



Vnotom

# BIOKIMIA TANAMAN

## Definisi dan Konsep Dasar

Prof. Dr. S.M. Sitompul

Lab. Plant Physiology, Faculty of Agriculture, **Universitas Brawijaya**

Email : dl@ub.ac.id

JOIN UB  
BE THE BEST



Hak cipta dilindungi undang-undang. ©Module ini tidak boleh digandakan sebagian atau seluruhnya tanpa izin dari penulis

### DAMPAK PEMBELAJARAN

#### 1. PENDAHULUAN

- 1.1 Definisi
- 1.2 Inti Biokimia
- 1.3 Sejarah Biokimia
- 2. BIOMOLEKUL
- 2.1 Karbohidrat
- 2.2 Lipid
- 2.3 Protein
- 2.4 Asam Nukleat

#### 3. PERKEMBANGAN BIOKIMIA

- 3.1 Manfaat Biokimia
  - Gugur Daun
  - Penyakit encok (*gout*)
  - Keracunan *Cyanide*
  - Keracunan Methanol
  - Biodiesel
  - Analgesik Narkotik
- 3.2 Terobosan Biokimia
- 3.3.1 Enzim dan DNA
- 3.3.2 Rekayasa Genetik dan Kloning

## MODUL

1



SELF-PROPAGATING ENTREPRENEURIAL EDUCATION DEVELOPMENT

### DAMPAK PEMBELAJARAN

Dengan penguasaan materi dalam modul ini yang dirancang sebagai landasan dasar fisiologi tanaman, peserta didik diharapkan mampu untuk

1. menjelaskan secara umum biokimia tanaman (*to explain plant biochemistry*)
2. mengidentifikasi molekul dasar yang menyusun tanaman (*to identify the basic molecules which make up plant*)
3. menguraikan cara komponen kimia (senyawa) disintesis dan digunakan dalam proses kehidupan tanaman (*to describe the way in which chemical components are synthesized and utilized by plants in the life process*)
4. menggambarkan proses kehidupan tanaman pada tingkat molekuler (*to describe the process of plant life on a chemical level*)
5. membuat prakarsa dari sudut biokimia untuk memperbaiki pertumbuhan tanaman atau memecahkan masalah dalam pertumbuhan tanaman (*to initiate ways from the standpoint of biochemistry to improve the growth of plants or to solve problems in plant growth*)

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Definisi

- Studi kehidupan tanaman dan organisme hidup lain dapat dilakukan dari berbagai segi seperti dari segi molekul (senyawa) yang mendukung proses kehidupan tanaman. Biokimia tanaman adalah studi tentang molekul kehidupan tanaman sebagaimana tercermin dari definisi berikut ini.



©Modul ini tidak boleh digandakan sebagian atau seluruhnya tanpa izin dari penulis

**UBDistanceLearning**

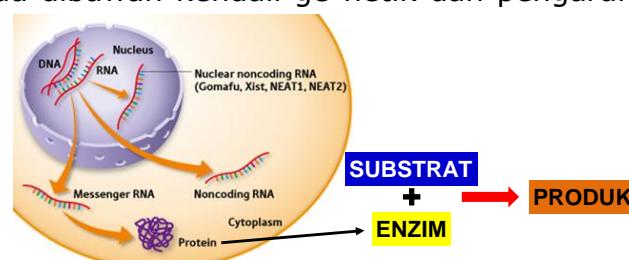
Hak cipta dilindungi undangundang



1. Biokimia adalah studi molekul dasar kehidupan (Biochemistry is the study of molecular basis of life) (Stryer, 1975).
2. Biokimia adalah studi cara komponen (senyawa) kimia disintesis dan digunakan oleh organisme dalam proses kehidupan (the study of the way in which chemical components are synthesized and utilized by the organism in the life process) (Goodwin & Mercer, 1990).
- Jadi Biokimia Tanaman adalah "Studi molekul dasar kehidupan tanaman yang mencakup sintesis (anabolisme) dan pembongkaran (katabolisme) dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman". Biokimia tanaman, secara sederhana, adalah penerapan dari kimia pada studi proses biologi kehidupan tanaman pada tingkat sel dan molekuler.

## 1.2 Inti Biokimia

- Inti dari biokimia adalah kharakterisasi kehidupan organisme hidup pada tingkat molekuler termasuk mekanisme konversi substrat ke produk melalui reaksi biokimia. Hampir semua reaksi kimia dalam sel tubuh organisme dikatalisis oleh enzim yang berada dibawah kendali ge-netik dan pengaruh lingku-ngan (Gambar 1.1). Protein adalah komponen utama dari enzim seperti catalase (Gambar 1.2) yang terdapat pada semua jaringan dan berfungsi untuk merombak hidrogen perokida ( $H_2O_2$ ) serta terlibat dalam program kematian sel. Kharakterisasi mencakup isolasi dan identifikasi molekul serta pengenalan perubahan kimia molekul berikut;



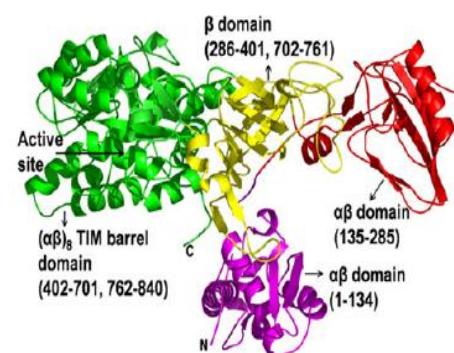
Gambar 1.1 Inti biokimia yang digambarkan dengan molekul kehidupan (substrat, produk dan enzim) hasil metabolisme yang dikatalisis oleh enzim dibawah kendali genetik dan pengaruh lingkungan

### Isolasi dan Identifikasi

- Biochemistry is firstly concerned with the isolation and identification of all different substances which make up plant and animal organisms.
- A living organism is composed of more than just fats, carbohydrates and protein. Hundreds of other substances are necessary to the proper functioning of the organisms

### Pengenalan Perubahan Kimia

- Secondly, biochemistry is concerned with all chemical changes which take place in the cells to provide for energy, growth, reproduction, and aging.
- Protoplasm is an aqueous solution of certain substances with other colloidally dispersed substances
- Enzim adalah salah satu molekul penting yang berperanan dalam membuat

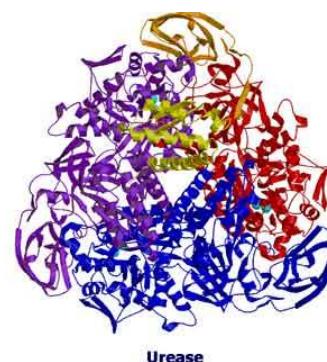


Gambar 1.2 Struktur kristal Catalase dalam bentuk pita.  
Sumber: Balasubramanian & Ponnuraj (2010)

perubahan kimia molekul. Salah satu enzim pertama yang diisolasi dan diidentifikasi adalah *urease* (Gambar 1.3) yang berfungsi merombak urea menjadi ammonium melalui reaksi hidrolisis berikut.



- Pemurnian dan kristalisasi urease dilakukan pertama-tama oleh James B. Sumner pada tahun 1926 yang membuatnya menerima suatu "Nobel Prize" dalam kimia pada tahun 1946.
- Perubahan (pembentukan dan perombakan) molekul terjadi melalui rangkaian (lintasan) reaksi yang berinteraksi antara satu dengan yang lain. Jadi proses biologi kehidupan organisme adalah interaksi dari sejumlah reaksi yang terintegrasi secara tepat. Suatu sumber menunjukkan 146 lintasan reaksi metabolisme untuk 11 jenis metabolisme dari mulai metabolisme karbohidrat hingga biodegradasi *xenobiotics* (Tabel 1.1 dan Gambar 1.4). Ini berarti ribuan reaksi yang dapat terjadi dalam suatu sel untuk kelangsungan hidup organisme. Xenobiotik (*xenobiotic*) adalah senyawa kimia asing dalam tubuh suatu organisme yang tidak dihasilkan secara alami atau diharapkan berada dalam tubuh organisme. Ini dapat juga mencakup zat alami organisme yang berada dalam kuantitas yang jauh diatas konsentrasi normal. Contoh sederhana dari xenobiotik adalah pestisida dan herbisida untuk tanaman, dan obat (mis. antibiotik) untuk manusia.



Gambar 1.3 Struktur kristal *urease* dari tanaman jack beans (*Canavalia ensiformis*)

Tabel 1.1 Sistem kehidupan organisme yang terdiri dari 146 lintasan reaksi untuk 11 metabolisme terdiri

<a href="#">1. Carbohydrate Metabolism (17)</a>	<a href="#">7. Glycan Biosynthesis and Metabolism (18)</a>
<a href="#">2. Energy Metabolism (8)</a>	<a href="#">8. Biosynthesis of Polyketides and Nonribosomal Peptides (9)</a>
<a href="#">3. Lipid Metabolism (14)</a>	<a href="#">9. Metabolism of Cofactors and Vitamins (11)</a>
<a href="#">4. Nucleotide Metabolism (2)</a>	<a href="#">10. Biosynthesis of Secondary Metabolites (21)</a>
<a href="#">5. Amino Acid Metabolism (16)</a>	<a href="#">11. Biodegradation of Xenobiotics (21)</a>
<a href="#">6. Metabolism of Other Amino Acids (9)</a>	

Sumber: ©2006 Crop Sciences at University of Illinois:  
<http://manet.illinois.edu/pathways.php#Carbohydrate%20Metabolism>

<b>1. Carbohydrate Metabolism (17)</b>	
<a href="#">1. Glycolysis/Gluconeogenesis</a>	<a href="#">10. Nucleotide sugars metabolism</a>
<a href="#">2. Citrate cycle (TCA cycle)</a>	<a href="#">11. Pyruvate metabolism</a>
<a href="#">3. Pentose phosphate pathway</a>	<a href="#">12. Glyoxylate and dicarboxylate metabolism</a>
<a href="#">4. Pentose and glucuronate interconversions</a>	<a href="#">13. Propanoate metabolism</a>
<a href="#">5. Fructose and mannose metabolism</a>	<a href="#">14. Butanoate metabolism</a>
<a href="#">6. Galactose metabolism</a>	<a href="#">15. C5-Branched dibasic acid metabolism</a>
<a href="#">7. Ascorbate and aldarate metabolism</a>	<a href="#">16. Inositol metabolism</a>
<a href="#">8. Starch and sucrose metabolism</a>	<a href="#">17. Inositol phosphate metabolism</a>
<a href="#">9. Aminosugars metabolism</a>	
<b>2. Energy Metabolism (8)</b>	

1. <a href="#">Oxidative phosphorylation</a>	5. <a href="#">Reductive carboxylate cycle (CO<sub>2</sub> fixation)</a>
2. <a href="#">Photosynthesis</a>	6. <a href="#">Methane metabolism</a>
3. <a href="#">Photosynthesis - antenna proteins</a>	7. <a href="#">Nitrogen metabolism</a>
4. <a href="#">Carbon fixation</a>	8. <a href="#">Sulfur metabolism</a>

**3. Lipid Metabolism (14)**

- |   |   |
|---|---|
| 1. <a href="#">Fatty acid biosynthesis</a>                    | 8. <a href="#">Androgen and estrogen metabolism</a> |
| 2. <a href="#">Fatty acid elongation in mitochondria</a>      | 9. <a href="#">Glycerolipid metabolism</a>          |
| 3. <a href="#">Fatty acid metabolism</a>                      | 10. <a href="#">GlyceroPhospholipid degradation</a> |
| 4. <a href="#">Synthesis and degradation of ketone bodies</a> | 11. <a href="#">Ether lipid metabolism</a>          |
| 5. <a href="#">Biosynthesis of steroids</a>                   | 12. <a href="#">Sphingolipid metabolism</a>         |
| 6. <a href="#">Bile acid biosynthesis</a>                     | 13. <a href="#">Arachidonic acid metabolism</a>     |
| 7. <a href="#">C21-Steroid hormone metabolism</a>             | 14. <a href="#">Linoleic acid metabolism</a>        |

**4. Nucleotide Metabolism (2)**

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| 1. <a href="#">Purine metabolism</a> | 2. <a href="#">Pyrimidine metabolism</a> |
|--------------------------------------|--|

**5. Amino Acid Metabolism (16)**

- |  |   |
|--|---|
| 1. <a href="#">Glutamate metabolism</a>                        | 9. <a href="#">Lysine degradation</a>                                   |
| 2. <a href="#">Alanine and aspartate metabolism</a>            | 10. <a href="#">Arginine and proline metabolism</a>                     |
| 3. <a href="#">Glycine, serine and threonine metabolism</a>    | 11. <a href="#">Histidine metabolism</a>                                |
| 4. <a href="#">Methionine metabolism</a>                       | 12. <a href="#">Tyrosine metabolism</a>                                 |
| 5. <a href="#">Cysteine metabolism</a>                         | 13. <a href="#">Phenylalanine metabolism</a>                            |
| 6. <a href="#">Valine, leucine and isoleucine degradation</a>  | 14. <a href="#">Tryptophan metabolism</a>                               |
| 7. <a href="#">Valine, leucine and isoleucine biosynthesis</a> | 15. <a href="#">Phenylalanine, tyrosine and tryptophan biosynthesis</a> |
| 8. <a href="#">Lysine biosynthesis</a>                         | 16. <a href="#">Urea cycle and metabolism of amino groups</a>           |

**6. Metabolism of Other Amino Acids (9)**

- |   |   |
|---|---|
| 1. <a href="#">beta-Alanine metabolism</a>            | 6. <a href="#">D-Glutamine and D-glutamate metabolism</a> |
| 2. <a href="#">Taurine and hypotaurine metabolism</a> | 7. <a href="#">D-Arginine and D-ornithine metabolism</a>  |
| 3. <a href="#">Aminophosphonate metabolism</a>        | 8. <a href="#">D-Alanine metabolism</a>                   |
| 4. <a href="#">Selenoamino acid metabolism</a>        | 9. <a href="#">Glutathione metabolism</a>                 |
| 5. <a href="#">Cyanoamino acid metabolism</a>         |   |

**7. Glycan Biosynthesis and Metabolism (18)**

- |   |   |
|---|---|
| 1. <a href="#">N-Glycan biosynthesis</a>                                    | 11. <a href="#">Glycosylphosphatidylinositol(GPI)-anchor biosynthesis</a> |
| 2. <a href="#">High-mannose type N-glycan biosynthesis</a>                  | 12. <a href="#">Glycosphingolipid biosynthesis - lactoseries</a>          |
| 3. <a href="#">N-Glycan degradation</a>                                     | 13. <a href="#">Glycosphingolipid biosynthesis - neo-lactoseries</a>      |
| 4. <a href="#">O-Glycan biosynthesis</a>                                    | 14. <a href="#">Glycosphingolipid biosynthesis - globoseries</a>          |
| 5. <a href="#">Chondroitin / heparan sulfate biosynthesis Proteoglycans</a> | 15. <a href="#">Glycosphingolipid biosynthesis - ganglioseries</a>        |
| 6. <a href="#">Heparan sulfate biosynthesis</a>                             |   |
| 7. <a href="#">Keratan sulfate biosynthesis</a>                             |   |

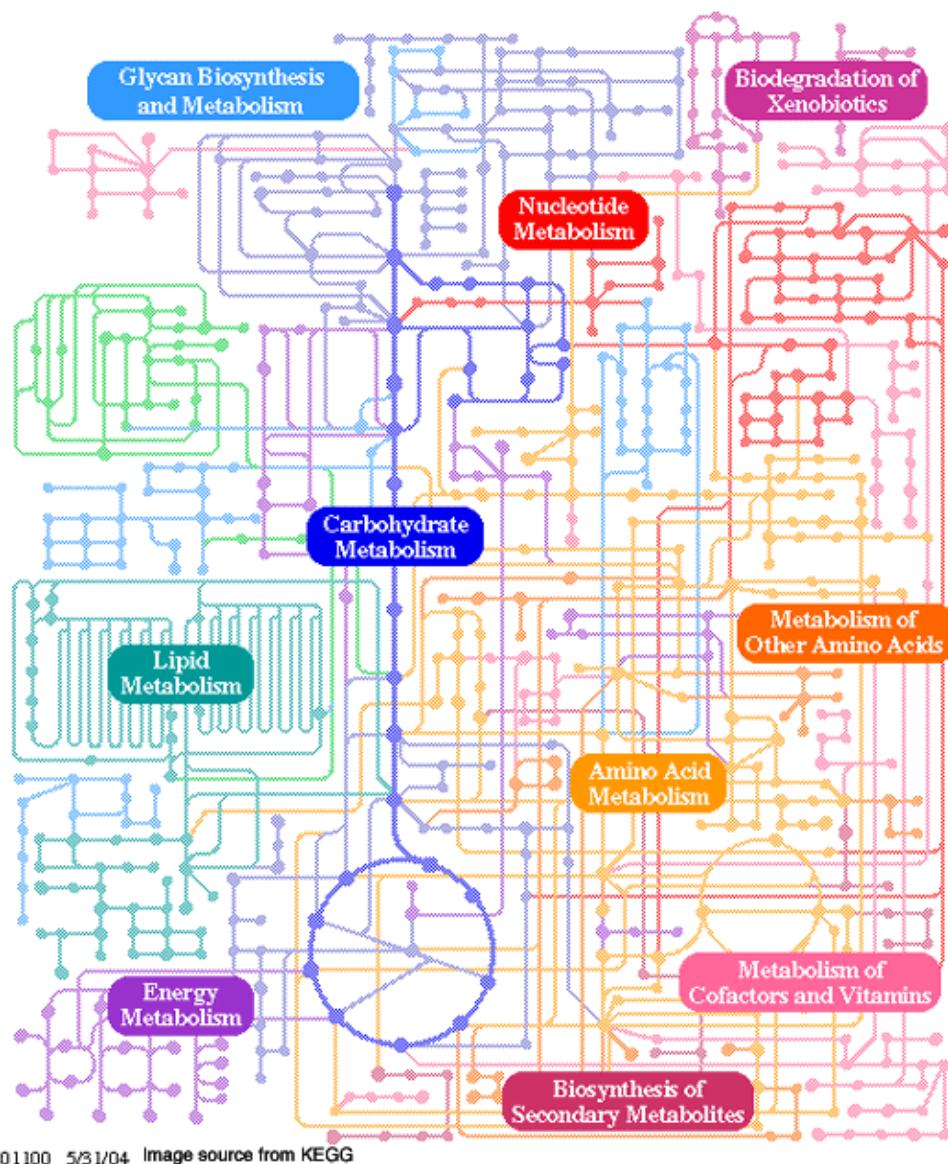
8. <a href="#">Glycosaminoglycan degradation</a>	16. <a href="#">Glycan structures - biosynthesis 1</a>
9. <a href="#">Lipopolysaccharide biosynthesis</a>	17. <a href="#">Glycan structures - biosynthesis 2</a>
10. <a href="#">Peptidoglycan biosynthesis</a>	18. <a href="#">Glycan structures - degradation</a>

<b>8. Biosynthesis of Polyketides and Nonribosomal Peptides (9)</b>	
1. <a href="#">Type I polyketide structures</a>	6. <a href="#">Polyketide sugar unit biosynthesis</a>
2. <a href="#">Biosynthesis of 12-, 14- and 16-membered macrolides</a>	7. <a href="#">Nonribosomal peptide structures</a>
3. <a href="#">Biosynthesis of ansamycins</a>	8. <a href="#">Biosynthesis of siderophore group nonribosomal peptides</a>
4. <a href="#">Biosynthesis of type II polyketide backbone</a>	9. <a href="#">Biosynthesis of vancomycin group antibiotics</a>
5. <a href="#">Biosynthesis of type II polyketide products</a>	

<b>9. Metabolism of Cofactors and Vitaminse (11)</b>	
1. <a href="#">Thiamine metabolism</a>	7. <a href="#">Folate biosynthesis</a>
2. <a href="#">Riboflavin metabolism</a>	8. <a href="#">One carbon pool by folate</a>
3. <a href="#">Vitamin B6 metabolism</a>	9. <a href="#">Retinol metabolism</a>
4. <a href="#">Nicotinate and nicotinamide metabolism</a>	10. <a href="#">Porphyrin and chlorophyll metabolism</a>
5. <a href="#">Pantothenate and CoA biosynthesis</a>	11. <a href="#">Ubiquinone biosynthesis</a>
6. <a href="#">Biotin metabolism</a>	

<b>10. Biosynthesis of Secondary Metabolites (21)</b>	
1. <a href="#">Terpenoid biosynthesis</a>	12. <a href="#">Alkaloid biosynthesis II</a>
2. <a href="#">Diterpenoid biosynthesis</a>	13. <a href="#">Acridone alkaloid biosynthesis</a>
3. <a href="#">Monoterpenoid biosynthesis</a>	14. <a href="#">Penicillins and cephalosporins biosynthesis</a>
4. <a href="#">Limonene and pinene degradation</a>	15. <a href="#">beta-Lactam resistance</a>
5. <a href="#">Indole and ipecac alkaloid biosynthesis</a>	16. <a href="#">Streptomycin biosynthesis</a>
6. <a href="#">Carotenoid biosynthesis</a>	17. <a href="#">Tetracycline biosynthesis</a>
7. <a href="#">Brassinosteroid biosynthesis</a>	18. <a href="#">Clavulanic acid biosynthesis</a>
8. <a href="#">Carotenoid biosynthesis</a>	19. <a href="#">Puromycin biosynthesis</a>
9. <a href="#">Coumarine and phenylpropanoid biosynthesis</a>	20. <a href="#">Novobiocin biosynthesis</a>
10. <a href="#">Flavonoid biosynthesis</a>	21. <a href="#">Benzoxazinone biosynthesis</a>
11. <a href="#">Alkaloid biosynthesis I</a>	

<b>11. Biodegradation of Xenobiotics (21)</b>	
1. <a href="#">Caprolactam degradation</a>	12. <a href="#">Nitrobenzene degradation</a>
2. <a href="#">Biphenyl degradation</a>	13. <a href="#">Ethylbenzene degradation</a>
3. <a href="#">Toluene and xylene degradation</a>	14. <a href="#">Fluorene degradation</a>
4. <a href="#">gamma-Hexachlorocyclohexane degradation</a>	15. <a href="#">Carbazole degradation</a>
5. <a href="#">3-Chloroacrylic acid degradation</a>	16. <a href="#">Benzoate degradation via CoA ligation</a>
6. <a href="#">1,1,1-Trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane (DDT) degradation</a>	17. <a href="#">Benzoate degradation via hydroxylation</a>
7. <a href="#">2,4-Dichlorobenzoate degradation</a>	18. <a href="#">Atrazine degradation</a>
8. <a href="#">1,2-Dichloroethane degradation</a>	19. <a href="#">Bisphenol A degradation</a>
9. <a href="#">Tetrachloroethylene degradation</a>	20. <a href="#">1-and 2-Methylnaphthalene degradation</a>
10. <a href="#">Styrene degradation</a>	21. <a href="#">Metabolism of xenobiotics by cytochrome P450</a>
11. <a href="#">1,4-Dichlorobenzene degradation</a>	



Gambar 1.4 Bagan interaksi lintasan reaksi dalam sel organisme hidup.  
Sumber: <http://manet.illinois.edu/pathways.php>

- Reaksi metabolisme yang ditunjukkan pada Tabel 1.1, dengan model interaksinya pada Gambar 1.4, menunjukkan 146 lintasan reaksi (*pathways*) dalam setiap sel. Dengan perhitungan sederhana, ini akan menghasilkan ribuan reaksi dalam setiap sel dengan asumsi setiap lintasan terdiri dari 10 reaksi (glikolisis terdiri dari 11 reaksi).

### 1.3 Sejarah Biokimia

- Ilmu pengetahuan Biokimia timbul sebagai suatu disiplin ilmu pengetahuan tersendiri sekitar awal abad ke-20 dengan penggabungan kimia, fisiologi dan biologi dalam studi kimia sistem kehidupan tentang:
  - Struktur dan kelakuan dari molekul kompleks yang terdapat dalam bahan biologi, dan
  - Mekanisme molekul yang berinteraksi untuk membentuk sel, jaringan dan keseluruhan organisme.

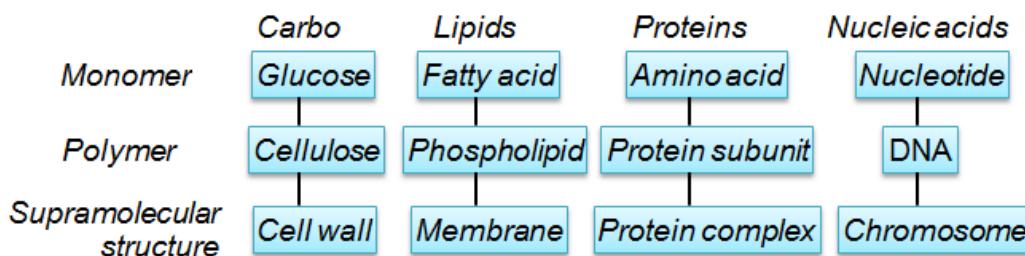
- Sel adalah unit dasar struktur organisme hidup yang menunjukkan suatu tingkat organisasi yang sangat tinggi dan membutuhkan energi untuk mempertahankannya. Aktivitas sel dinyatakan dengan reaksi kimia yang hampir keseluruhan yang dikendalikan oleh gen yang terdapat dalam nukleus (inti sel).
- Pemahaman yang baik dari seluruh komponen yang menyusun suatu sistem serta fungsi dari setiap komponen dan interaksi antara komponen dalam suatu kesatuan sistem sangat penting apabila kinerja dari sistem tersebut ingin ditingkatkan. Sesuatu upaya untuk mengatasi permasalahan yang mengganggu kinerja dari suatu sistem juga tidak akan mungkin dilakukan tanpa pemahaman yang memadai akan jenis dan fungsi komponen dari sistem yang dipertimbangkan. Pemahaman ini dapat diperoleh hanya dengan studi cara atau mekanisme kerja (kinerja) dari suatu sistem menghasilkan keluaran (*output*).
- Dalam biokimia (kimia kehidupan) tanaman, sistem tanaman dipelajari pada tingkat molekuler yang terlibat dalam kehidupan tanaman yang dicirikan oleh;
  1. **Homeostasis:** Pengaturan lingkungan internal tubuh tanaman untuk memelihara suatu keadaan tetap seperti pengaturan konsentrasi elektrolit dan penguapan untuk mengurangi suhu.
  2. **Organisasi:** Tanaman, seperti organisme hidup lain yang terdiri dari satu atau lebih sel, dapat dipandang sebagai suatu organisasi dari sejumlah molekul kompleks yang dapat dilapisi oleh membran.
  3. **Metabolism:** Pembentukan (anabolisme) dan perombakan (katabolisme) bahan organik yang dapat dipandang sebagai suatu bentuk transformasi energi yang diperlukan tanaman, seperti organisme lain, untuk memelihara organisasi internal (homeostasis) dan menghasilkan fenomena lain yang berkaitan dengan kehidupan.
  4. **Pertumbuhan:** Pertambahan ukuran tanaman yang tetap (tidak dapat balik) sebagai hasil dari pemeliharaan tingkat anabolisme yang lebih tinggi dari katabolisme.
  5. **Adaptasi:** Kemampuan berubah dalam suatu jangka waktu sebagai tanggapan pada lingkungan yang menjadi dasar dari proses evolusi dan ditentukan oleh genetik (heredity) tanaman serta komposisi senyawa metabolisme dan faktor lingkungan.
  6. **Sensitivitas:** Tanggapan terhadap rangsangan luar yang dapat terjadi dalam beberapa bentuk mulai dari kontraksi organisme uniselular terhadap kondisi kimia luar hingga reaksi kompleks yang melibatkan semua indera dari organisme multiselular. Tanggapan ini dapat dinyatakan dengan gerakan seperti daun yang bergerak ke arah sinar matahari (*phototropism*) dan gerakan organisme ke arah kondisi kimia luar tertentu (*chemotaxis*).
  7. **Reproduksi:** Kemampuan menghasilkan individu organisme baru baik dengan cara aseksual dari suatu individu induk maupun dengan cara sexual dari dua induk.

## 2. BIOMOLEKUL

**What are types of molecules studied in Plant Biochemistry?**

- Jenis utama molekul kehidupan (*biomolecule*) yang dipelajari dalam biokimia tanaman, antara lain, adalah
  - carbohydrates
  - lipids
  - Proteins
  - nucleic acids (RNA & DNA)

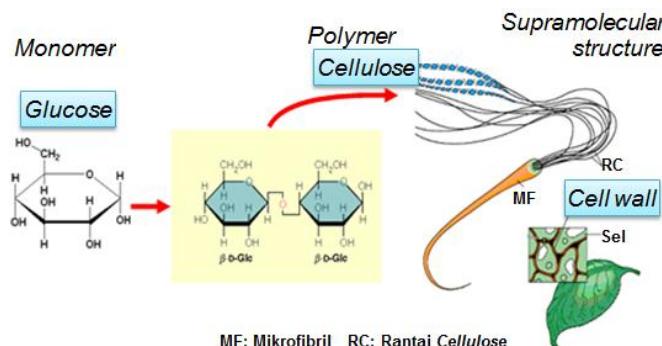
- Banyak dari molekul tersebut adalah molekul kompleks yang disebut polimer yang menjadi komponen dari supra molekul yang semuanya terbentuk dari subunit monomer (Gambar 1.5).



Gambar 1.5 Jenis utama molekul yang membentuk tubuh tanaman

## 2.1 Karbohidrat

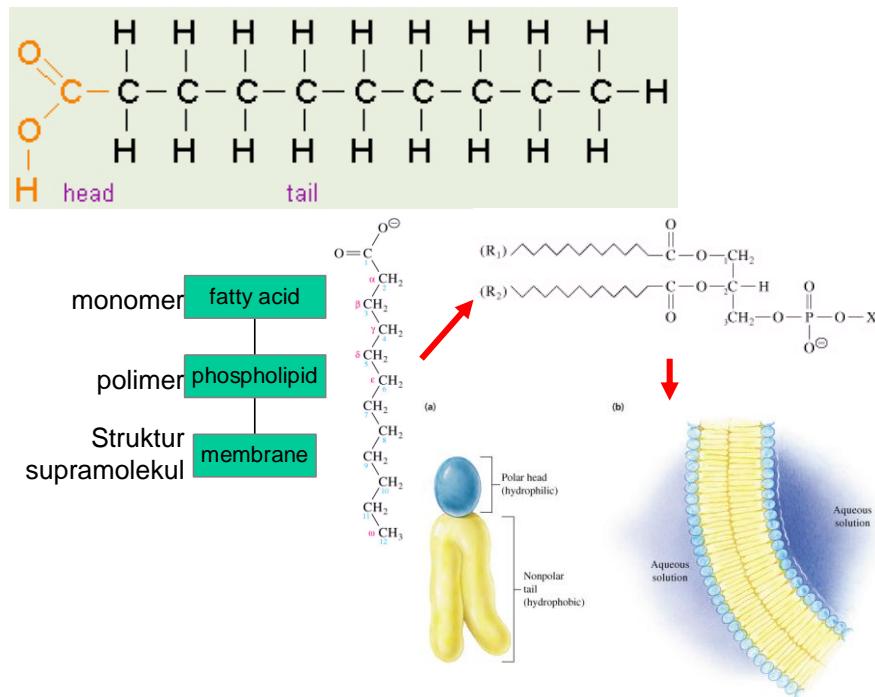
- Karbohidrat adalah salah satu senyawa penting dalam kehidupan tanaman dan organisme hidup lain dengan fungsi utama sebagai sumber energi dan kerangka molekul serta bahan struktural untuk tanaman. Sebagai contoh, supramolekul dinding sel terbentuk dari polimer sellulosa (*cellulose*) yang dihasilkan dari rangkaian ikatan glukosa (Gambar 1.6). Jadi kayu terdiri sebagian besar dari sellulosa, dan kapas hampir 100% sellulosa.



Gambar 1.6 Molekul glukosa, sellulosa (*cellulose*) dan dinding sel (*cell wall*)

## 2.2 Lipid

- Lipid adalah nama generik yang digunakan untuk suatu kelompok biomolekul lemak (*fat*) dalam jaringan tanaman dan khewan yang beragam dalam struktur dan fungsi biologis. Senyawa ini dapat larut dalam pelarut organik, tapi tidak larut dalam air, dan secara umum dapat dibagi menjadi lima kelas yaitu a) lemak (*fat*), b) fosfolipid (*phospholipid*), c) *sphingomyelin*, d) lilin (*wax*), dan e) *sterol*.
- Molekul asam lemak (*fatty acid*), komponen utama dari lipid membran, terdiri dari gugusan karboxil pada suatu ujung atau bagian kepala (*head*) yang bersifat hidrofilik, dan hidrokarbon pada bagian ekor yang bersifat hidrofobik (Gambar 1.7). Asam lemak dapat mengandung satu atau lebih ikatan ganda antara atom karbon ( $C=C$ ), dan yang demikian disebut lemak tidak jenuh (*unsaturated fat*), dan yang tanpa ikatan ganda disebut lemak jenuh (*saturated fat*) (Tabel 1.2 & 1.3). Posisi ikatan ganda pada rantai hidrokarbon, misalnya pada atom C nomor 3 dan 6 (omega-3 & -9) dan posisi hidrogen pada ikatan ganda (*cis* & *trans*) menentukan sifat kimia dari asam lemak (Gambar 1.8).



Gambar 1.7 Molekul asam lemak (*fatty acid*), *fosfolipid (phospholipid)*, dan membran

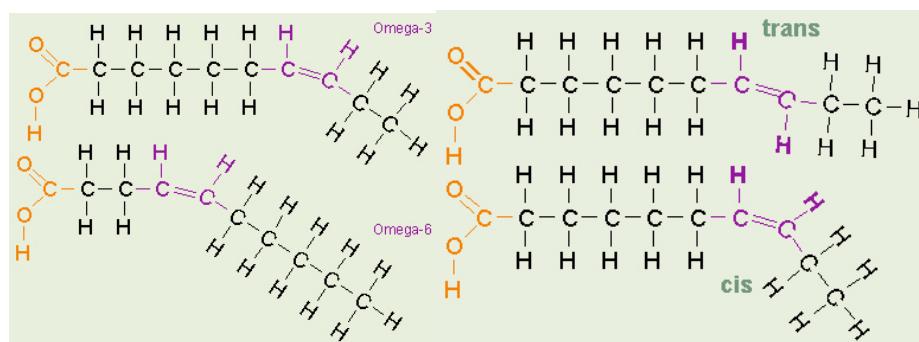
Tabel 1.2 Deskripsi lemak jenuh dan tidak jenuh (*saturated & unsaturated fat*)

Diskripsi	Lemak Jenuh	Lemak tidak jenuh
Definisi	Lemak dengan ikatan tunggal ( <i>single bond</i> ) antara atom karbon (C) dari asam lemak	Lemak dengan satu atau lebih ikatan ganda ( <i>double bond</i> ) antara atom karbon (C) dari asam lemak
Kesehatan	Konsumsi berlebihan tidak baik yang berhubungan dengan penyakit <i>atherosclerosis</i> (penyumbatan arteri) dan jantung	Lemak tidak jenuh dipandang baik untuk dikonsumsi untuk mempertahankan tingkat <i>cholesterol</i> yang rendah
Kolesterol	Lemak jenuh meningkatkan LDL ( <i>bad cholesterol</i> ) dan menurunkan HDL	Lemak tidak jenuh meningkatkan HDL ( <i>good cholesterol</i> ) dan menurunkan LDL
Bentuk	Padat pada suhu kamar	Cair pada suhu kamar
Sumber	Kebanyakan dari khewan	Tanaman
Rantai Hidrokarbon	Lemak jenuh mengandung hanya ikatan tunggal ( <i>single bond</i> ) antara atom karbon (C) tanpa ikatan ganda (mis. asam stearat)	Lemak tidak jenuh mengandung satu atau lebih ikatan ganda ( <i>double bond</i> ) antara atom C ( <i>monounsaturated – polyunsaturated</i> )
Sumber	Mentega, minyak kelapa, susu, daging breast milk, meat	Avokad (avocado), dan minyak kedelai, kanola ( <i>canola</i> ) & zaitun ( <i>olive</i> )
Ketahanan	Ini tahan lama dan tidak cepat rusak	Ini cepat rusak
Anjuran konsumsi	Tidak lebih 10% dari total konsumsi kalori/hari	Tidak lebih 30% dari total konsumsi kalori/hari

LDL = low density lipoprotein & HDL = high density lipoprotein

Tabel 1.3 Titik cair dari beberapa contoh lemak jenuh dan tidak jenuh

Formula	Nama umum	Titik cair
<b>Lemak jenuh (Saturated)</b>		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}_2\text{H}$	<i>lauric acid</i>	$45^\circ\text{C}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{CO}_2\text{H}$	<i>myristic acid</i>	$55^\circ\text{C}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$	<i>palmitic acid</i>	$63^\circ\text{C}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$	<i>stearic acid</i>	$69^\circ\text{C}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{CO}_2\text{H}$	<i>arachidic acid</i>	$76^\circ\text{C}$
<b>Lemak tidak jenuh (Unsaturated)</b>		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	<i>palmitoleic acid</i>	$0^\circ\text{C}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	<i>oleic acid</i>	$13^\circ\text{C}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	<i>linoleic acid</i>	$-5^\circ\text{C}$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	<i>linolenic acid</i>	$-11^\circ\text{C}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{CO}_2\text{H}$	<i>arachidonic acid</i>	$-49^\circ\text{C}$

Gambar 1.8 Struktur asam lemak yang dikenal sebagai omega-3 dan omega-6 serta lemak *trans* dan *cis*

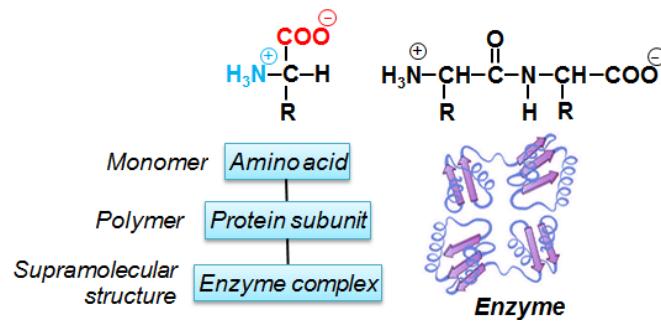
- Asam lemak omega-3, -6 dan -9 dipertimbangkan baik untuk perkembangan otak, fungsi sistem immunitas, dan pengendalian tekanan darah. Asam lemak ini khususnya omega-3 dipertimbangkan dapat mencegah beberapa jenis penyakit. Asam lemak *trans* dipertimbangkan dapat meningkatkan resiko penyakit jantung dengan peningkatan LDL (*low density lipoprotein*) dan penutupan HDL (*high density lipoprotein*).
- Asam lemak adalah komponen utama dari sabun dengan bagian ekor yang larut dalam kotoran berminyak, dan bagian kepala larut dalam air untuk membentuk emusi dan membersihkan kotoran berminyak. Apabila bagian kepala terikat dengan glicerol membentuk lemak, keseluruhan molekul menjadi hidrofobik.

## 2.3 Protein

- Protein adalah molekul besar yang terbentuk dari asam amino dengan ragam fungsi dalam kehidupan organisme (Gambar 1.9). Salah satu fungsi utama protein adalah komponen dari enzim yang mengendalikan reaksi metabolisme dalam sel. Sintesis protein, yang menentukan keberadaan enzim, berada dibawah kendali genetik dan pengaruh lingkungan. Pada tanaman, asam amino yang dibentuk sebagai produk dari assimilasi nitrogen disimpan dalam bentuk protein yang umumnya protein simpanan khusus (Heldt & Piechulla, 2011). Protein simpanan ini tidak mempunyai aktivitas enzim dan sering dideposisi dalam benda (tubuh) protein dalam

sel. Benda protein dibungkus oleh suatu membran tunggal yang berasal dari sistem endomembran dari ER (*endoplasmic reticulum*) dan benda Golgi atau vakuola.

- Pada tanaman, protein simpanan berada dalam endosperm biji tanaman serealia (jenis rumputan seperti padi dan gandum), dan dalam kotiledon dari kebanyakan biji tanaman leguminosa. Kandungan protein dari biji tanaman serealia hanya sekitar 10-15% dari BK (berat kering), sebaliknya mencapai 40-50% dari BK biji dari jenis tanaman leguminosa seperti kedelai. Sebagian besar (~85%) dari protein ini adalah simpanan protein, dan ~70% protein yang dibutuhkan manusia berasal dari tanaman baik langsung maupun tidak langsung.

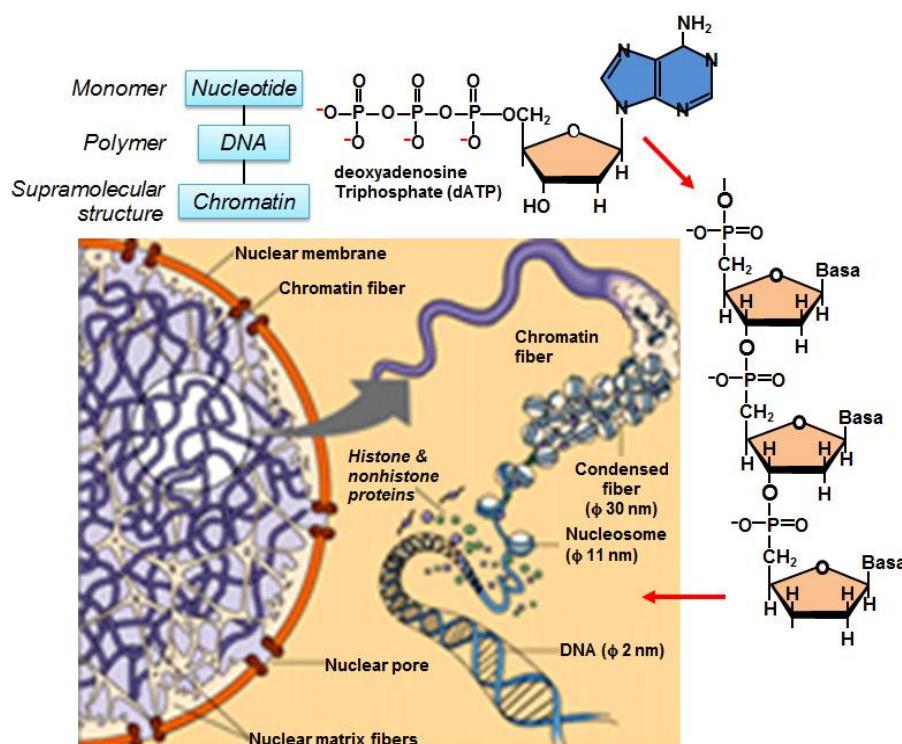


Gambar 1.9 Struktur kristal dari enzim yang terbentuk dari protein sebagai polimer dari asam amino

Gambar 1.9 menunjukkan bahwa protein merupakan polimer dari asam amino. Asam amino memiliki struktur monomer yang terdiri dari atom karbon yang terikat dengan hidrogen, nitrogen, dan oksigen, serta grup karboksilat (-COO<sup>-</sup>). Dua monomer dapat berinteraksi melalui ikatan peptida untuk membentuk dimer, yang selanjutnya dapat berinteraksi dengan monomer lain untuk membentuk protein subunit. Beberapa protein subunit dapat bersatu-satu untuk membentuk kompleks enzim, yang merupakan struktur supramolekul yang terdiri dari banyak protein yang berfungsi bersama-sama.

## 2.4 Asam Nukleat

- Asam nukleat adalah senyawa yang membentuk molekul yang mengandung dan berfungsi dalam transmisi informasi genetik (Gambar 1.10). Nama ini didasarkan sebagian atas hasil pengamatan bahwa senyawa ini adalah bahan utama dari inti sel (nukleus). Asam nukleat yang membentuk dasar kimia untuk penyimpanan dan transmisi sifat genetik tidak diketahui hingga sekitar 70 tahun yang lalu (Coleman, 2005).



Gambar 1.10 Model khromatin (DNA) yang terbentuk dari polimer nukleotida

- Studi struktur dan fungsi asam nukleat perlu untuk dapat memahami bagaimana informasi yang mengendalikan karakteristik suatu organisme disimpan dalam bentuk gen dalam sel dan bagaimana gen ini ditransmisi ke generasi berikutnya. Perkembangan yang pesat dalam bidang rekayasa genetik dan teknologi "recombinant DNA" terjadi sebagai hasil dari pengertian yang rinci akan struktur DNA dan RNA.

### 3. KEPENTINGAN BIOKIMIA

#### 3.1 Manfaat Biokimia

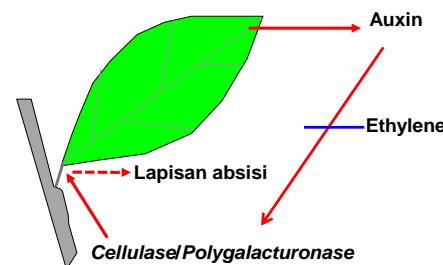
##### **What Is Biochemistry Used For?**

- Biokimia digunakan untuk mempelajari proses biologi yang terjadi dalam sel dan organisme.
- Biokimia dapat digunakan untuk mempelajari sifat molekul biologi untuk ragam tujuan.
  - Misalnya, seorang ahli biokimia dapat mempelajari karakteristik lapisan keratin rambut sehingga suatu sampo (*shampoo*) jenis tertentu dapat dikembangkan untuk meningkatkan gelombang atau kilatan rambut.
- Ahli biokimia menemukan penggunaan biomolekul.
  - Misalnya, suatu jenis lipid dapat digunakan sebagai makanan tambahan (*food additive*).
- Alternatif lain adalah penggunaan pengganti dari suatu biomolekul biasa.
  - Misalnya, ahli biokimia mengembangkan bahan pemanis buatan.
- Ahli biokimia dapat membantu sel menghasilkan produk baru. Terapi gen dan pengembangan mesin biologi berada dalam relung (realm) biokimia.

Manfaat biokimia dalam pengungkapan proses biologi dan sifat biomolekul seperti gugur daun, penyakit encok, keracunan sianida (*cyanide poisoning*), keracunan methanol, dan pengaruh narkotik diuraikan berikut ini.

#### Gugur Daun

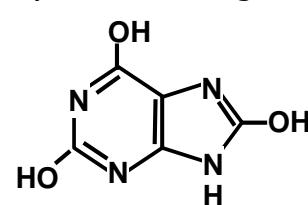
- Daun gugur terjadi akibat perusakan dinding sel pada lapisan absisi oleh aktivitas enzim Cellulase dan Polygalacturonase. Sintesis kedua enzim tersebut terhambat jika kadar hormon tumbuh auxin cukup tinggi.
- Dengan demikian, penghambatan sintesis hormon auxin pada bagian ujung tanaman atau daun akan diikuti dengan sintesis enzim *Cellulase* dan *Polygalacturonase* yang mengakibatkan gugur daun.



Transpor auxin dari ujung daun (tempat sintesis) ke lapisan absisi dihambat ethylene

#### Penyakit encok (*gout*)

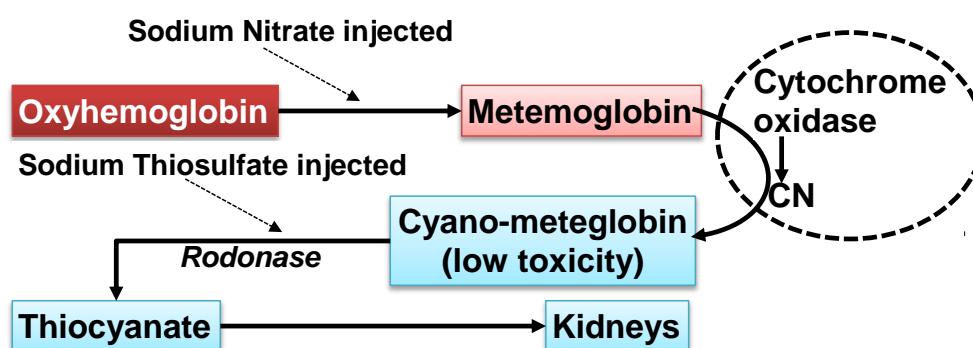
- Dengan landasan biokimia, penyakit encok (*gout*) atau radang sendi dapat diketahui akibat akumulasi asam urat. Radang sendi dipicu oleh presipitasi kristal urat natrium (*sodium urate crystal*). Karena itu, konsumsi sumber asam urat (mis. kopi, daging merah dll.) dianjurkan untuk dihindari bagi orang dengan penyakit asam urat. Penyakit ginjal dapat juga terjadi karena deposisi kristal asam urat.



Struktur kimia asam urat

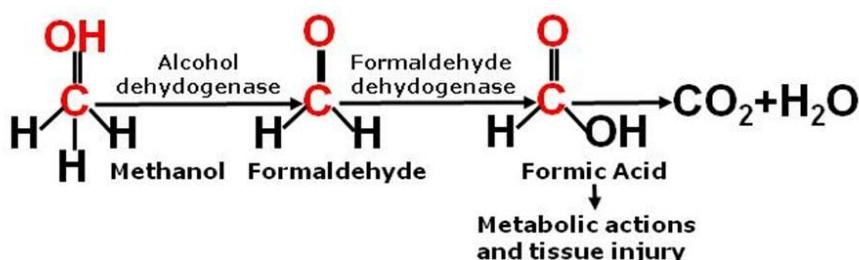
### Keracunan Cyanide (CN)

- Keracunan sianida (CN) berkaitan dengan gangguan metabolisme akibat penghambatan aktivitas enzim yang mengandung logam khususnya ***cytochrome oxidase***.
  - Cytochrome A<sub>3</sub> berfungsi dalam katalisis reaksi elektron dengan O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O pada lintasan reaksi ETC (*electron transfer chain*) atau fosforilasi oksidatif.
  - Keadaan demikian mengakibatkan penghambatan mitokondria dalam penggunaan O<sub>2</sub> dan pembentukan ATP yang berakibat fatal untuk kerja jantung pada manusia.
  - Pemberikan O<sub>2</sub> konsentrasi tinggi dapat mengatasi masalah pada tingkat tertentu.
- Keracunan dapat terjadi melalui absorbs melalui makanan dan pernafasan, dan tingkat gejala keracunan tergantung pada tingkat absorpsi.
- **Antidot** atau penangkal (*antidote*). Antidot spesifik tersedia sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut ini dimana hemoglobin (*oxyhemoglobin*) dengan pemberian natrium nitrat (*sodium nitrate*) berubah menjadi metemoglobin yang dapat mengikat CN yang terikat pada *cytochrome oxidase*. Ini akan menghasilkan *cyanmethemoglobin* dengan tingkat toxicitas yang relatif rendah. Pemberian natrium thiosulfate (*sodium thiosulfate*, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) berfungsi mengubah CN menjadi *thiocyanate* ([SCN]<sup>-</sup>) melalui reaksi yang dikatalisis enzim hati yang dikenal sebagai *rhodanase*.



### Keracunan Metanol

- Tingkat toxicitas metanol (*methanol*) itu sendiri relatif rendah, tetapi asam fomat (*formic acid*) yang dihasilkan dari metabolisme methanol—sebagaimana ditunjukkan reaksi dibawah ini – mengakibatkan keracunan termasuk asidosis (*acidosis*, kemasaman tinggi) dan kebutaan yang menjadi ciri dari keracunan metanol



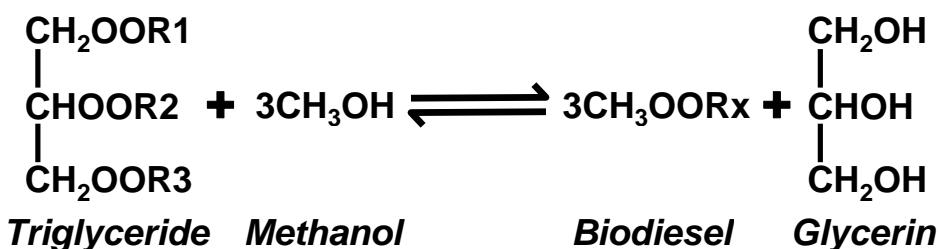
- Reaksi diatas menunjukkan bahwa awal metabolisme metanol dikatalisis oleh enzim ADH (*alcohol dehydrogenase*) dengan hasil formaldehyde

yang berubah menjadi asam format dengan aktivitas enzim *formaldehyde dehydrogenase*.

## Biodiesel

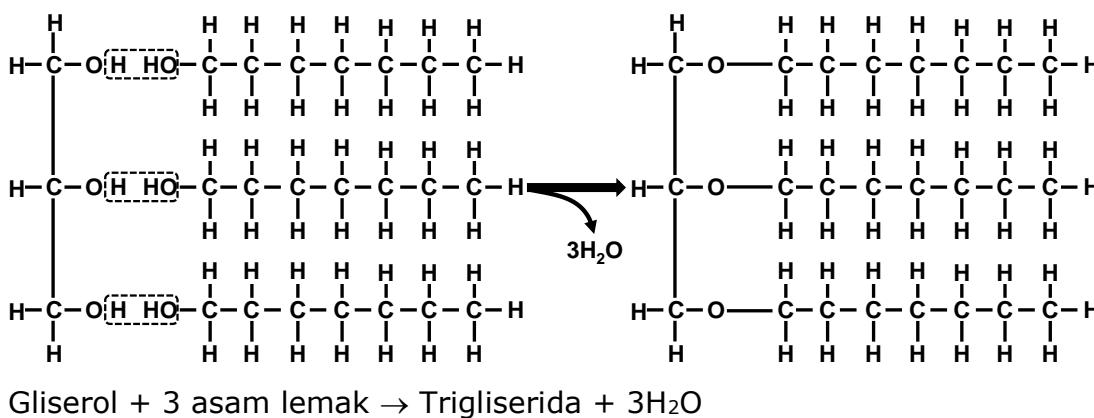
### What is Biodiesel?

- Biodiesel adalah suatu bahan bakar (*fuel*) alternatif untuk mesin diesel yang dibuat dari minyak nabati atau lemak khewan dengan kriteria berikut;
  - lolos uji kesehatan (CAA, *clean air act*),
  - tingkat emisi rendah dengan titik bakar/nyala tinggi ( $>30^{\circ}\text{F}$  atau  $>1,11^{\circ}\text{C}$ ),
  - aman, dapat lapuk secara biologi (*biodegradable*), dan pada dasarnya tidak beracun.
- Molekul biodiesel, secara kimia, adalah *monoalkyl ester* yang dihasilkan biasanya dari *triglyceride ester* dan metanol sebagaimana ditunjukkan reaksi dibawah ini. Reaksi senyawa tersebut disebut transesterifikasi (*transesterification*).



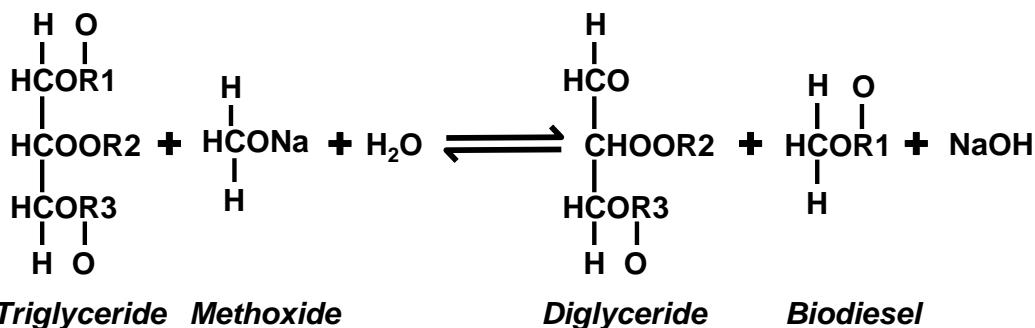
Reaksi transesterifikasi

- Pada molekul trigliserida diatas, R1, R2, dan R3 adalah gugusan *alkyl* ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ ) asam lemak, yang dapat berbeda atau sama tergantung pada jenis minyak. Jenis asam lemak yang digunakan menentukan sifat akhir biodiesel sebagai bahan bakar (*cetane number, cold flow properties* dll.).
- Trigliserida dibuat dari gabungan gliserol (*glycerol*) dengan tiga molekul asam lemak sebagaimana ditunjukkan reaksi berikut.

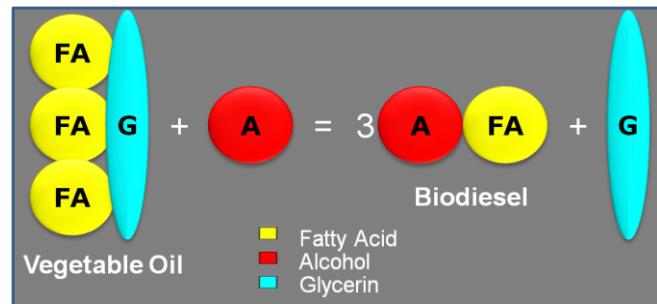


- Tahapan transesterifikasi.** Langkah pertama adalah perubahan trigliserida menjadi digliserida yang diikuti dengan penggabungan metokida (*methoxide*, tanpa Na) dengan asam lemak bebas yang menghasilkan biodiesel. Sementara itu, Na ber-gabung dengan OH, dari air produk pembentuk-

an metoxida, menghasilkan NaOH, dan atom H lain bergabung dengan di-glicerida.

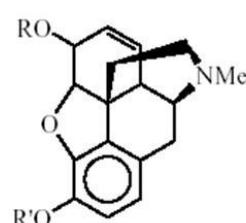


### Contoh Biodiesel



### Analgesik Narkotik

- Transmisi signal saraf lintas celah saraf diblok oleh analgesik narkotik (obat bius penghilang rasa sakit), sedang analgesik minor menghambat sintesis *prostaglandin*.
- Jenis analgesik narkotik utama yang luas dikenal, antara lain, adalah
  - Morphine, codeine, oxycodone (PERCODAN), hydromorphone (DILAUDID), methadone, + heroin (tidak legal)
  - Meperidine (DEMEROL), pentazocine (TALWIN),
  - Fentanyl (SUBLIMAZE), buprenorphine (BUPRENEX)



$\text{R} = \text{R}' = \text{H}$  MORPHINE

$\text{R} = \text{H}; \text{R}' = \text{Me}$  CODEINE

$\text{R} = \text{R}' = \text{COMe}$  HEROIN

- Morphine
  - Opium [estimasi ~ 10,000 tons] diextraksi dari tanaman *Papaver somniferum*, dan Afghanistan sendiri menghasilkan 6.600 ton.
  - Morphine menyatu dengan reseptor (*opiate receptor*) yang mengendalikan aliran  $\text{Ca}^{+2}$  dan  $\text{K}^+$  melalui kanal yang, pada sisi lain, mengendalikan aliran *neurotransmitter*).
  - Komunikasi saraf (*neuron & nerve cells*) antara satu dengan yang lain, atau dengan bagian lain (kelenjar, otot & organ tubuh lain) terjadi melalui pelepasan zat, "neurotransmitters", pada reseptor dari neuron

atau organ bersangkutan. Suatu zat yang secara menyakinkan berfungsi sebagai *neurotransmitter* adalah ***Acetylcholine***.

- Ini yang bersifat adiksi mengakibatkan penekanan sistem respirasi, dan pengaruh overdosis adalah rasa senang berlebihan (*euphoria*)

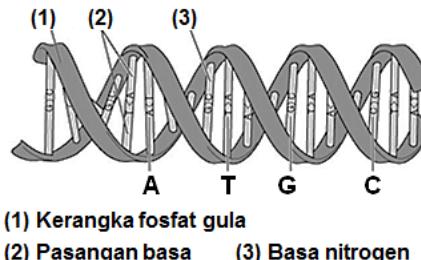
## 3.2 Terobosan Biokimia

### 3.2.1 Enzim dan DNA

- Ada dua terobosan (*breakthrough*) dalam sejarah biokimia
  - Penemuan peranan enzim sebagai katalis
  - Identifikasi asam nukleat sebagai molekul informasi. Aliran informasi terjadi dari asam nukleat ke protein.



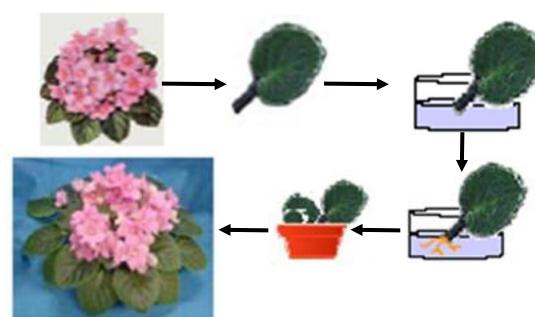
- DNA diidentifikasi pertama-tama pada tahun 1869 oleh Friedrich Miescher yang menyebutnya nuclein, sedangkan struktur liuk (helix) ganda DNA ditemukan oleh James Watson dan Francis Crick pada tahun 1953 atas dasar data yang dikumpulkan oleh Rosalind Franklin dan Maurice. Penemuan ini membuat pernyataan berikut "At lunch Francis [Crick] winged into the Eagle to tell everyone within hearing distance that we had found the secret of life. — James Watson"
- Suatu potongan pendek molekul DNA yang terdiri dari (i) dua polinukelotida yang menyatu membentuk suatu liuk ganda (*double helix*). Informasi genetik berada dalam urutan pasangan basa (A = adenine, T = thymine, G = guanine & C = cytosine).



### 3.3.2 Rekayasa Genetik dan Kloning

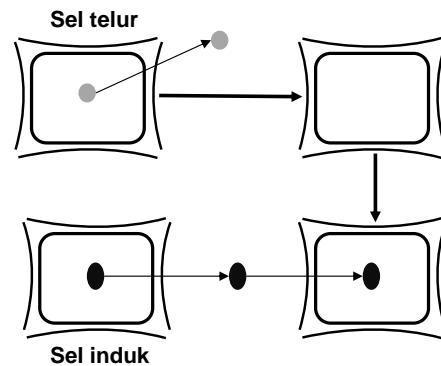
#### *What is Genetic engineering and Cloning?*

- Kemajuan dalam studi genetik (DNA) telah membawa pada pengembangan rekayasa genetik (*genetic engineering*) dan cloning (*cloning*). Rekayasa genetik adalah manipulasi gen yang ditujukan untuk mendapatkan versi tertentu dari organisme. Kloning adalah upaya yang dilakukan untuk menghasilkan organisme yang secara genetik sama.
- Pada tanaman, kloning mudah dilakukan dengan propagasi secara vegetatif seperti bunga dengan bentuk dan warna yang sama. Ini dapat dilakukan dengan langkah berikut; (1) ambil daun dari tanaman yang diinginkan, (2) celupkan tangkai daun tersebut dalam air, (3) akar akan dibentuk dalam satu minggu, dan (4) pindahkan daun dengan akar tersebut ke pot yang berisi media tumbuh untuk menghasilkan tanaman baru dengan gen yang sama dengan induknya.



Tanaman yang dihasilkan dari kloning. Gen yang sama dengan induknya

- Pada khewan, kloning tidak mudah dilakukan dan memerlukan teknologi khusus sebagaimana yang diterapkan pada kloning domba (Dolly). Pada dasarnya, inti sel dari sel telur diambil diganti dengan inti sel dari induk yang telah diisolasi. Sel telur dengan inti sel dari induk dibiakkan dengan teknologi tertentu. Anak domba yang berkembang kemudian dari sel telur tersebut akan sama dengan induknya karena mempunyai gen yang sama.

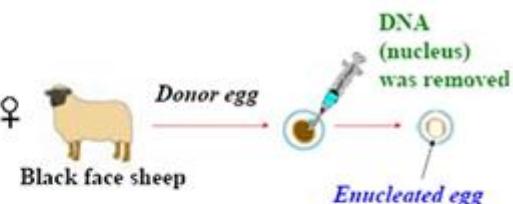


Konsep kloning pada khewan

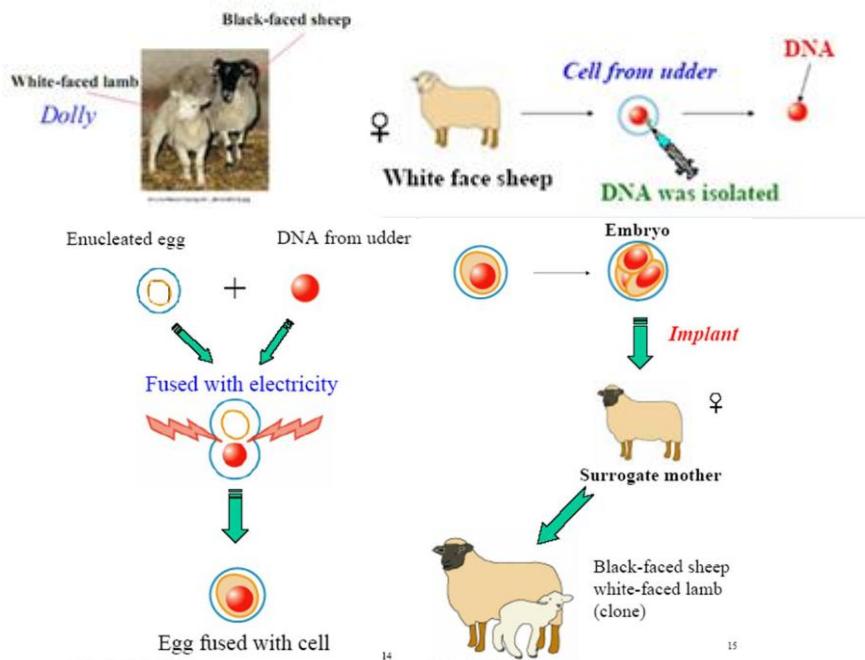
Cells of higher animals (mammals) are much more specialized than plant cells or lower animals.

Therefore, much more difficult to change them to become unspecialized for cloning.

1996-2003 *Dolly the sheep*



The first clone of a mammal



## REFERENSI

- Buchanan, B.B., Gruissem, W., & Jones, R.L. (2015). BIOCHEMISTRY & MOLECULAR BIOLOGY OF PLANTS. John Wiley & Sons, Ltd
- Coleman, W.B. (2005). An Overview of Nucleic Acid Chemistry, Structure, and Function. The Foundations of Molecular Biology. In "Molecular Diagnostics: For the Clinical Laboratorian, Second Edition", W. B. Coleman and G. J. Tsongalis (eds.). Humana Press Inc., Totowa, NJ. pp. 13-24.  
<http://www.springer.com/978-1-58829-356-5>
- Heldt, H-W. and Piechulla, B. (2011). Plant Biochemistry, 4<sup>th</sup> edition. Translation of the 4<sup>th</sup> German edition in cooperation with Fiona Heldt. Academic Press is an imprint of Elsevier, London.

## PROPAGASI

### A. Penguasaan Materi (Membaca dan Menulis kembali)

Penguasaan materi dapat dilakukan dengan membaca modul ini secara cermat yang diikuti dengan membuat catatan/ringkasan dari setiap bagian dengan cara dan bahasa sendiri.

### B. Pendalaman Materi (Studi Literatur)

Pendalaman materi dapat dilakukan dengan studi literatur untuk materi yang dianggap perlu didalami lebih lanjut baik karena tidak jelas atau menarik untuk mendapat informasi lebih rinci.

### C. Pemantapan (Latihan/Evaluasi Mandiri)

Pemantapan dapat dilakukan dengan membuat pertanyaan yang dapat timbul dari setiap bagian materi pembelajaran seperti yang disajikan dibawah ini, dan menjawab pertanyaan tersebut. Ini dapat diikuti dengan pemecahan masalah atau permasalahan (problematik) yang relevan.

#### Pertanyaan

1. Apa yang dimaksud dengan biokimia tanaman, dan apa kegunaannya?
2. Apa molekul utama yang membentuk tubuh tanaman?
3. Apa bahan strukura utama tanaman?
4. Apa yang menjadi focus utama dari biokimia?
5. Apa yang terjadi sehingga daun gugur?

#### Problematik

Masalah atau problematik untuk dipecahkan sendiri atau dalam diskusi kelompok dapat berasal dari materi pembelajaran, studi pustaka dan dari lapangan yang berhubungan dengan topik pembelajaran seperti contoh berikut ini.

### D. Pengembangan (Diskusi Kelompok)

Pengembangan kompetensi dapat dilakukan dengan diskusi kelompok (kelompok studi) untuk

- (a) evaluasi kemampuan yang berkembang dengan upaya yang telah dilakukan,
- (b) mengembangkan kemampuan mengemukakan apa yang telah diketahui secara ilmiah (logis dan sistematis), dan
- (c) untuk membagi kemampuan/pengetahuan antara anggota kelompok diskusi

### E. Entrepreneurship

Kompetensi entrepreneurship dapat dilakukan secara mandiri dan diskusi untuk menggali (explorasi) kegiatan yang dapat dilakukan sebagai bidang usaha (*entrepreneurship*) seperti

- (a) Usaha Jasa/Konsultasi
- (b) Usaha Kreatif (*E-Commerce*)
- (c) Usaha Produksi/Lapangan