L. (2010). Reframing individual responsibility for sustainable consumption: Lessons from environmental justice and ecological citizenship. *Environmental Value*, 19:2, 147-167(21).

Miller, G. T., & Spoolman, S. (2016). *Environmental science*. Cengage Learning.

Rees, W. E. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and urbanization*, 4(2), 121-130.

Reiska, P., Soika, K., & Cañas, A. J. (2018). Using concept mapping to measure changes in interdisciplinary learning during high school. *Knowledge Management & E-Learning*, 10:1, 1–24.

Ruperti, M. J. B., Albán, W. E. M., Tumbaco, D. E. S., & Martínez, M. E. M. (2020). Characteristics and functioning of brain on learning process. *International journal of humanities, literature & arts*, 3(1), 1-6.

Sayogo, D., Zhang, J, Picazo-Vela, S., Bahaddin, B., & Luna-Reyes L. (2018). Understanding the intention to trust

product information and certifications to promote sustainable consumption: applying the theory of planned behavior. *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*, 5412-5421.

Scharmer, C. O. (2009). *Theory U: Leading from the future as it emerges*. California: Berrett-Koehler Publishers, Inc.

Subekti, R. M., & Suroso, D. S. A. (2018, May). Ecological footprint and ecosystem services models: a comparative analysis of environmental carrying capacity calculation approach in Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 12026, pp. 1755-1315).

Symons, J. & Karlsson, R. (2018). Ecomodernist citizenship: rethinking political obligations in a climate-changed world. *Citizenship Studies*, 1-20.

Torbjörnsson, T., & Molin, L. (2014). Who is solidary? A study of Swedish students' attitudes towards solidarity as an aspect of sustainable development. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 23(3), 259-277.

- Tsakeni, M. (2018). Opportunities for teaching sustainable development through the chemistry component of CAPS Physical Sciences. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 22:1, 125-136.
- Tseng, Y. C., & Wang, S. M. (2020). Understanding Taiwanese adolescents' connections with nature: rethinking conventional definitions and scales for environmental education. *Environmental Education Research*, 26(1), 115-129.
- Widdop Quinton, H., & Khatun, F. (2020). Childhoodnature Alternatives: Adolescents in India, Nepal, and Bangladesh Explore Their Nature Connectedness. *Research Handbook on Childhoodnature: Assemblages of Childhood and Nature Research*, 1043-1074.
- Widdowson, E. M., McCance, E. A., & Spray, C. M. (1951). The chemical composition of the human body. *Clinical Science*, 10, 113-125.

**BUKU INI ADALAH KENANGAN KASIH DARIKU
UNTUKMU YANG BERIDENTITAS**

NAMA :

TEMPAT/TANGGAL LAHIR :

JENIS KELAMIN : L/P (*coret yang tidak perlu)

NAMA MAKANAN FAVORIT :

HOBİ :

.....

.....