

E-BOOK

FISIOLOGI TUMBUHAN



Nio Song Ai
Daniel Peter Mantilen Ludong



E-BOOK

FISIOLOGI TUMBUHAN

**Nio Song Ai
Daniel Peter Mantilen Ludong**



FISIOLOGI TUMBUHAN

Tim Penulis:

Nio Song Ai

Daniel Peter Mantilen Ludong

Desain Cover:

Fawwaz Abyan

Sumber Ilustrasi:

www.freepik.com

Tata Letak:

Handarini Rohana

Editor:

Benedicta Chrysilla Mantilen Ludong

ISBN:

978-623-459-583-3

Cetakan Pertama:

Juli, 2023

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

WIDINA MEDIA UTAMA

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 360/JBA/2020

Website: www.penerbitwidina.com

Instagram: @penerbitwidina

Telepon (022) 87355370

PRAKATA

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulisan buku ini dapat diselesaikan dengan baik. Fisiologi Tumbuhan berkaitan erat dengan fungsi tumbuhan yang melibatkan berbagai reaksi kimia yang mengendalikan metabolisme dalam tubuh tumbuhan. Keberlangsungan proses metabolisme dalam tubuh tumbuhan tidak dapat dilepaskan dari molekul-molekul organik, seperti karbohidrat, protein (termasuk enzim), lipida dan asam nukleat serta porfirin dan asam organik. Buku ini menyajikan informasi singkat tentang molekul-molekul organik yang berperan penting dalam proses fisiologi tumbuhan. Buku ini dapat dipakai sebagai salah satu referensi dalam kegiatan pembelajaran bidang biologi untuk memudahkan pemahaman tentang konsep-konsep dasar fisiologi tumbuhan, khususnya molekul organik yang berperan penting bagi tumbuhan dan juga hewan serta mikroorganisme.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada orang tua kami, keluarga kami, para guru kami, sanak saudara kami, para kolega kami, para mahasiswa kami dan semua pihak yang memberikan motivasi dan inspirasi dalam penulisan buku ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Universitas Sam Ratulangi atas bantuan dana penulisan e-book melalui Lembaga Pembinaan dan Pengembangan Pembelajaran (LP3) Universitas Sam Ratu langi yang memfasilitasi penulisan buku tersebut. Saran dan masukan dari berbagai pihak sangat diharapkan untuk penyempurnaan buku tersebut. Harapan kami buku ini akan bermanfaat dalam upaya mencerdaskan generasi penerus bangsa Indonesia khususnya di bidang biologi.

Manado, Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 KARBOHIDRAT	1
A. Monosakarida	1
B. Gula Alkohol (Poliol), Siklitol, Asam Uronat dan Asam Gula	3
C. Disakarida dan Polisakarida	6
BAB 2 PROTEIN	11
BAB 3 ENZIM	17
A. Sifat-sifat Enzim	19
B. Nomenklatur Enzim	20
C. Klasifikasi Enzim	21
D. Kofaktor: Aktivator, Gugus Prostetik dan Koenzim	24
E. Mekanisme Kerja Enzim	26
F. Denaturasi	29
G. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Reaksi Enzimatis	30
H. Enzim Alosterik dan Kontrol Umpan Balik	37
BAB 4 LIPID	41
BAB 5 ASAM NUKLEAT	43
A. Asam Deoksiribonukleat (DNA)	44
B. Asam Ribonukleat (RNA)	46
C. Nukleotida Penting Lainnya	46
BAB 6 PORFIRIN	49
BAB 7 ASAM ORGANIK	51
DAFTAR PUSTAKA	53
GLOSARIUM	54
PROFIL PENULIS	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Struktur molekul D-gliseraldehida dan L-gliseraldehida	2
Gambar 1.2 Cincin furan dan cincin piran	3
Gambar 1.3 Asam fitat	5
Gambar 1.4 Struktur molekul kimia beberapa asam uronat	5
Gambar 1.5 Struktur dan klasifikasi beberapa monosakarida	7
Gambar 1.6 Sukrosa yang tersusun dari glukosa dan fruktosa	7
Gambar 1.7 Struktur pati dan selulosa	8
Gambar 1.8 Susunan selulosa dalam dinding sel tumbuhan	9
Gambar 2.1 Rumus umum asam amino	12
Gambar 2.2 Struktur 20 macam asam amino yang menyusun sebagian besar protein	13
Gambar 2.3 Ikatan peptida antara dua asam amino yang membentuk protein ..	14
Gambar 3.1 Efek enzim terhadap energi aktivasi	27
Gambar 3.2 Kompleks enzim-substrat sebagai model kunci dan anak kunci ..	28
Gambar 3.3 Modifikasi tempat aktif menurut hipotesis induced fit	29
Gambar 3.4 Pengaruh konsentrasi enzim terhadap laju reaksi jika konsentrasi substrat konstan	31
Gambar 3.5 Pengaruh konsentrasi substrat terhadap laju reaksi jika konsentrasi enzim konstan	32
Gambar 3.6 Pengaruh pH medium terhadap aktivitas dua macam enzim yang berbeda	34
Gambar 3.7 Penghambatan suksinat dehidrogenase oleh malonat yang mengubah suksinat menjadi fumarat	36
Gambar 3.8 Penghambatan umpan balik dan aktivasi umpan balik	38
Gambar 3.9 Suatu model yang menunjukkan pengaruh aktivator dan represor terhadap enzim alosterik, sehingga mempengaruhi laju reaksi kimia	39
Gambar 4.1 Struktur molekul kimia asam fosfatidat, fosfolipid dan glikolipid ..	42
Gambar 5.1 Struktur komponen asam nukleat	44
Gambar 5.2 Struktur molekul asam deoksiribonukleat (DNA)	45
Gambar 6.1 Struktur satu cincin pirol dan dua tetrapirrol yang penting, yaitu hem dan klorofil a	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Gambaran umum fungsi protein.....	16
Tabel 5.1 Komposisi DNA dan RNA.....	44



KARBOHIDRAT

Unsur-unsur utama penyusun karbohidrat ialah karbon, hidrogen dan oksigen, tetapi banyak molekul karbohidrat yang merupakan derivat terfosforilasi dan ada juga beberapa karbohidrat yang mengandung unsur nitrogen. Karbohidrat yang terlibat dalam reaksi kimia umumnya berupa monosakarida (seperti glukosa, fruktosa dan arabinosa), sedangkan karbohidrat struktural dan karbohidrat yang merupakan cadangan makanan merupakan polisakarida.

Salah satu karakteristik sel tumbuhan yang membedakannya dengan sel hewan ialah adanya dinding sel yang kaku pada sel tumbuhan. Dinding sel ini tersusun terutama oleh selulosa. Polimer selulosa tersusun dari beberapa ribu monomer glukosa yang membentuk mikrofibril yang panjang, sehingga memberikan struktur yang kaku pada dinding sel. Tumbuhan juga mengandung pati yang merupakan polimer lain dari glukosa. Molekul pati ini mengandung beberapa ribu molekul glukosa, tetapi tidak membentuk struktur mikrofibril seperti halnya selulosa.

A. MONOSAKARIDA

Monomer karbohidrat dinamakan monosakarida yang mempunyai rumus umum $(\text{CH}_2\text{O})_n$. Banyak sekali molekul yang mempunyai rumus umum seperti ini, tetapi hanya ada beberapa molekul yang berperan



BAB
2

PROTEIN

Protein merupakan polimer biologi terpenting yang berperan dalam hampir semua aspek kehidupan. Protein tersusun atas satu rantai polipeptida atau lebih. Tiap rantai polipeptida biasanya disusun oleh ratusan asam amino. Komposisi dan ukuran tiap protein tergantung pada macam dan jumlah asam amino penyusunnya. Pada umumnya suatu protein dapat tersusun atas 18 sampai dengan 20 macam asam amino yang berbeda, tetapi sebagian besar protein tersusun dari 20 macam asam amino yang berbeda. Di samping itu tumbuhan dapat mengandung 20 sampai dengan 40 macam asam amino tambahan yang ditemukan bebas dalam ekstrak tumbuhan, tetapi jarang ditemukan sebagai penyusun protein.

Jumlah seluruh asam amino penyusun suatu protein sangat bervariasi dan berat molekul protein juga bervariasi. Sebagai salah satu macam makromolekul, berat molekul protein berkisar antara beberapa ribu hingga beberapa juta. Protein dengan berat molekul 5000 mengandung kira-kira 50 buah asam amino, sedangkan protein dengan berat molekul 100.000 dapat tersusun atas 1.000 buah asam amino. Sebagian besar protein yang terdapat pada tumbuhan mempunyai berat molekul kira-kira 40.000, tetapi ferredoksin yang terlibat dalam fotosintesis mempunyai berat molekul 11,5 dan ribulosa bifosfat karboksilase yang merupakan salah satu enzim dalam proses fotosintesis



BAB
3

ENZIM

Salah satu ciri penting dari organisme hidup ialah berlangsungnya sejumlah reaksi kimia yang kompleks secara teratur dan terkoordinasi dengan baik di dalam sel-sel penyusunnya. Pada satu waktu tertentu berbagai macam reaksi kimia dapat berlangsung di dalam sel-sel organisme hidup, tetapi tidak terjadi kekacauan. Senyawa yang berperan dalam mengatur seluruh reaksi kimia ini ialah **enzim**. Pada dasarnya enzim merupakan suatu protein yang mempunyai aktivitas katalisis. Keseluruhan reaksi kimia yang berlangsung di dalam sel hidup disebut **metabolisme**. Ribuan reaksi kimia berlangsung di dalam sel dan berbagai senyawa dapat disintesis dalam sel-sel hidup untuk menghasilkan organel-organel dan struktur-struktur lain yang terdapat di dalam sel hidup. Selain enzim, tumbuhan juga menghasilkan sejumlah senyawa kompleks yang dinamakan **metabolit sekunder**, yang berperan untuk melindungi tumbuhan dari gangguan insekta, bakteri, jamur dan patogen-patogen lainnya. Di samping itu tumbuhan juga menghasilkan vitamin yang berguna bagi tumbuhan (dan juga organisme lainnya seperti hewan dan manusia) serta hormon yang terdapat di bagian tertentu dari tumbuhan dan berfungsi untuk mengontrol dan mengkoordinasi proses perkembangan tumbuhan.



BAB
4

LIPID

Semua lipid tersusun atas atom karbon, oksigen dan hidrogen, tetapi ada beberapa lipid yang juga mengandung nitrogen, fosfor dan atau sulfur. Lemak dan molekul seperti lemak dikelompokkan ke dalam lipid didasarkan pada sifat kelarutannya, yakni tidak dapat larut dalam air, tetapi larut dalam beberapa senyawa seperti kloroform, benzen dan petroleum eter. Pada umumnya lemak terdiri atas gliserol dan asam lemak berantai panjang. Asam lemak mempunyai rumus umum $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_x \text{COOH}$. Simbol x biasanya merupakan angka genap, misalnya asam palmitat yang merupakan suatu asam lemak jenuh mempunyai rumus kimia $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$.

Lemak yang kadang-kadang dinamakan lemak netral berperan sebagai cadangan makanan, terutama di dalam biji. Kelompok lemak lainnya terutama fosfolipid dan glikolipid dapat ditemukan pada semua membran. Kelompok lemak lainnya dengan komposisi lemak yang berbeda dengan lemak pada umumnya ialah lilin (malam) dan kutikula.

Komposisi dasar kimia fosfolipid ialah asam fosfatidat. Gugus fosfat dari asam fosfatidat dapat ditambahkan untuk membentuk fosfolipid lain. Fosfolipid merupakan salah satu penyusun membran yang penting dan terdapat dalam jumlah banyak. Gugus fosfat dalam asam fosfatidat dan kolin dapat larut dalam air (bersifat hidrofilik), sedangkan asam lemak tidak dapat larut dalam air (bersifat hidrofobik). Glikolipid



BAB
5

ASAM NUKLEAT

Asam nukleat merupakan suatu polimer yang terdiri atas banyak monomer yang disebut nukleotida. Ada dua macam asam nukleat yang dapat ditemukan di dalam sel yaitu asam deoksiribonukleat (deoxyribonucleic acid/DNA) dan asam ribonukleat (ribonucleic acid/RNA). Kedua macam asam nukleat ini merupakan makromolekul yang berukuran besar. Berat molekul DNA dapat mencapai dua milyar, sedangkan RNA dengan bentuk dan ukuran yang bervariasi mempunyai berat molekul dari 25.000 sampai dengan 2 juta.

Tiap nukleotida disusun oleh satu buah basa nitrogen, satu buah gula pentosa dan satu buah asam fosfat. Kombinasi satu basa nitrogen dengan satu gula pentosa tanpa asam fosfat disebut satu nukleosida (Gambar 5.1). Komponen penyusun nukleotida DNA dan RNA berbeda seperti yang terlihat pada Tabel 5.1. Ada dua kelompok basa nitrogen yang menyusun DNA dan RNA, yaitu purin dan pirimidin. Dua basa purin yang menyusun DNA maupun RNA ialah adenin dan guanin, sedangkan basa pirimidin yang menyusun kedua macam asam nukleat ini ialah sitosin. Basa pirimidin lain yang menyusun DNA ialah timin dan basa pirimidin lain yang menyusun RNA ialah urasil. Komponen gula pentosa penyusun DNA berbeda dengan penyusun RNA. DNA mengandung gula deoksiribosa, sedangkan RNA mengandung gula



BAB
6

PORFIRIN

Molekul porfirin tersusun atas cincin-cincin pirol, contohnya klorofil dan hem. Klorofil dan hem mengandung empat cincin pirol yang saling berikatan dan membentuk tetrapiol (Gambar 6.1). Molekul klorofil mengandung satu atom magnesium yang terikat dengan atom nitrogen dari cincin pirol. Satu molekul alkohol berantai panjang yakni fitil alkohol (fitol) teresterifikasi pada salah satu dari empat cincin pirol. Molekul hem juga merupakan suatu tetrapiol yang mengandung satu atom besi. Molekul hem berasosiasi dengan protein khusus yang berperan dalam beberapa reaksi metabolisme.



BAB
7

ASAM ORGANIK

Beberapa asam organik alifatik dapat ditemukan di dalam sel-sel tumbuhan dan asam organik-asam organik ini terlarut dalam sitoplasma dan vakuola. Asam organik-asam organik yang penting terlibat dalam respirasi dan mengandung dua hingga enam atom karbon. Beberapa asam organik lainnya tertimbun di dalam vakuola dan menyebabkan cairan vakuola bersifat agak asam dengan pH berkisar 5,5-6,5. Cairan vakuola pada sel-sel penyusun buah muda mempunyai pH yang lebih rendah daripada nilai tersebut.

Pada sebagian besar sel tumbuhan dapat ditemukan tiga macam molekul asam organik dengan dua atom karbon, yaitu asam glikolat, asam glioksilat dan asam oksalat. Asam glikolat dan asam glioksilat terdapat dalam daun, terutama pada kloroplas. Asam oksalat biasanya ditemukan sebagai kristal tidak larut, misalnya kalsium oksalat dalam vakuola. Asam glikolat dan asam glioksilat berperan penting dalam proses respirasi dan fotosintesis, sedangkan asam oksalat merupakan produk sampingan yang fungsinya belum diketahui sampai saat ini. Asam glikolat dan asam glioksilat terdapat dalam jumlah sedikit di dalam sel tumbuhan, tetapi dengan sebaran yang lebih luas daripada asam oksalat.

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell NA, Reece JB, Urry LA, Cain ML, Wasserman SA, Minorsky PV, Jackson RB. 2010. Biologi Jilid 1. Edisi ke-8. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Sasmitamihardja D, Siregar AH. 1996. Fisiologi Tumbuhan. Proyek Pendidikan Akademik Dirjen Dikti. Depdikbud. Bandung.
- Salisbury FB, Ross CW. 1992. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company. Belmont. California.
- <https://www.avkimia.com/2017/04/monosakarida.html>
- <https://www.istockphoto.com/id/vektor/asam-fitat-asam-fytic-fitat-fito-molekul-myo-inositol-hexakisphosphate-ini-memiliki-gm1267500751-371914628>
- <https://www.harapanrakyat.com/2023/03/sifat-asam-amino-yang-sangat-dibutuhkan-beserta-klasifikasinya/>
- <https://123dok.com/document/zw13180q-protein-biuret-kelompok-g-departemen-biokimia.html>

GLOSARIUM

Asam amino sejenis molekul organik yang mempunyai gugus karboksil sekaligus gugus amino

Asam deoksiribonukleat asam nukleat yang berantai ganda dan berbentuk heliks, tersusun atas monomer-monomer nukleotida dengan gula deoksiribosa dan basa bernitrogen: adenin (A), sitosin (C), guanin (G) dan timin (T)

Asam nukleat polimer (polinukleotida) yang terdiri atas banyak monomer (nukleotida), berperan sebagai cetak biru protein dan melalui kerja protein, untuk semua aktivitas sel

Asam ribonukleat asam nukleat yang terdiri dari monomer-monomer nukleotida dengan satu gula ribosa dan satu basa bernitrogen: adenin (A), sitosin (C), guanin (G) dan urasil (U), biasanya berantai tunggal

Denaturasi proses penguraian protein sehingga kehilangan bentuk aslinya dan menjadi tidak aktif secara biologis

Disakarida gula ganda, terdiri dari dua monosakarida yang digabungkan oleh tautan ikatan glikosida yang terbentuk saat sintesis dehidrasi

Energi aktivasi jumlah energi yang harus diserap oleh reaktan sebelum reaksi kimiawi dimulai

Enzim makromolekul yang berperan sebagai katalis, agen kimiawi yang mengubah laju reaksi tanpa ikut terlibat dalam reaksi

Fosfolipid lipid yang tersusun atas gliserol yang bergabung dengan dua asam lemak dan satu gugus fosfat serta membentuk lapisan ganda yang berfungsi sebagai membran biologis

Glikolipid lipid yang berikatan secara kovalen dengan karbohidrat

Gugus sulfhidril gugus kimia yang mengandung satu atom sulfur yang berikatan ke satu hidrogen

Hem protein yang mengandung besi dalam sel darah merah yang berikatan dengan oksigen secara dapat balik

- Karbohidrat** senyawa organik terdiri dari unsur karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) dengan perbandingan 1 atom C, 2 atom H, 1 atom O
- Klorofil** pigmen hijau dalam tilakoid (membran fotosintetik) yang terlibat dalam menangkap cahaya sebagai tahap pertama fotosintesis
- Koenzim** molekul organik yang berperan sebagai kofaktor, sebagian besar vitamin berfungsi sebagai koenzim dalam berbagai reaksi metabolisme
- Kofaktor** setiap molekul non protein atau ion non protein lain yang dibutuhkan agar suatu enzim dapat berfungsi dengan benar. Kofaktor dapat terikat secara permanen ke situs aktif atau mungkin berikatan secara longgar dengan substrat selama katalisis
- Lipid** salah satu anggota kelompok senyawa, termasuk lemak, fosfolipid dan steroid, yang hanya sedikit larut atau bahkan tidak larut sama sekali dalam air
- Monosakarida** karbohidrat paling sederhana, aktif dalam kondisi tunggal atau berperan sebagai monomer bagi disakarida dan polisakarida
- Nukleotida** penyusun asam nukleat, terdiri atas gula berkarbon lima yang berikatan secara kovalen ke sebuah basa bernitrogen dan gugus fosfat
- Pati** bentuk cadangan polisakarida dalam tumbuhan, tersusun atas monomer glukosa yang digabungkan oleh tautan α -glikosidik
- Petal** daun yang termodifikasi pada tumbuhan berbunga, petal seringkali merupakan bagian bunga yang berwarna-warni yang dapat menarik perhatian serangga dan agen penyerbuk lainnya
- Polisakarida** polimer yang tersusun atas banyak monosakarida, terbentuk melalui reaksi dehidrasi

Protein molekul biologis fungsional yang terdiri atas satu polipeptida atau lebih yang melipat dan menggulung menjadi struktur spesifik tiga dimensi

Selulosa polisakarida struktural yang menyusun dinding sel tumbuhan, terdiri atas monomer glukosa yang dihubungkan oleh tautan glikosidik β

PROFIL PENULIS



Prof. Dra. **Nio Song Ai**, MSi. PhD. dilahirkan di Malang, Jawa Timur pada tanggal 4 Februari 1969. Penulis menyelesaikan program sarjananya pada tahun 1992 di Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IKIP Malang (sekarang Universitas Negeri Malang).

Pada tahun 1992 penulis mengikuti program pra S2 di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung dan dinyatakan lulus untuk mengikuti program Magister Biologi di perguruan tinggi yang sama pada tahun 1993. Gelar Master Sains (MSi) diperoleh dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 1996, sedangkan gelar PhD di bidang Plant Biology diperoleh pada tahun 2010 dari School of Plant Biology, Faculty of Natural and Agricultural Sciences, The University of Western Australia.

Sejak tahun 1995 penulis diangkat menjadi dosen di Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT) Manado dan saat ini penulis bertugas sebagai Guru Besar di Program Studi Biologi Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sam Ratulangi. Penulis mengampu beberapa mata kuliah, di antaranya Fisiologi Tumbuhan, Ekofisiologi Tumbuhan, Metabolisme Tumbuhan, Fitohormon, Struktur dan Perkembangan Tumbuhan, Morfologi

Tumbuhan, Anatomi Tumbuhan, Embriologi Magnoliophyta, Metode Penelitian Biologi, Biologi Sel dan Molekular serta Biologi Dasar. Sejak tahun 1994 sampai sekarang penulis aktif melakukan berbagai penelitian (mandiri, didanai oleh DIKTI Kemendikbud dan Kemenristekdikti serta pembimbing tugas akhir dan magang mahasiswa) dan pengabdian kepada masyarakat serta menulis berbagai artikel ilmiah yang berkaitan dengan respons tanaman, terutama gandum, padi dan puring terhadap kekurangan air atau kekeringan, kebanjiran atau genangan air, naungan dan salinitas.

Dalam menjalankan tugas sebagai dosen, penulis diberi kepercayaan untuk menjabat beberapa jabatan akademis, yakni Koordinator Bidang Biologi FMIPA UNSRAT (1998-2000), Sekretaris Jurusan Biologi FMIPA UNSRAT (2000-2002), Kepala Bioteknologi FMIPA UNSRAT (2002-2004), Ketua Unit Penjamin Mutu FMIPA UNSRAT (2012-2015). Di samping itu penulis juga pernah menjadi Ketua Redaksi Jurnal Ilmiah SAINS terbitan FMIPA UNSRAT (2000-2004), Ketua Redaksi Jurnal Bios Logos terbitan Jurusan Biologi FMIPA UNSRAT (2011-2019), dan Anggota Redaksi Jurnal MIPA Online UNSRAT (2017-sekarang). Penulis diberi kepercayaan oleh institusi untuk menjalankan tugas tambahan sebagai Ketua Jurusan Biologi dan merangkap sebagai Koordinator Program Studi Biologi di FMIPA UNSRAT sejak tahun 2015-2019. Pada saat ini penulis diberi tugas sebagai Kepala Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu Universitas Sam Ratulangi periode 2022-2026.

Penulis juga memperoleh beberapa penghargaan, yaitu Tanda Kehormatan Satyalancana Karya Satya X dari Presiden RI pada tahun 2013, Dosen Berprestasi I Tingkat Fakultas dari Dekan FMIPA UNSRAT, Dosen Berprestasi I Tingkat Universitas dari Rektor UNSRAT pada tahun 2014 dan Tanda Kehormatan Satyalancana Karya Satya XX dari Presiden RI pada tahun 2017. Di samping itu pada tahun 2022 memperoleh HKI untuk jenis paten sederhana dengan judul Metode Seleksi Bibit Padi Tahan Banjir berdasarkan Konsentrasi Klorofil Daun. HKI untuk jenis Hak Cipta juga diperoleh untuk beberapa buku yang sudah diterbitkan, di antaranya Biologi Dasar

dalam Praktek pada tahun 2020 dan Biologi Tumbuhan dalam Praktek pada tahun 2022.

Penulis telah menulis sepuluh buah buku, yaitu Fisiologi Tanaman pada Saat Kekeringan yang diterbitkan pada tahun 2015, Fisiologi Tanaman pada Saat Kekeringan Edisi Revisi yang diterbitkan pada tahun 2016, Fisiologi Tumbuhan dalam Praktek dan Ekofisiologi Tumbuhan yang diterbitkan pada tahun 2017, Peran Hormon dalam Perkembangan Tumbuhan yang diterbitkan pada tahun 2019, Fisiologi Fotosintesis dan Biologi Dasar dalam Praktek yang diterbitkan pada tahun 2020, Konsep-konsep Dasar Biologi Tumbuhan pada tahun 2021 serta Bunga, Buah dan Biji pada Tanaman Khas Sulawesi Utara dan Biologi Tumbuhan dalam Praktek pada tahun 2022.

Penulis menikah dengan Ir. Daniel Peter Mantilen Ludong, MSc. dan dikaruniai seorang putri, Benedicta Chrysilla Mantilen Ludong.



Ir. **Daniel Peter Mantilen Ludong**, MSc. dilahirkan di Tondano, Sulawesi Utara pada tanggal 12 Agustus 1964. Penulis menyelesaikan program sarjananya pada tahun 1989 di Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi. Pada tahun 2009, penulis menyelesaikan program magister di bidang pengelolaan tanah dan air di Curtin University of Technology, Perth, Australia.

Sejak tahun 2000 penulis diangkat menjadi dosen di Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT) Manado dan saat ini penulis bertugas sebagai Lektor di Program Studi Teknik Pertanian Jurusan Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi. Penulis mengampu beberapa mata kuliah, di antaranya Biofisika Tanah dan Tanaman, Teknik Konservasi Tanah dan Air, Hidrologi Teknik serta Irigasi dan Drainase. Sejak tahun 2000 sampai sekarang penulis aktif melakukan berbagai penelitian (mandiri, didanai oleh DIKTI Kemendikbud dan Kemenristekdikti serta pembimbing tugas akhir dan magang mahasiswa), kegiatan pengabdian kepada masyarakat dan menulis berbagai artikel ilmiah yang berkaitan dengan hidrologi dan irigasi.

Dalam menjalankan tugas sebagai dosen, penulis diberi kepercayaan untuk menjabat beberapa jabatan akademis, yakni Sekretaris Prodi Teknik Pertanian (2010 - 2014) dan Kepala Laboratorium Keteknikan (2015 - 2022). Penulis juga memperoleh penghargaan, yaitu Tanda Kehormatan Satyalancana Karya Satya X dari Presiden RI pada tahun

2016. Di samping itu pada tahun 2022 memperoleh HKI untuk jenis paten sederhana dengan judul Rancangan Alat Pemotong Semak Berputar yang Didorong dengan Traktor Tangan pada Lahan Berlereng.

Penulis telah menulis dua buah buku yang berjudul Ekofisiologi Tumbuhan yang diterbitkan pada tahun 2017 dan Peran Hormon dalam Perkembangan Tumbuhan yang diterbitkan pada tahun 2019.

Penulis menikah dengan Prof. Dra. Nio Song Ai, MSi. PhD. dan dikaruniai seorang putri, Benedicta Chrysilla Mantilen Ludong.

FISIOLOGI TUMBUHAN

Fisiologi Tumbuhan berkaitan erat dengan fungsi tumbuhan yang melibatkan berbagai reaksi kimia yang mengendalikan metabolisme dalam tubuh tumbuhan. Keberlangsungan proses metabolisme dalam tubuh tumbuhan tidak dapat dilepaskan dari molekul-molekul organik, seperti karbohidrat, protein (termasuk enzim), lipida dan asam nukleat serta porfirin dan asam organik. Buku ini menyajikan informasi singkat tentang molekul-molekul organik yang berperan penting dalam proses fisiologi tumbuhan. Buku ini dapat dipakai sebagai salah satu referensi dalam kegiatan pembelajaran bidang biologi untuk memudahkan pemahaman tentang konsep-konsep dasar fisiologi tumbuhan, khususnya molekul organik yang berperan penting bagi tumbuhan dan juga hewan serta mikroorganisme.

Prof. Dra. Nio Song Ai, MSi. PhD. menyelesaikan studi S1 di IKIP Malang, S2 di Institut Teknologi Bandung dan S3 di University of Western Australia, Perth Australia di bidang biologi. Saat ini penulis bekerja sebagai tenaga pendidik di Program Studi Biologi, Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Sam Ratulangi.

Ir. Daniel Peter Mantilen Ludong, MSc. menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknologi Pertanian Universitas Sam Ratulangi dan S2 di Curtin University of Technology, Perth Australia di bidang pengelolaan tanah dan air. Saat ini penulis bekerja sebagai tenaga pendidik di Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi.