

HORMON TUMBUHAN

Auksi ● Sitokinin ● Giberelin ● Etilen ● Asam Absisat



Dr. Revis Asra, M.Si
Ririn Ananda Samarlina
Dr. Mariana Silalahi, M.Si

HORMON TUMBUHAN

HORMON TUMBUHAN

PENULIS:

Dr. Revis Asra, M. Si

Ririn Ananda Samarlina

Dr. Mariana Silalahi, M. Si



UKI Press

2020

HORMON TUMBUHAN

HORMON TUMBUHAN

PENULIS:

Dr. Revis Asra, M. Si

Ririn Ananda Samarlina

Dr. Mariana Silalahi, M. Si

Editor:

Indri Jatmoko, S. Si (Teol)., MM

ISBN: 978-623-7256-45-8

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

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Pengertian Hormon

Hormon berasal dari salah satu kosakata bahasa Yunani (bahasa Gerika) yakni *Hormein* yang berarti menggerakkan. Adapula yang mengartikan hormon sebagai *chemical messenger* (pembawa pesan kimia). Hormon merupakan senyawa organik yang diproduksi oleh suatu bagian tubuh dalam konsentrasi kecil dan diangkut kebagian lain yang nantinya dapat mempengaruhi sel ataupun organ target sebagai bentuk dari respon fisiologis. Hormon berperan dalam mengatur pertumbuhan dan perkembangan.

Kata hormon awalnya hanya digunakan untuk menganalogikan fungsi dari hormon yang terdapat pada hewan oleh ahli fisiologi hewan. Para ahli tersebut mengartikan hormon sebagai senyawa organik yang dapat bekerja secara efektif dalam konsentrasi rendah, diproduksi dalam suatu sel tertentu dan diangkut kebagian lain dalam tubuh organisme yang nantinya akan menyebabkan perubahan fisiologis. Para ahli fisiologi hewan mengartikan hormon sebagai senyawa-senyawa ataupun ion-ion organik yang bukan merupakan nutrisi yang dapat bekerja secara aktif dalam konsentrasi rendah. Intinya hormon merupakan zat yang dapat menggerakkan (*tigger*) suatu perubahan metabolisme sebagai bentuk dari respon fisiologis (Liu, 2012).

Berikut adalah beberapa istilah yang biasa digunakan dalam kajian hormon tumbuhan:

- Hormon tumbuhan (fitohormon) merupakan senyawa organik (non-nutrisi) yang disintesis pada bagian tertentu disuatu tumbuhan kemudian ditranslokasikan ke bagian lain pada tumbuhan. Bagian tumbuhan yang ditranslokasikan tersebut akan memberikan respon baik secara fisiologis,

morfologis maupun biokimia. Namun, senyawa ini hanya aktif dalam jumlah yang kecil (umumnya $<1\text{mM}$, tergantung pada spesies tanaman).

- Zat pengatur tumbuh (*plant growth regulator*) merupakan senyawa organik (non- nutrisi) yang mampu mendorong maupun menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara kualitatif. Senyawa ini aktif dalam konsentrasi rendah (umumnya $<1\text{mM}$, tergantung pada spesies tanaman).
- Inhibitor merupakan senyawa organik yang dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dan tidak mampu mendorong pertumbuhan tanaman pada konsentrasi berapapun (Taiz and Zenger, 2006).

Hormon-hormon pada hewan dapat dikoleksi dalam jumlah banyak dan dapat diidentifikasi dengan mudah sebab sistem sirkulasi dari hewan yang lebih teratur. Konsep hormon dari para ahli fisiologi hewan inilah yang kemudian menjadi patokan bagi para ahli fisiologi tumbuhan. Beberapa zat yang terdapat pada tumbuhan memiliki sifat yang sama dengan beberapa zat yang terdapat pada hewan. Sehingga para ahli yakin untuk menggunakan kata “fitohormon” untuk menyebut hormon yang terdapat pada tumbuhan. Konsep hormon pada hewan berbeda dengan konsep hormon pada tumbuhan. Hormon pada tumbuhan dihasilkan dari jaringan non-spesifik (biasanya berupa jaringan yang bersifat meristematik) ketika mendapatkan rangsangan. Hal ini tentu berbeda dengan hormon pada hewan, hormon pada hewan diproduksi pada suatu jaringan khusus berupa kelenja buntu atau endokrin. Translokasi hormon tumbuhan melalui sitoplasma atau ruang antar sel, dengan kata lain penyebaran dari hormon tumbuhan tidak selalu melalui sistem pembuluh (meskipun ada sistem transpor fitohormon melalui xylem dan floem).

Dalam kehidupan bermasyarakat banyak yang menyamakan zat pengatur tumbuh (ZPT) dengan istilah fitohormon, nutrisi dan vitamin. Padahal keempat sebutan tersebut berbeda.

1. Zat Pengatur Tumbuh (*ZPT/Plant Growth Regulator*) merupakan senyawa organik non-nutrisi pada tumbuhan yang aktif berkerja dalam merangsang, menghambat atau mengubah pertumbuhan dan perkembangan dari suatu tumbuhan pada konsentrasi yang rendah. Pertumbuhan serta perkembangan tersebut bisa secara kualitatif maupun secara kuantitatif. ZPT ini bisa dihasilkan langsung dari tanaman (endogen) ataupun diberikan dari luar berupa sintetis (eksogen).
2. Fitohormon adalah senyawa organik non-nutrisi yang diproduksi pada bagian tertentu dari tanaman, ditranslokasikan ke bagian lain kemudian dapat memberikan respon khusus baik itu respon fisiologis, biokimia maupun morfologis.
3. Nutrisi adalah unsur senyawa kimia yang diperlukan oleh tumbuhan untuk proses metabolisme dan pertumbuhan.
4. Vitamin adalah senyawa organik yang diproduksi pada bagian tertentu oleh suatu tumbuhan dan aktif bekerja pada bagian tersebut juga (tidak terjadi translokasi) dalam jumlah yang kecil.

Berdasarkan pengertian dari beberapa istilah tersebut maka vitamin dan nutrisi (misalnya gula) tidak termasuk dalam hormon tumbuhan (fitohormon).

Penggunaan istilah zat pengatur tumbuh (*ZPT/ Plant Growth Regulator*) digunakan oleh para ahli dibidang fisiologi tumbuhan untuk menyebut hormon pada tumbuhan. Istilah ini dapat mencakup hormon endogen maupun hormon eksogen. Hormon pada tumbuhan dapat dihasilkan dari individu itu sendiri (hormon *endogen*) maupun dapat diberikan dari luar individu (hormon *eksogen*). Bahan kimia sintetis yang dapat memberikan

respon yang sama dengan fitohormon alami dikenal dengan istilah hormon *eksogen* (Widiyati, 2016).

Hormon adalah senyawa organik non-nutrisi yang aktif dalam konsentrasi rendah (sekitar 10^{-6} - 10^{-5} Mm), disintesis pada suatu bagian tertentu pada tumbuhan dan kemudian diangkut ke bagian lain pada tumbuhan yang nantinya dapat memberikan respon secara biokimia, morfologis maupun fisiologis (Dewi, 2008). ZPT sangat diperlukan oleh tumbuhan sebagai medium dalam pertumbuhan dan perkembangannya. Berdasarkan definisi tersebut, ciri-ciri dari hormon ialah sebagai berikut:

1. Merupakan senyawa organik hasil biosintesis tumbuhan itu sendiri,
2. Dapat ditranslokasikan kebagian tumbuhan yang lain
3. Tempat pembuatan (biosintesis) dan tempat bekerjanya berbeda
4. Aktif dalam konsentrasi yang rendah

Hormon mempengaruhi dan mengontrol perkembangan tumbuhan. Hormon memiliki fungsi untuk mengatur metabolisme, pertumbuhan, maupun perkembangan. Hormon tumbuhan (fitohormon) dapat mempengaruhi laju pertumbuhan pada suatu bagian tertentu pada tumbuhan. Pada konsentrasi rendah, hormon tumbuhan dapat menimbulkan efek fisiologis. Efek fisiologis tersebut muncul akibat adanya proses pertumbuhan serta perkembangan pada tanaman. Hormon berperan sebagai regulator pertumbuhan yang sangat esensial.

Pertumbuhan dan perkembangan dari suatu tumbuhan disebabkan oleh rangkaian proses yang terjadi didalam sel, misalnya pembelahan, diferensiasi atau pemanjangan. Ketiga proses tersebut biasanya dipicu oleh faktor internal dari suatu tumbuhan yang berupa senyawa biokimia, seperti hormon dan enzim. Adanya pertumbuhan pada suatu tumbuhan tidak terlepas dari aktivitas pertumbuhan pada bagian lain ditumbuhan tersebut. Hal ini

disebabkan karena adanya senyawa kimia yang ditraspor (diedarkan) dari satu bagian ke bagian lain pada tumbuhan. Salah satu contoh dari senyawa tersebut adalah hormon.

Hormon bukan merupakan senyawa metabolit antara ataupun hasil rekasi yang dipengaruhi dan aktif dalam konsentrasi rendah. Beberapa jenis hormon ada yang berperan sebagai promoter (perangsang pertumbuhan dan perkembangan pada suatu tanaman) dan adapula sebagai inhibitor (penghambat pertumbuhan dan perkembangan). Jadi selain mengatur pertumbuhan dan perkembangan, hormon juga dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan.

Hormon dalam tumbuhan diibartkan sebagai koordinator dalam rangkai proses pertumbuhan dan perkembangan. Hormon tersebut mencakup hormon promoter (auksin, sitokinin, giberelin, etilen) maupun hormon inhibitor (asam absisat). Hormon-hormon tersebut dapat berkeja sendiri atau dalam keseimbangan antar hormon itu (semuanya tergantung pada sistem yang akan dipengaruhi). Pemberian hormon eksogen tidak selalu memberikan efek positif sebab hormon tersebut bisa mempengaruhi pertumbuhan yang tidak berkaitan ataupun mengganggu keseimbangan hormon endogen pada tumbuhan. Sehingga dalam pemberian hormon eksogen perlu memperhatikan konsentrasi hormon yang diberikan. Sebab konsentrasi berkaitan dengan respon pertumbuhan yang akan terjadi. Umumnya hormon efektif dalam konsentrasi internal $\pm 1\mu\text{M}$ tapi kembali lagi pada spesies tanaman. Sebab kebutuhan akan hormon pada setiap spesies tanaman berbeda-beda.

Hormon juga merupakan prekursor yang berperan dalam proses regulasi genetik. Hormon tumbuhan terbentuk juga dipicu oleh rangsangan dari lingkungan akibat beberapa faktor (seperti suhu, ketersediaan air, nutrisi,

cahaya dan lain sebagainya) serta dipengaruhi pula oleh musim. Hormon pada tumbuhan (fitohormon) merupakan bagian dari proses adaptasi maupun pertahanan yang digunakan oleh tumbuhan untuk menjaga dan mempertahankan kelangsungan hidup dari spesiesnya (jika dilihat dari segi evolusi). Sejumlah gen yang awalnya tidak aktif akan mulai berekspresi jika hormon pada tumbuhan telah mencapai tingkatan tertentu. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa hormon merupakan senyawa organik non-nutrisi yang disintesis pada suatu bagian tumbuhan kemudian ditranspor ke bagian lain pada suatu tumbuhan dan kemudian akan memberikan respon. Respon yang diberikan tidak hanya bersifat memacu, sebab proses pertumbuhan ataupun diferensiasi justru terkadang terhambat oleh adanya hormon. (Campbell *et al.*, 2008).

Secara fisiologis, hormon pada tumbuhan (fitohormon) diartikan sebagai penyampai pesan antar sel yang dibutuhkan untuk mengontrol seluruh siklus hidup tumbuhan, seperti perkecambahan, perakaran, pembungaan, pembuahan dan pertumbuhan. Ada 3 hal penting dalam sistem respon yang perlu diperhatikan agar hormon dapat bekerja dalam jumlah submikromolar ataupun mikromolar guna mengendalikan aktivitas gen, yakni:

1. Jumlah dari hormon harus mencukupi dan tepat pada setiap sel.
2. Sel sasaran (sel yang tanggap terhadap hormon) harus benar-benar mengenai hormon dan mengikat hormon tersebut secara erat.
3. Harus ada proses metabolik yang mengarah pada penguatan isyarat atau kurir bagi hormon. Proses metabolik tersebut biasanya dipicu oleh protein penerima.

1.2 Jenis-Jenis Hormon

Ahli Botani telah menemukan 5 jenis hormon pada tumbuhan yakni hormon auksin, hormon Sitokinin, hormon Giberelin, Asam Absisat dan hormon Etilen. Menurut Kukerja *et al* (2004), auksin, sitokinin, giberelin dan etilen merupakan aktivator pertumbuhan dan perkembangan, sedangkan asam absisat merupakan inhibitor pertumbuhan dan perkembangan.

Berdasarkan fungsinya hormon pada tumbuhan terbagi menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. Hormon yang berperan dalam pemicu pertumbuhan (misalnya: auksin, sitokinin, giberelin dan etilen).
- b. Hormon yang berperan dalam menghambat pertumbuhan (misalnya : asam abisasat).

Selain itu terdapat pula hormon yang berperan dalam komunikasi pada tumbuhan (misalnya: asam jasmonat). Penelitian terbaru berhasil menemukan molekul aktif yang dapat digolongkan kedalam zat pengatur tumbuh yakni golong penghambat pertumbuhan dan plyamin seperti spermidine dan putrescine (Wiraatmajaya, 2017).

Berdasarkan beberapa penelitian homron tumbuhan dapat pula dibagi menjadi 2 kelompok besar, yaitu :

- a. Hormon utama (Mayor)

Hormon utama atau mayor ini merupakan kelompok terbesar dari hormon yang paling berpengaruh dalam merangsang pertumbuhan dari suatu tanaman. Contoh dari hormon ini diantaranya hormon auksin, sitokinin, giberelin, etilen serta asam absisat.

- b. Hormon minor

Hormon minor adalah kelompok hormon yang memiliki peran dalam proses pertumbuhan, komunikasi, fisiologi serta ketahanan dari tumbuhan.

Contoh dari hormon ini adalah asam jamonat, brassinosteroid, hormon peptida dan karrikin.

Konsep hormon yang dihasilkan oleh tumbuhan sama halnya dengan hewan. Tumbuhan menghasilkan hormon dalam jumlah yang sedikit namun dapat memberikan kerja yang efektif bagi sel target. Hormon dapat menstimulasi pertumbuhan dengan cara memberikan sinyal kepada sel yang menjadi target untuk melakukan pembelahan atau pemanjangan. Selain itu, hormon juga memberikan pengaruh dalam metabolisme dan perkembangan sel pada tumbuhan yakni dengan cara mempengaruhi lalu lintas transduksi sinyal di sel targetnya. Pengaruh yang muncul berupa respon seluler misalnya terbentuk ekspresi gen, menghambat atau mengaktivasi enzim ataupun mengubah membran.

Pengaruh hormon pada setiap tumbuhan berbeda-beda tergantung pada masing-masing spesies tumbuhan, letak aksi hormon pada tumbuhan, konsentrasi dari hormon dan tahap perkembangan dari tumbuhannya. Dalam mempengaruhi pertumbuhan serta perkembangan dari suatu tanaman, suatu hormon tidaklah dapat bekerja secara sendiri-sendiri diperlukan proporsi antara konsentrasi dari beberapa hormon lainlah yang berperan dalam mengontrol pertumbuhan serta perkembangan tumbuhan tersebut.

Setiap jenis dari fitohormon memberikan pengaruh yang khas dan berbeda-beda namun respon yang diberikan tersebut sangatlah kompleks. Respon yang diberikan dari setiap jenis fitohormon ini juga bergantung pada spesies tanaman, bagian tanaman, fase perkembangan dari tanaman tersebut, interaksi dengan jenis fitohormon lainnya serta pengaruh dari faktor lingkungan. Hal ini sesuai dengan pendapat dari Sachs (seorang ahli fisiologi tumbuhan) yang menyatakan bahwa jika suatu jaringan diberikan zat kimia

yang sama maka respon yang diberikan akan berbeda-beda, tergantung pada jenis jaringannya. Berikut adalah beberapa jenis hormon dan fungsinya:

Jenis Fitohormon	Fungsi Utama	Letaknya pada Tumbuhan
Auksin	(1) Mempengaruhi pertumbuhan, diferensiasi dan percabangan pada akar; (2) Mempengaruhi pemanjangan batang; (3) Mempengaruhi perkembangan buah; (4) Dominansi Apikal dan (5) Berkaitan dengan Phototropisme dan Geotropisme	Meristem apikal (bagian ujung tunas), daun yang masih muda, dan embrio yang terdapat dalam biji.
Sitokinin	(1) Mendorong sitokinesis (pembelahan sel); (2) Mendorong pertumbuhan tanaman secara general; (3) Mendesak benih untuk melakukan perkecambahan; (4) Mempengaruhi diferensiasi serta pertumbuhan dari akar dan (5) Menunda terjadinya penuaan (senesen) pada tanaman.	Pada embrio, akar dan buah. Sitokinin biasanya akan berpindah dari akar ke organ lainnya pada tanaman.
Giberelin	(1) Mempengaruhi	Meristem apikal pada tunas

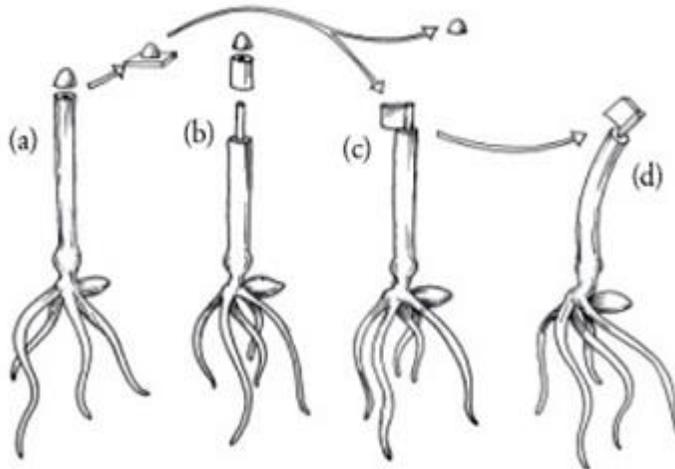
	diferensiasi dan pertumbuhan dari akar; (2) Mendorong biji untuk mengalami perkembangan; (3) perkembangan kucup; (4) pembungaan; (5) perkembangan buah; (6) Mendorong pembungaan dan (7) perkembangan daun	ujung dan akar, embrio dan daun muda.
Etilen	(1) Memicu terjadinya pematangan; (2) Antagonis dengan hormon auksin; (3) promotor dan inhibitor dalam perkembangan dan pertumbuhan dari organ-organ taaman (seperti akar, batang, daun dan bunga)	Buah masak (matang), buku-buku pada batang dan daun yang senesen (mengalami penuaan).
Asam Absisat	(1) Merangsang stomata untuk tertutup pada kondisi cekaman kekurangan air; (2) Menghambat pertumbuhan dan (3) Mempertahankan benih dalam kondisi dormansi	Daun, batang, akar dan buah yang berwarna hijau.

Tabel 1. Hormon tumbuhan (fitohormon) beserta fungsi dan letaknya

BAB 2. HORMON AUKSIN

2.1 Sejarah Hormon Auksin

Fritz Went (1863-1935) merupakan salah seorang mahasiswa pascasarjana di salah satu universitas di negara Belanda yang berhasil menemukan suatu senyawa dalam tanaman (dibagian ujung dari suatu koleoptil) yang dapat menyebabkan terjadinya pembengkokan pada suatu bagian tumbuhan ditahun 1926. Pada saat ini, proses pembengkokan batang tersebut dikenal dengan sebutan fototropisme. Fritz Went juga menjelaskan bahwa senyawa tersebut mengalami traspor secara difusi dari bagian ujung koleoptil ke bagian potongan kecil lainnya. Senyawa ini dikenal dengan nama hormon auksin. Auksin berasal dari kata “*auxien*” yang dalam bahasa Yunani berarti meningkatkan. Went berhasil mengetahui aktivitas dari auksin melalui peristiwa pembengkokan koleoptil yang dipicu oleh adanya pemanjangan pada sisi tumbuhan. Berikut adalah gambar peragaan Went terkait pembengkokan koleoptil dengan menggunakan tanaman *Avena sp.*. Uji ini dikenal dengan nama “*The avena curvature test*”.



Gambar 1. Peragaan Went mengenai Auksin yang dapat membengkokkan ujung koleoptil.

Sumber : Salisbury & Ross (1995)

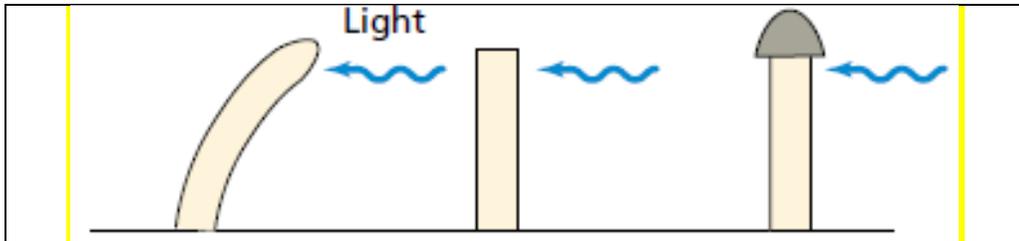
Keterangan :

- a. Bagian ujung koleoptil dari tanaman *Avena* sp. dipotong lalu dipindahkan ke bagian atas agar.
- b. Bagian ujung koleoptil lain dipotong.
- c. Potongan agar yang telah menyerap auksin dipindahkan pada sisi koleoptil.
- d. Koleoptil tersebut kemudian menyerap auksin yang berada di agar, akibatnya terjadi pembengkokan koleoptil akibat dari pemanjangan disalah satu sisi koleoptil.

Charles Darwin berhasil menemukan sebuah senyawa yang dapat mempengaruhi pemanjangan koleoptil gandum pada abad ke-19. Sebelumnya (ditahun 1880), dalam buku yang berjudul “*The Power of Movement in Plants*”, Charles Darwin telah menjelaskan mengenai pengaruh cahaya terhadap arah pergerakan dari koleoptil *Phalaris canariensis* (rumput kenari). Senyawa tersebut adalah auksin. Percobaan yang dilakukan oleh Frits Went pada tahun 1920 berhasil membuktikan bahwa auksin adalah zat yang dapat berdifusi dan merangsang pembesaran pada sel. Kemudian ditahun 1930 barulah ditemukan identitas serta struktur dari hormon auksin yang dikenal sebagai *indol acetyl acid* (asam indol asetat/IAA). Auksin umumnya digunakan untuk menyebut IAA. Walaupun hormon yang pertama kali ditemukan adalah auksin, pengkajian tentang transduksi sinyal dan regulasi dalam biosintesi auksin masih perlu banyak dikaji hingga saat ini. Pada kenyataannya auksin diproduksi di dalam ujung tajuk tumbuhan dari asam amino jenis triptopan. Sejarah singkat dari penemuan hormon auksin dapat dilihat pada tabel berikut :

Tahun	Penemuan
1885	IAA ditemukan dalam media fermentasi oleh Salkowski
1907	Penelitian dan pengkajian mengenai pergerakan sinyal pada sisi terang dan sisi gelap koleoptil dilakukan oleh Fitting, namun hasil yang didapat kurang maksimal.
1913	Penelitian lanjutan dari Fitting dilakukan oleh Boysen-Jensen dengan cara menyisipkan mika guna menghambat transport sinyal. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa auksin ditranslokasikan ke arah bawah tumbuhan dan terjadi pada sisi gelap.
1918	Penelitian lanjutan dari Boysen-Jensen dilakukan oleh Paal dengan memotong ujung koleoptil tanaman dalam keadaan gelap, kemudian menyinari bagian yang dipotong tersebut, ujung koleoptil yang terpotong tersebut kemudian diganti dengan ujung koleoptil yang telah disinari dan diletakkan pada satu sisi. Hasilnya disisi manapun ujung koleoptil diletakkan, pembengkokan koleoptil tetap mengarah ke sisi lain.
1925	Sooding berhasil meneliti bahwa jika ujung koleoptil dipotong maka pertumbuhan akan menjadi lambat, tetapi jika ujung koleoptil yang dipotong tersebut diganti baru maka pertumbuhan akan berlanjut.
1926	Fritz Went melakukan penelitian dengan menggunakan tanaman <i>Avena sp.</i>

Tabel 2. Ringkasan Sejarah Singkat penemuan Hormon Auksin



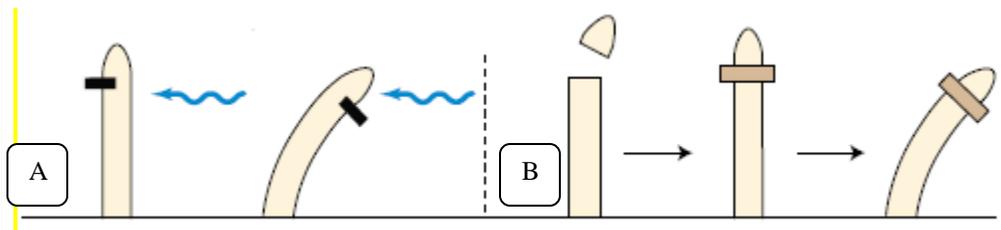
Pada tahun 1880, Darwin melakukan percobaan fototropisme pada koleoptil. Beliau menyimpulkan bahwa stimulus pertumbuhan pada suatu tumbuhan diproduksi dibagian ujung koleoptil dan kemudian ditransmisi ke zona pertumbuha.

Ket:

Gambar kiri : tanaman yang ujung koleoptilnya membengkok ke arah cahaya.

Gambar tengah : saat ujung koleoptil dibuang, tumbuhan tidak membengkok ke arah cahaya.

Gambar kanan: bagian ujung tanaman ditutup, akibatnya tanaman tidak membengkok ke arah cahaya.



Pada tahun 1913, P.Boysen-Jensen berhasil menemukan fakta bahwa stimulasi pertumbuhan mampu melewati agar-agar tetapi tidak untuk bahan kedap air (seperti mika).

Ket:

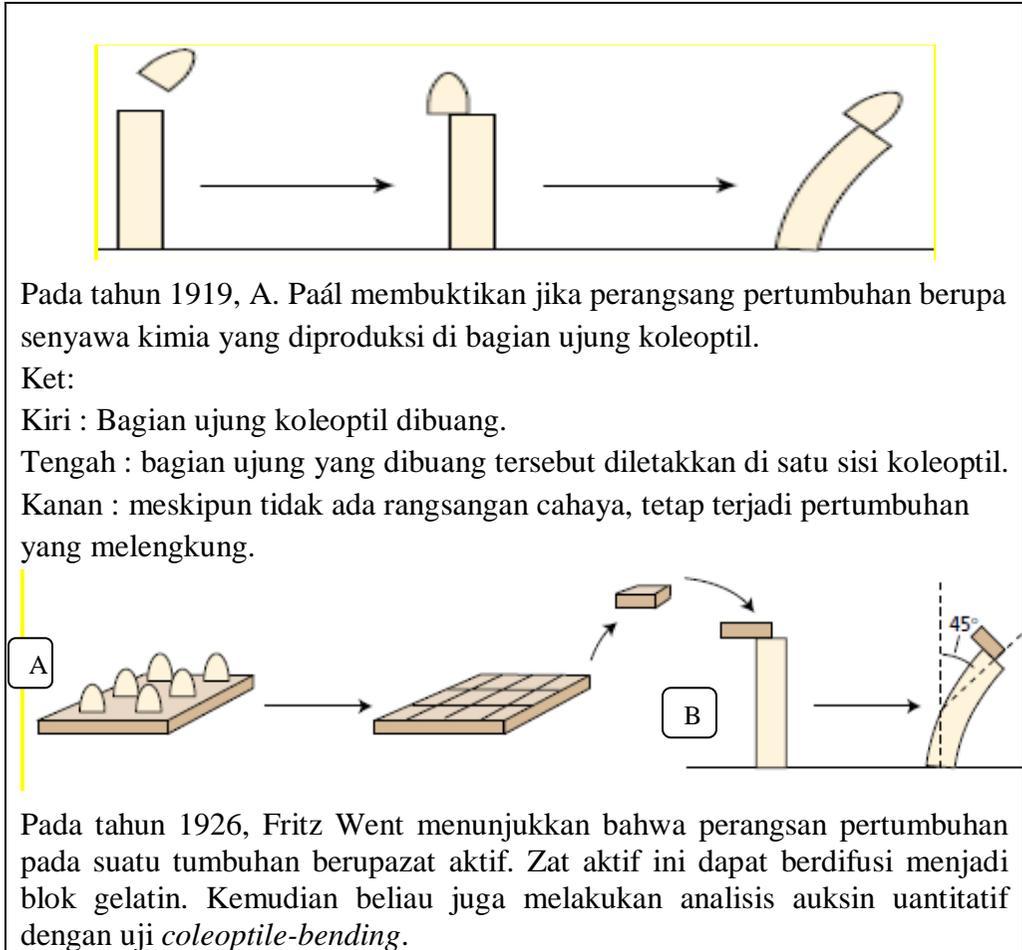
Kiri : Lembar mika diletakkan pada sisi gelap (tidak terjadi pembengkokan ke arah cahaya).

Kanan : lembar mika diletakkan pada sisi terang (terjadi pembengkokan ke arah cahaya).

Kiri : Tip Gelatin yang berada diantara tip dan koleoptil tunggal dihilangkan.

Tengah : Normal

Kanan : terjadi fototropik yang kemungkinan terjadi akibat adanya lengkungan sisa.



Gambar 2. Penemuan hormon auksin

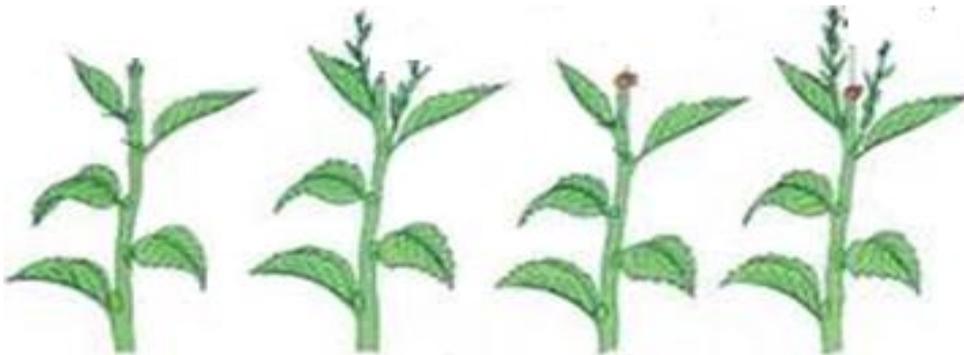
Sumber : Taiz and Zeinger (2006)

2.2 Pengertian Hormon Auksin

Awalnya istilah auksin hanya digunakan untuk menyebut golongan senyawa kimia yang berperan dalam mendorong terjadinya pemanjangan pada kuncup tanaman yang sedang berkembang. Kemudian istilah auksin juga dipergunakan untuk menyebut zat kimia yang memberikan meningkatkan pemanjangan dari suatu koleoptil. Meskipun sebenarnya auksin memiliki fungsi ganda pada tanaman dikotil dan monokotil. Pembesaran dan pemanjangan sel pada bagian maristematik dipicu oleh

hormon auksin. Adanya pembesaran dan pemanangan tersebut menyebabkan auksin digolongkan kedalam ZPT yang berperan sebagai pengatur pertumbuhan dan perkembangan. Auksin dapat ditemukan pada daerah meristematik seperti ujung batak, ujung akar, kuncup bunga (pada saat pembentukan bunga) dan diembrio biji.

Auksin disintesis di dekat maristem pucuk dibagian pucuk batang dan jaringan-jaringan yang masih muda (contohnya daun muda). Auksin ditranspor secara polar, yakni mengalami pergerakan menuju bawah batang. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan konsentrasi auksin di ujung akar dan ujung batang maupun bagian lainnya. Meskipun auksin ditranslokasikan ke semua bagian tanaman, tetapi semua bagian mendapatkan jumlah auksin yang berbeda-beda. Kadar auksin yang berbeda-beda itulah yang menyebabkan adanya perbedaan respon dari setiap bagian tumbuhan. Respon yang diberikan bermacam-macam, mulai dari respon positif (merangsang pertumbuhan) bahkan respon negatif (menghambat pertumbuhan) (Adamwoski and Friml, 2015).

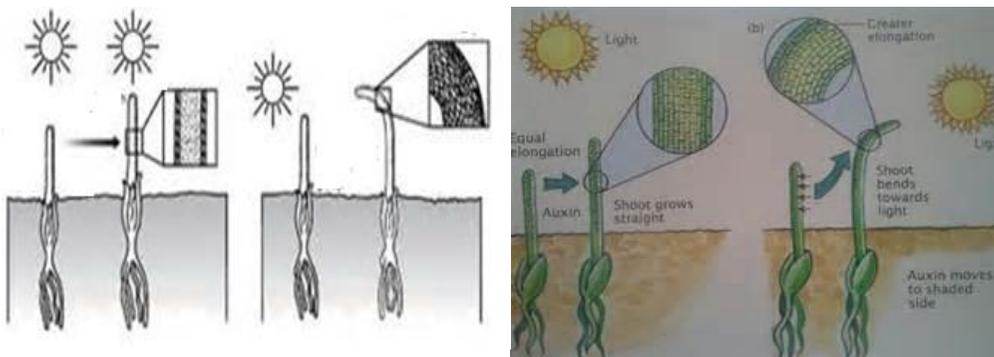


Gambar 3. Ujung tanaman (maristem apikal) yang merupakan tempat sintesis auksin

Auksin disintesis dibagian ujung tanaman (maristem apikal) pada tunas. Hasil sintesis auksin tersebut diangkut dari bagian apikal menuju ke

tempat terjadinya pemanjangan sel. Auksin akan mulai merangsang pertumbuhan pada sel jika telah sampai di sel target. Pengaruh yang ditimbulkan dari setiap sel target yang diberi auksin akan berbeda-beda bergantung pada konsentrasinya. Umumnya auksin dapat memberikan pengaruh pada interval konsentrasi 10^{-8} Msampai 10^{-3} M. Konsentrasi auksin yang lebih tinggi justru dapat menjadi penghambat dalam proses pemanjangan sel. Sebab auksin memiliki kemampuan menghasilkan senyawa-senyawa inhibitor seperti etilen melalui serangkaian reaksi. Etilen merupakan senyawa yang bekerja menghambat (inhibitor) pemanjangan sel sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terhambat.

Ada beberapa faktor penghambat dalam kerja auksin, salah satunya cahaya matahari. Auksin pada tanaman yang terkena cahaya matahari akan mengalami kerusakan dan penghambatan kerja akibatnya pertumbuhan tanaman menjadi lebih lambat. Sebaliknya, tanaman yang tidak terkena cahaya matahari, auksinnya tidak akan terhambat kerjanya maupun rusak sehingga pertumbuhan menjadi lebih cepat. Pertumbuhan tanaman pada tempat gelap (tidak terkena cahaya matahari) dikenal dengan istilah etiolasi.



Gambar 4. Reaksi Auksin terhadap Cahaya Matahari

(Sumber : Campbell *et al*, 2008)

2.3 Macam-Macam Hormon Auksin

Pata ahli sering menyamakan hormon asam indol asetat (IAA) dengan auksin. Sebenarnya pada tanaman tidak hanya terkandung senyawa IAA, terdapat pula tiga senyawa yang memiliki struktur mirip dengan IAA. Ketiga senyawa tersebut adalah:

a. Asam 4-kloroindoasetat (4-Kloro IAA)

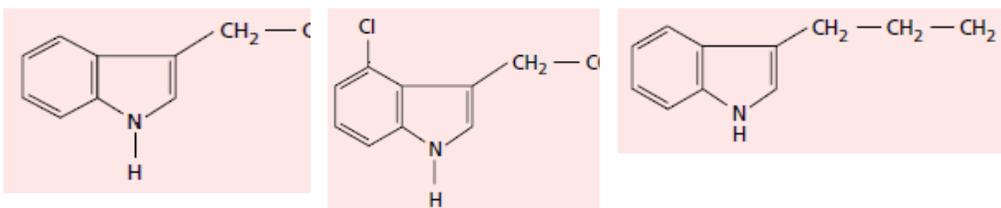
Senyawa ini banyak ditemukan pada biji Leguminosae yang masih muda.

b. Asam fenil asetat (PAA)

Senyawa ini dapat dijumpai pada hampir seluruh jenis tumbuhan. Jumlah PAA didalam tumbuhan jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan IAA, tetapi respon yang diberikan oleh PAA tidak seaktif IAA.

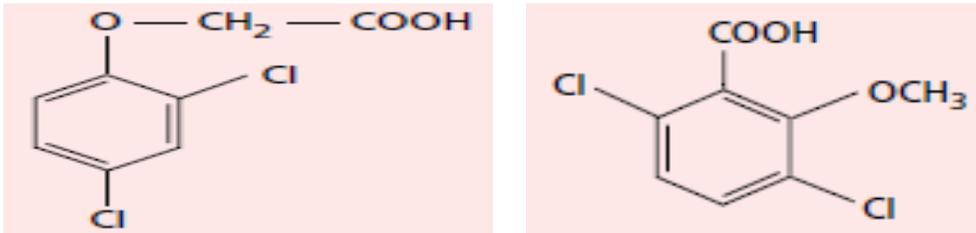
c. Asam indolbutirat (IBA)

Awalnya IBA dianggap sebagai auksin tiruan, ternyata IBA merupakan senyawa yang juga ditemukan hampir diseluruh jenis tumbuhan. IBA banyak terdapat pada daun tanaman jagung (*Zea mays*) dan beberapa tanaman dikotil.



Gambar 5. Struktur tiga jenis auksin alami. Kiri : indole-3-acetic acid (IAA), tengah: chloroindole-3-acetic acid (4-Cl-IAA), kanan : indole-3-butyric acid (IBA).

IAA dapat ditemui pada semua tanaman, sedangkan 4-Cl-IAA terdapat pada kacang polong (*Pisum sativum*) dan IBA terdapat pada jagung (*Zea mays*) (Taiz dan Zenger, 2006).



Gambar 6. Struktur auksin sintetis yang biasanya dimanfaatkan sebagai herbisida dalam hortikultura dan pertanian. Kiri 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D); Kanan 2-Methoxy-3,6-dichlorobenzoic acid (dicamba) (Taiz and Zenger 2006).

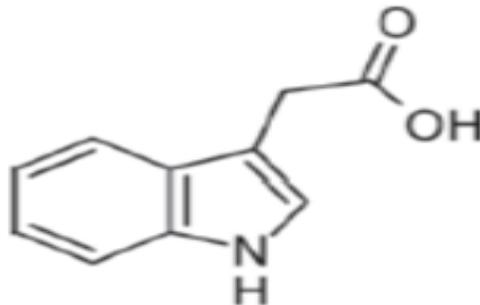
Dari ketiga jenis senyawa tersebut, IAA merupakan auksin utama pada tumbuhan. IAA merupakan senyawa hasil biosintesis asam amino triptopan dengan bantuan enzim IAA-oksidade yang berfungsi sebagai pengendali dalam berbagai proses fisiologis tumbuhan. Proses fisiologis tersebut meliputi pembesaran dan pembelahan sel, diferensiasi sel & jaringan serta respon terhadap cahaya dan gravitasi. Selain dari tumbuhan, IAA juga dapat diisolasi dari bakteri. Isolat bakteri dapat memproduksi IAA dalam jumlah yang lebih banyak jika ditambahkan prekursor L-triptofan dan melalui jalur *Trp-pathways*. Umumnya bakteri penghasil IAA memanfaatkan akar tanaman yang mensekresikan bahan organik berupa L-triptofan yang dapat dimanfaatkan dalam proses biosintesis IAA (Tahta dan Enny, 2015). Biosintesis IAA juga dapat menghasilkan senyawa perantara yang secara analogi mirip auksin tetapi aktifitasnya lebih kecil dari IAA. Senyawa perantara tersebut diantaranya Indol aseto nitril (IAN), Asam Indol Piruvat (TypA) dan Indolasetaldehid (IAAId).

Tumbuhan tidak hanya memiliki senyawa indol dalam bentuk IAA (asam indol asetat). Senyawa-senyawa indol lain yang terdapat pada tumbuhan merupakan hasil antara (*intermediate*) dari proses biosintesis IAA, hasil katabolisme IAA, hasil translokasi maupun IAA yang dalam bentuk cadangan. IAA glukosa, IAA-mionisitol dan IAA asam aspartat merupakan contoh IAA yang dalam bentuk makanan. Bentuk dari senyawa tersebut akan aktif menjadi auksin jika diubah menjadi IAA bebas melalui proses hidrolisis terlebih dahulu. Perubahan IAA dari satu bentuk menjadi bentuk lainnya (misalnya dari aktif menjadi non-aktif dan sebaliknya) tidak terlepas dari bantuan enzim. Enzim tersebut juga memiliki peran dalam mengatur keseimbangan konsentrasi IAA dalam suatu tumbuhan. Meskipun pada umumnya auksin yang terdapat dalam tanaman berbentuk indol, ada pula auksin dalam tanaman yang bukan merupakan senyawa indol misalnya asam fenil asetat yang fungsinya sama seperti senyawa indol pada umumnya.

Pada tahun 1928 Went telah berhasil mengisolasi auksin dari tepung sari pada bunga dan biji-bijian yang sudah non-aktif dan ditahun 1930 Went berhasil menemukan rumus kimia dari Auksin yakni $C_{10}H_9O_2N$. Berangkat dari hasil penemuan Went tersebut maka mulai dibuatnya auksin sintesis seperti *Nepthalen acetic acid* (NAA), *2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid* (MCPA) dan *2,4-dichlorophenoxyacetic acid* (2,4-D), asam-3-amino-2,5-diklorobenzoat (kloramben/amiben), asam-4-amino-3,5,6-trikloro-pikonat (tordon/pikloram). Asam indol butirrat dan propionate merupakan jenis auksin sintetik yang pertama kali dibuat dari substitusi-substitusi indol. Kedua auksin sintetik ini sama-sama memiliki gugus karboksilat pada rantai sampingnya dan ciri-ciri indol. Perbedaannya terletak pada rantai samping yang dimiliki. Suatu senyawa akan kehilangan aktivitas biologisnya jika rantai samping yang dimiliki lebih panjang dari rantai butirrat. Ada beberapa jenis tanaman yang

memiliki enzim khusus yang berperan dalam memotong rantai samping tersebut sehingga suatu senyawa menjadi aktif.

NAA dan 2,4-D merupakan senyawa yang aktif seperti IAA dan memiliki gugus asam asetat tetapi tidak memiliki ciri indol. NAA banyak digunakan untuk hormon pada akar, sedangkan 2,4-D dapat digunakan sebagai herbisida, dan dalam dosis rendah dapat menginduksi pembentukan kalus sebab 2,4-D memiliki aktivasi yang tinggi. Beberapa penelitian menyatakan bahwa 2,4-D merupakan auksin sintetik terbaik dari berbagai jenis auksin sintetik lainnya. Hal ini disebabkan karena 2,4-D lebih mudah diserap oleh tanaman, tidak mudah terurai dan berfungsi dalam mendorong aktivitas morfogenetik. Secara langsung 2,4-D juga secara langsung dapat mempengaruhi proses embriogenesis pada sel-sel somatik.



Gambar 7. Struktur Indole Acetic Acid (IAA)

Sumber : Sauer *et al* (2013)

Struktur yang dimiliki oleh auksin sangatlah mempengaruhi aktifitas dari auksin tersebut, berikut adalah keterkaitan antara struktur dan aktifitas dari auksin:

1. Jika terdapat gugusa $-OH$ pada rantai samping maupun pada cincin maka aktivitas dari auksin akan menurun dan kelarutannya dalam air akan meningkat.

2. Harus ada ikatan rangkap pada inti.
3. Semakin panjang rantai samping maka aktivitasnya akan semakin berkurang. Sebaliknya semakin panjang rantai samping maka aktivitasnya akan bertambah.

Senyawa-senyawa aktif dapat dikatakan memiliki fungsi sebagai auksin apabila senyawa tersebut, (1) strukturnya mengandung cincin; (2) strukturnya memiliki rantai samping; (3) Terjadi konfigurasi khusus antara cincin dan rantainya; (4) Memiliki H bebas pada cincin yang berada di dekat rantai samping; (5) Cincinnya memiliki ikatan tidak jenuh; (6) Senyawa alamiah yang aktif biasanya berupa senyawa turunan indol; (7) Memiliki atom yang bermuatan positif dan negatif dan (8) Jarak antara kedua muatan (muatan positif dan muatan negatif) yakni 5,5 AU. Intinya suatu senyawa yang telah disintesis dan diuji aktivitas auksinnya karena memiliki tingkat elektronegatif yang lebih. Tingkat elektronegatif sangat berkaitan penting dengan cara suatu senyawa mengatu molekulnya ditempat tertentu dalam sel.

2.4 Biosintesis Hormon Auksin

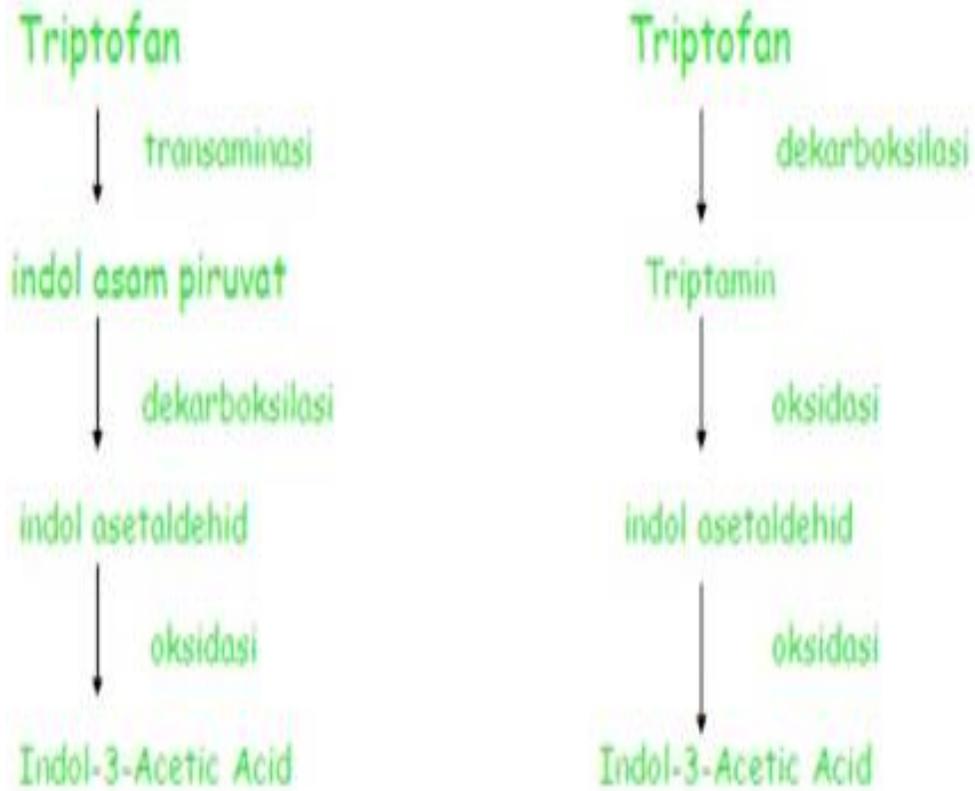
Biosintesis merupakan proses yang terpenting dalam mekanisme kerja hormon dalam tubuh tumbuhan guna mendapatkan kadar hormon yang efektif pada jaringan tertentu disuatu tanaman. Biosintesis adalah proses pembuatan hormon tanaman dari senyawa-senyawa sederhana yang merupakan hasil intermediate dari metabolisme. Dengan kata lain biosintesis merupakan proses terbentuknya hormon tanaman melalui perubahan bahan dasar (prekursor) menjadi senyawa intermediet (senyawa antara) dan terakhir menjadi hormon (senyawa kompleks). Hal penting yang harus diketahui dalam proses biosintesis hormon tumbuhan adalah nama/jenis dari bahan dasar (prekursornya), bentuk senyawa intermediet (senyawa antara)nya, tempat

sintesisnya, mekanisme/ proses reaksinya dan mekanisme pengaturan kadar/ konsentrasinya.

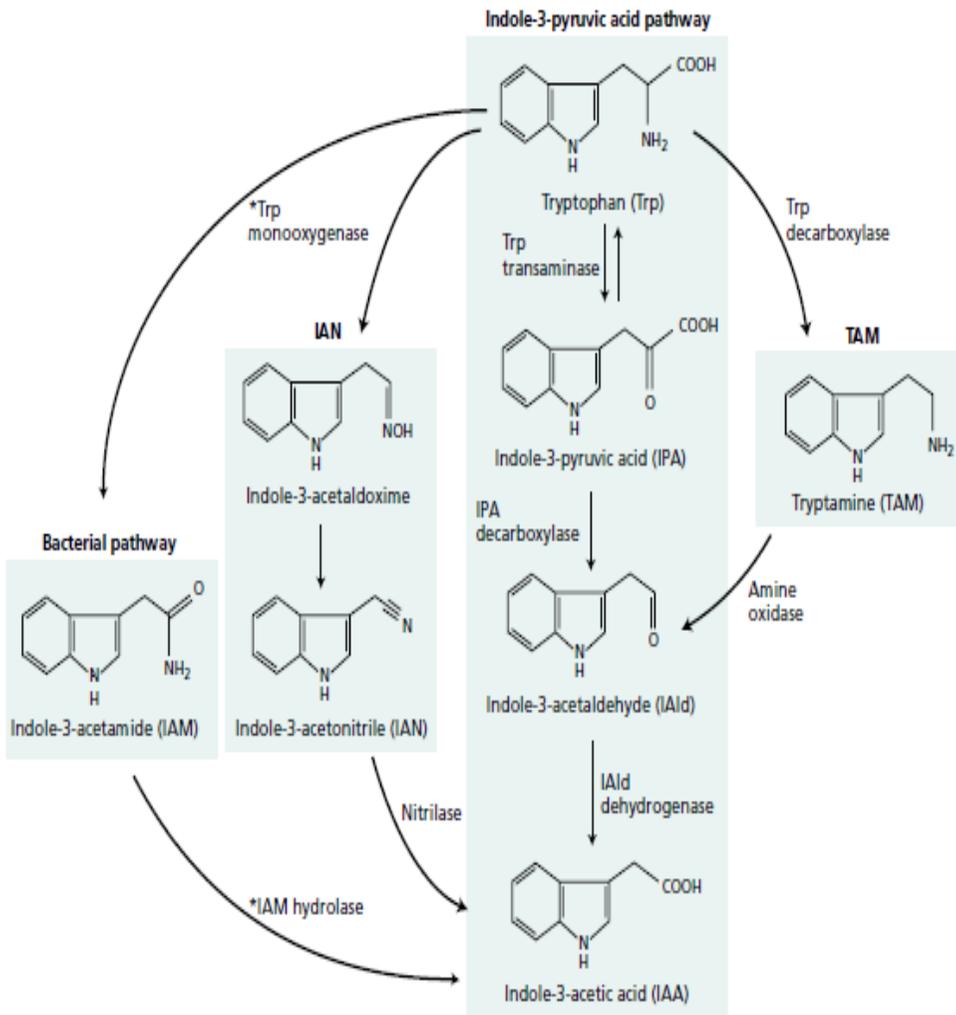
Secara garis besar terdapat dua mekanisme dalam biosintesis IAA. Kedua mekanisme tersebut berupa penghilangan gugus amino dan gugus karboksil pada cincin samping triptofan. Struktur kimia dari IAA mirip dengan struktur kimia dari asam amino triptofan (molekul asal IAA). Berikut adalah 3 tahapan perubahan triptofan hingga menjadi IAA, yaitu :

1. Triptofan diubah menjadi asam indol piruvat melalui reaksi transaminasi.
2. Asam indol piruvat kemudian diubah menjadi indoleacetaldehyde melalui reaksi dekarboksilasi.
3. Proses akhir berupa proses oksidasi indoleacetaldehyde yang menghasilkan asam indoleacetic.

Seorang ahli kimia yang berasal dari Inggris menyatakan bahwa asam amino triptofan untuk biosintesis IAA bersumber dari proses autolisis sel. Proses autolisis terjadi pada saat pembentukan jaringan xylem dan floem. Saat proses pembentukan xylem dan floem, sel-sel meristematis akan mengalami autolisis dan hasil autolisis tersebut berupa bahan-bahan metabolisme yang digunakan oleh sel-sel sekitarnya. Hal ini menandakan bahwa IAA tidak hanya dibentuk di daerah yang meristematis tetapi juga di daerah-daerah tempat terjadinya diferensiasi sel untuk pembentukan jaringan xylem dan floem. Namun, hingga sekarang belum ditemukannya kesepakatan bahwa autolisis sel berperan penting dalam proses biosintesis auksin pada tanaman.

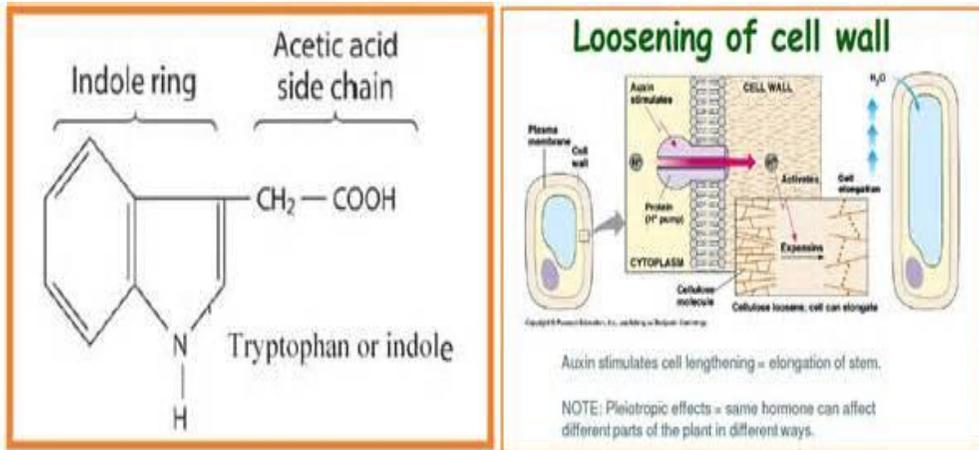


Gambar 8. Jalur Sintesis IAA



Gambar 9. Jalur sintesis IAA pada tumbuhan dan bakteri (Taiz and Zenger 2006).

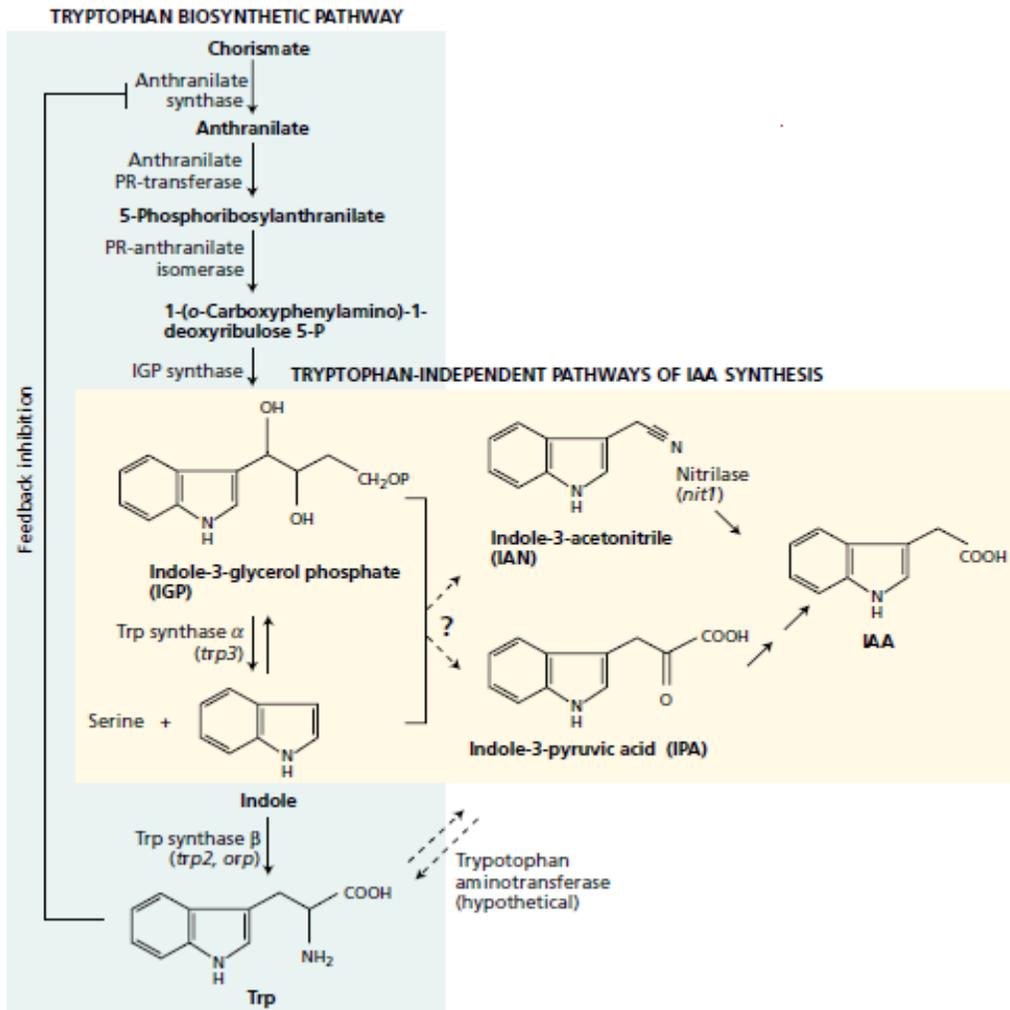
Pada awalnya triptofan akan mengalami dekarboksilasi menjadi tryptamine. Tryptamine selanjutnya akan teroksidasi dan deaminasi menjadi indoleacetaldehyd. Indoleacetaldehyd kemudian dioksidasi untuk menghasilkan asam indolaceatic. Akhir-akhir ini telah ditemukan jalur biosintesis auksin baru yakni melalui jalur triptofan-independen. Mekanisme ini kurang bisa dipahami.



Gambar 10. Proses Sintesis Auksin

Sumber : Campbell *et al* (2008)

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, IAA merupakan contoh auksin endogen yang terbentuk dari senyawa triptofan. Triptofan adalah senyawa yang memiliki inti indole dan terdapat pada tanaman. Triptofan akan berubah menjadi asam indol piruvat dan indole-3-acetaldehide, lalu menjadi IAA. Indol-3-acetonitril dengan bantuan enzim nitrilase akan diubah menjadi Proses perubahan tersebut masih belum diketahui dengan jelas mekanismenya. IAA sendiri mengandung gula (glukosa dan arabinosa) serta lemak. Selain itu IAA memiliki sifat yang sangat peka terhadap enzim oksidase, sehingga IAA dapat mengalami kerusakan. Untuk mencegah hal tersebut perlu dihindari terjadinya konjugasi IAA dengan glukosa, asam aspartat dan asam glutamat sehingga membentuk konjugat auksin atau auksin yang tidak aktif (sebab gugus karboksil IAA bergabung dengan molekul lain). Tumbuhan dapat melepaskan IAA dari konjugat dengan dibantu enzim hidrolase.



Gambar 11. Jalur sintesis IAA dengan menggunakan jalur terlepas dari triptofan pada tanaman. Bagian yang berwarna biru (sebelah kiri) merupakan jalur biosintetik tryptofan. Cabang (warna krem) merupakan titik prekursor dalam biosintesis tryptofan-independen yang menggunakan indol-3-gliserol fosfat. IAN dan IPA merupakan perantara (Taiz dan Zenger, 2006).

Proses perombakan IAA dapat pula terjadi di alam melalui proses foto-oksidasi. Saat terjadi foto-oksidasi, cahaya akan diserap oleh pigmen yang terdapat pada tumbuhan kemudian akan terbentuk energi yang digunakan dalam mengoksidasi IAA. Pigmen tersebut diantaranya Riboclovin dan beta-karoten. Proses photo oksidasi juga memerlukan bantuan enzim oksidasi

yang banyak ditemukan para ahli dalam tanaman. Oksidasi IAA oleh hidrogen peroksidase hingga menjadi indolealdehide yang bersifat aktif dikatalisasi oleh enzim peroksidase. Aktivitas oksidase IAA berbanding terbalik dengan jumlah IAA dalam suatu tumbuhan. Jika jumlah IAA dalam suatu tumbuhan tinggi, maka aktifitas oksidase IAAnya justru akan menurun, begitupula sebaliknya. Pada bagian akar yang kadar auksinnya rendah ternyata aktivitas oksidase IAAnya yang tinggi (Adamwosky and Friml, 2015).

Selama proses biosintesis IAA pada jaringan muda (misalnya meristem apikal yang terdapat ditunas, daun muda dan buah) diperlukan katalisator berupa enzim. Salah satu enzim yang berperan dalam biosintesis IAA adalah enzim hidrolase. Enzim hidrolase berperan dalam membentuk konjugasi yang berasal dari IAA. Konjugat merupakan molekul yang serupa dengan hormon tetapi non-aktif. Tujuan dari pembuatan konjugat berkaitan dengan penyimpanan dan pengangkutan hormon yang aktif. Adanya rangsangan dari lingkungan akan mempengaruhi kecepatan pengaktifan konjugasi sehingga respon hormonal juga akan berjalan lebih cepat. Terjadinya pengontrolan pada saat biosintesis hormon menyebabkan tanaman akan lebih mudah dalam mengontrol IAA dalam jaringan pada waktu tertentu. Degradasi auksin merupakan jalan terakhir yang dapat diambil untuk mengendalikan kadar auksin pada tanaman.

Proses pengoksidasian IAA dibantu oleh oksigen dan dikatalis oleh enzim IAA oksidase. Akibat dari oksidasi tersebut adalah senyawa menjadi kehilangan gugus karboksil dan terbentuk produk hasil pemecahan utama (3-methyleneoxindole). Proses pengoksidasian ini tidak dapat menghancurkan konjugat dari IAA maupun auksin sintetis seperti 2,4-D. Akan tetapi C nomor 2 yang terdapat di cincin heterosiklik dapat mengalami oksidasi

menjadi oxindole-3-asam asetat. Selain C nomor 2, C nomor 3 juga dapat teroksidasi menjadi di oxindole-3-asam asetat. Tahapan dari biosintesis dan degradasi auksin saat ini menjadi sangat penting untuk diaplikasikan dibidang pertanian dimasa mendatang. Informasi terkait metabolisme dari auksin kemungkinan besar dapat digunakan untuk manipulasi genetik dan manipulasi kadar hormon endogen pada suatu tumbuhan guna mendapatkan pertumbuhan yang sesuai keinginan. Sehingga pada akhirnya, akan ada kemungkinan mengatur pertumbuhan dari suatu tumbuhan tanpa adanya pemberian pupuk maupun herbisida berbahaya.

IAA yang terbentuk juga dapat mengalami kerusakan akibat (1) oksidasi Oksigen dan hilangnya gugus karboksil sebagai CO₂ dengan bantuan enzim IAA oksidase dan (2) Karbon 2 pada cincin heterosklik pada gugus IAAA membentuk asam oksindol 3 asetat (gugus karboksil IAA tidak hilang).

Bahan auksin yang aktif didalam tanaman adalah indolacetaldehyde. Indoleacetaldehyde nantinya akan bertransformasi menjadi IAA yang dapat menstimulasi pertumbuhan suatu tanaman. Proses tersebut diawali dengan perubahan triptopan menjadi IAA. Triptopan merupakan zat organik terpenting dalam proses biosintesis IAA. Biosintesis IAA juga menghasilkan zat organik lain yakni Trptamyne. Bahan lain yang juga tergolong kedalam auksin aktif pada tanaman adalah Indolacetonitrile. Indolacetonitrile ini biasanya dijumpai pada tanaman Cruciferae. Indolacetonitrile dapat dibentuk dari senyawa Glucobrassicin dengan katalisator berupa enzim myosinase. Indoleethanol merupakan zat organik lain yang terbentuk pada saat biosintesis indolacetonitrile. Proses biosintesis tersebut dibantu oleh bakteri (Tahta dan Enny, 2015). Salah satu bakteri yang dapat menghasilkan IAA adalah bakteri *Azospirillum* (bakteri penambat nitrogen). Bakteri ini dapat memproduksi IAA dengan menggunakan prekursor berupa tryptophan dan

melalui jalur indole-e-pyruvate (dan tryptamine). Proses sintesisnya ini melibatkan gen *ipdC*. Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi terbentuknya IAA:

1. pH. IAA akan dibentuk dalam jumlah yang lebih banyak saat kondisi pH media yang rendah.
2. Nitrogen. Pemberian nitrogen dapat meningkatkan biosintesis dari IAA.
3. Oksigen. Adanya oksigen (lingkungan aerob) dapat mengakibatkan produksi IAA menjadi meningkat, sebaliknya tidak adanya oksigen (lingkungan anaerob) dapat mengakibatkan produksi IAA menjadi menurun.
4. Waktu inkubasi. Semakin lama bakteri tersebut diinkubasi maka auksin yang dihasilkan justru semakin sedikit.

2.5 Proses Pengangkutan Hormon Auksin

Pada prinsipnya hormon yang dihasilkan oleh tumbuhan akan dihasilkan disuatu bagian tertentu dan ditranslokasikan ke bagian lain. Artinya tempat produksi dan tempat bekerjanya berbeda. Secara garis besar hormon pada tanaman ditranspor melalui 2 cara, yaitu

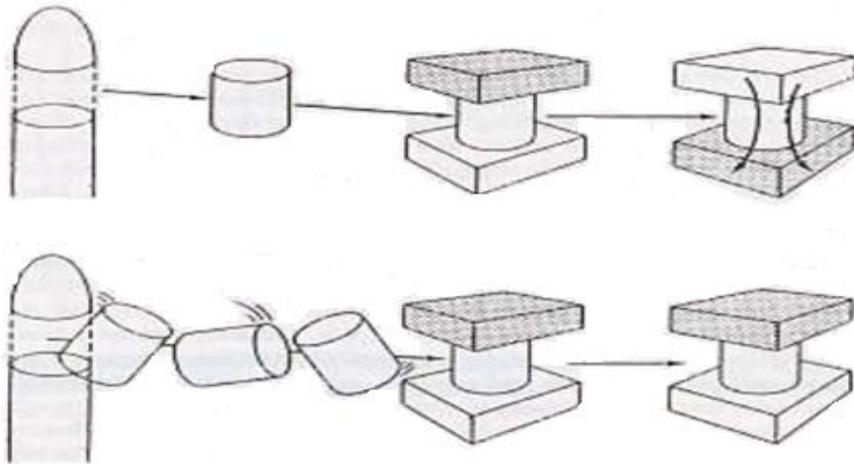
1. Basipetal, pengangkutan hormon dari atas (pucuk) ke bagian bawah dan cara ini bersifat polar (memerlukan energi yang berasal dari metabolisme).
2. Akropetal, pengangkutan hormon dari bawah ke bagian atas dan tidak memerlukan energi (non-metabolik) contohnya difusi.

Fitohormon dalam proses pengangkutannya akan bergerak di dalam sel antara organel dan bergerak diantar sel melalui jalur simplas, apoplas, melalui jaringan xylem ataupun melalui jaringan floem. Auksin tergolong kedalam fitohormon yang diangkut secara polar (bukan difusi biasa).

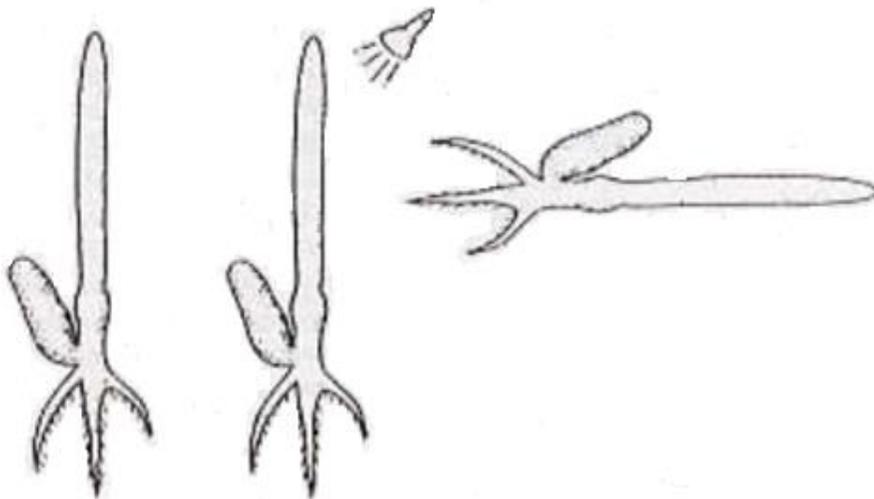
Sitokinin, giberelin (GA) dan asam absisat (ABA) tidak mengalami pengangkutan polar. Sedangkan etilen karena bentuknya yang berupa gas, proses pergerakannya dengan cara difusi.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa auksin atau yang biasa disebut IAA dibiosintesis dari asam amino prekursor triptophan dengan bantuan enzim IAA-oksidadase. Auksin banyak dijumpai dalam jaringan aktif (jaringan maristem) misalnya pada daerah tunas, buah dan daun muda. Pengedaran auksin pada suatu dimulai dari atas hingga bawah dan berakhir pada titik tumbuh di akar. Pengedaran dilakukan melalui jaringan parenkim atau floem (jaringan pembuluh tapis). Berikut adalah beberapa keistimewaan dari pengangkutan auksin pada tumbuhan :

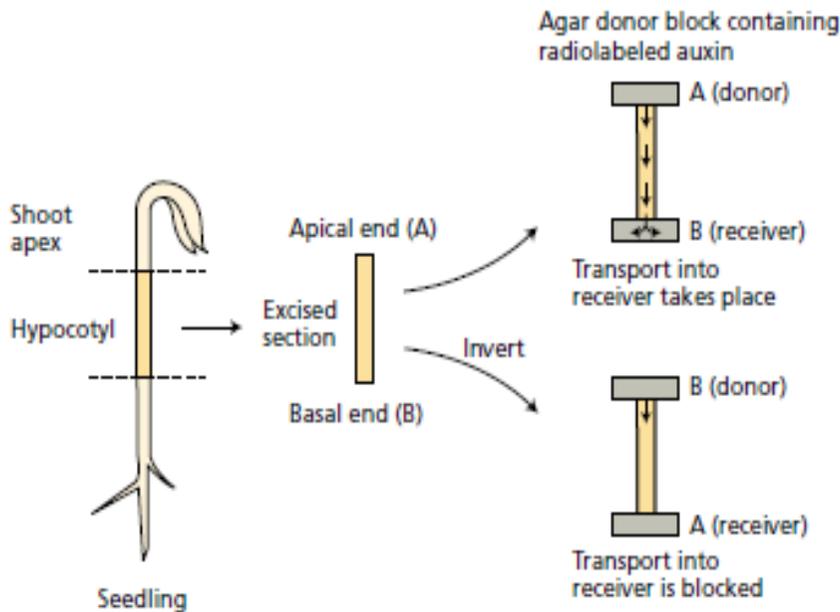
- a. Pergerakannya sangat lambat. Kecepatan gerak auksin hanya sekitar 1cm/jam di bagian batang dan akar tumbuhan.
- b. Proses pengangkutannya berlangsung secara polar. Pada akar proses pengangkutannya terjadi secara akropetal melalui parenkim vaskuler, sedangkan jika pada batang proses pengangkutannya terjadi secara basipetal (*away from apex*). Pengangkutan secara polar ini bukan merupakan proses difusi biasa, artinya pengangkutan terjadi dari konsentrasi auksin yang tinggi menuju ke konsentrasi auksin rendah, tetapi proses pengangkutan ini juga termasuk kedalam aktifitas dari sel-sel hidup.



Gambar 12. Percobaan Went yang Menggambarkan Proses Pengangkutan dari Auksin secara Basipetal Polar dengan Menggunakan Potongan dari Koleoptil *Avena* sp.



Gambar 13 . Transport auksin dan perbedaan potensial listrik pada koleoptil Avena (a) antara ujung dan basal (*tip and base*); (b) antara sisi gelap dan terang; (c) antara bagian atas dan bagian bawah saat posisi horizontal.

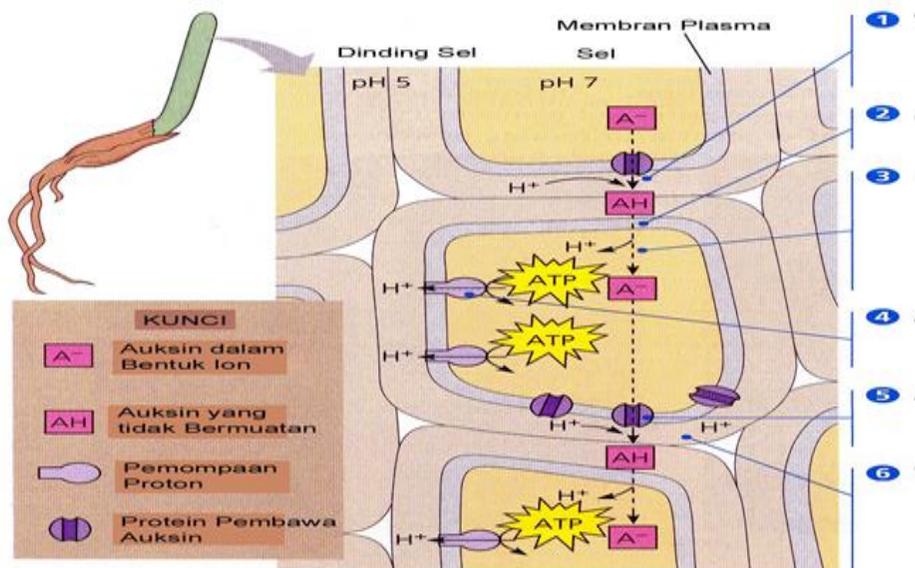


Gambar 14. Metode pengukuran transportasi auksin kutub. Polaritas transportasi tidak tergantung pada orientasi terhadap gravitasi (Taiz and Zenger 2006).

Percobaan tersebut menggambarkan bahwa auksin bergerak dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah melalui morfologis ujung ke morfologis pangkal batang. Namun, hingga saat ini pun dasar-dasar fisiologis dari pergerakan secara polar belum diketahui dengan jelas. Pada intinya pergerakan polar adalah hasil kerjasama dari sel-sel hidup sehingga dapat dibuat alasan bahwa fenomena polaritas terjadi di dalam sel. Polaritas ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya (1) distribusi asimetrik dari organela-organela (mitokondria, plastid, ribosoma, spherosoma); (2) membran yang asimetrik (plasma, tonoplas, retikulum endoplasma); (3)

distribusi enzim yang asimetik dalam sel dan (4) Perbedaan distribusi dari ion-ion anorganik dan mikro molekul dalam sel.

c. Untuk dapat menggerakkan auksin tumbuhan memerlukan energi dari hasil metabolisme. Misalnya kemampuan dari inhibitor dalam sintesis ATP atau ketersediaan dari oksigen sebab oksigen yang minim dapat menghambat pergerakan auksin.



Gambar 15. Model Khemiosmosis terkait transportasi auksin secara polar

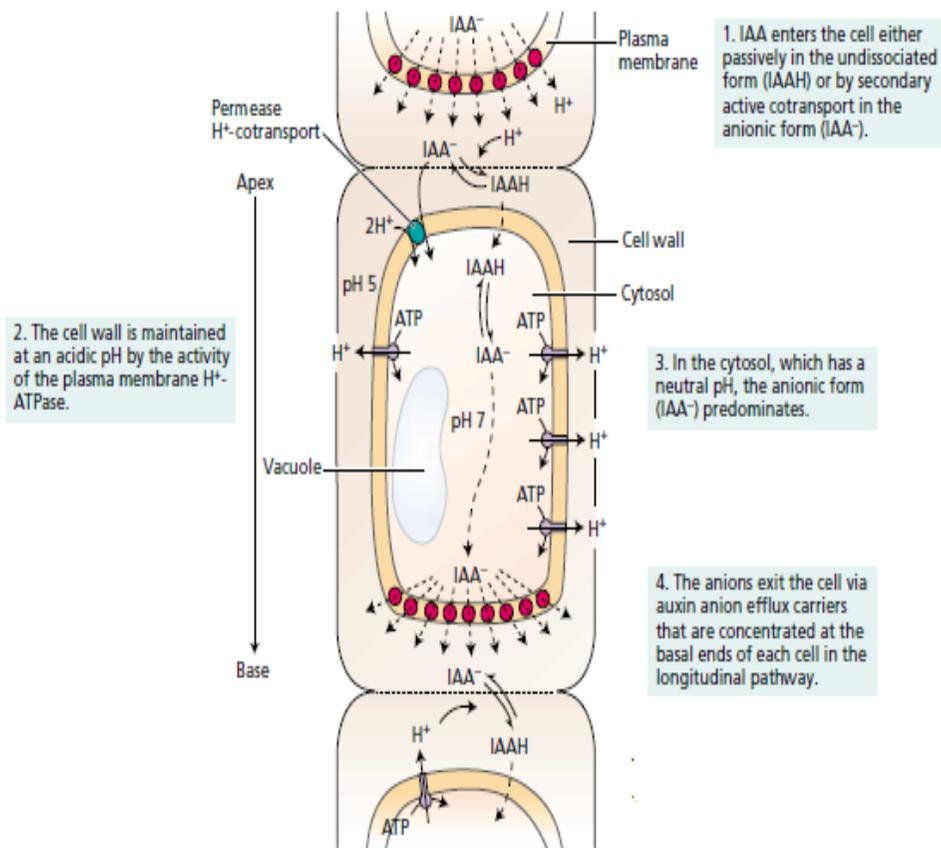
Sumber : Campbell *et al.* (2008)

Keterangan:

1. Molekul pada auksin akan mengikat ion hidrogen (H^+) saat lingkungan di dinding sel menjadi asam. Akibatnya molekul auksin tersebut akan bermuatan netral.
2. Akibat ukurannya yang kecil dan bermuatan netral, maka auksin melintas melalui membran sel.
3. Setelah sampai dibagian dalam sel, molekul auksin akan berubah menjadi bermuatan negatif dan ion H^+ sebab pH pada bagian sebelah

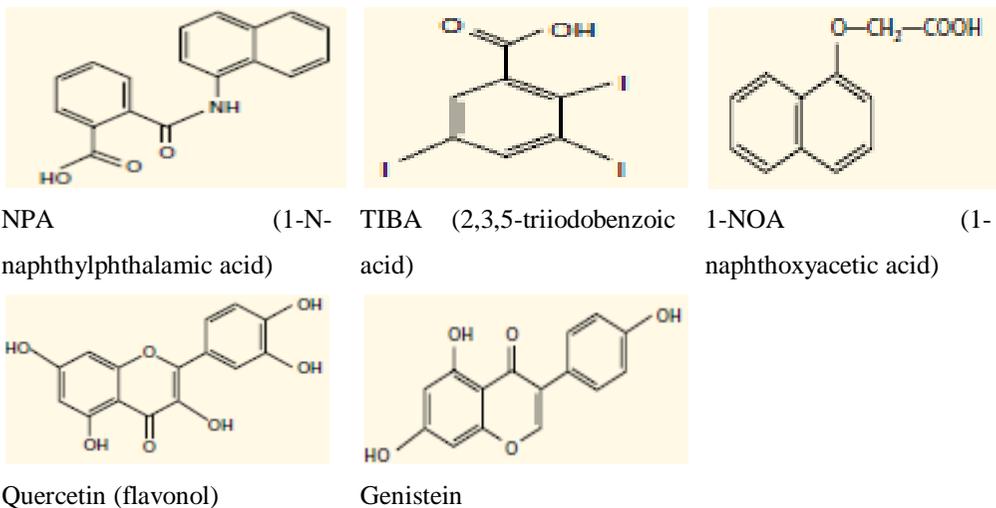
dalam sel sebesar 7. Hormon auksin tersebut akan berada didalam sel sebab membran plasma bersifat permebel terhadap ion dibanding molekul netral (meski ukurannya sama).

4. Perbedaan pH di sebelah luar sel dan disebelah dalam diatur oleh pompa proton yang dikendalikan oleh ATP.
5. Auksin dapat keluar dari dalam sel melalui protein karier spesifik yang terdapat di membran plasma (melalui bagian basal sel).
6. Mengalirnya auksin pada suatu bagian tumbuhan disebabkan oleh adanya pompa proton. Hal ini disebabkan karena adanya tekanan (potensi membran) saat auksin melewati membran sehingga membantu transportasi auksin keluar dari sel.



Gambar 16. Model tranpotrasi chemiosmotic auksin secara polar dalam sel (Taiz and Zenger 2006).

Pergerakan dari auksin dapat dihambat oleh zat penghambat yang disebut anti-auksin, misalnya 2,3,5-T dan NPA. Selain itu, jika pengangkutannya secara polar maka otomatis pengangkutan tersebut dapat dihambat oleh ketidak tersediaan oksigen di lingkungan (lingkungan anaerob) dan zat-zat penghambat respirasi.



Gambar 17. struktur inhibitor auksin. (Taiz and Zenger 2006).

NPA, TIBA dan 1-NAO merupakan inhibitor yang tidak dapat ditemukan pada tumbuhan, sedangkan Quercetin dan Genisten merupakan inhibitor alami yang dapat ditemukan pada tumbuhan.

IAA merupakan salah satu jenis hormon auksin yang bergerak melalui sel-sel pada jaringan parenkim yang bersinggungan langsung dengan berkas pembuluh. IAA dalam proses pengangkutannya dapat dilakukan dengan 2 cara, yakni pengangkutan secara polar maupun pengangkutan non-polar.

1. Pengangkutan Polar

Jika pada batang proses pengangkutannya secara basipetal (mencari dasar) dan tidak bergantung pada dasarnya (posisi normal ataupun terbalik). Jika pada akar pengangkutannya secara akropetal (menuju apeks). Pengangkutan polar ini terjadi hanya pada sel yang bersifat aktif dan kecepatan pengangkutannya sangat rendah (± 1 cm per jam di daerah batang dan akar).

2. Pengangkutan Non-polar

Pengangkutan Non-polar merupakan pengangkutan yang pergerakannya keseluruhan arah. Pengangkutan non-polar terjadi pada sel-sel yang mengalami penuaan (senescenes) dan kecepatannya pengangkutannya tinggi.

IAA pada kecambah monokotil terletak paling banyak pada daerah koleoptil dan makin berkurang ke arah akar. Penyebaran tersebut berlaku hanya jika IAA berasal dari ujung koleoptil diangkut ke bagian lain. Saat perjalanannya dari ujung koleoptil menuju ke bagian lainnya, IAA yang diangkut tersebut digunakan oleh tanaman untuk proses pertumbuhan dengan cara dimobilisasi oleh ikatan-ikatan kompleks atau bisa pula dengan cara diinaktifkan dan dirombak melalui reaksi-reaksi enzimatik.

IAA pada kecambah monokotil proses pengangkutannya jauh lebih kompleks. Jelasnya IAA tersebut dibuat pada daerah-daerah yang bersifat meristematis (pada bagian tunas-tunas pucu daun dan tunas samping).

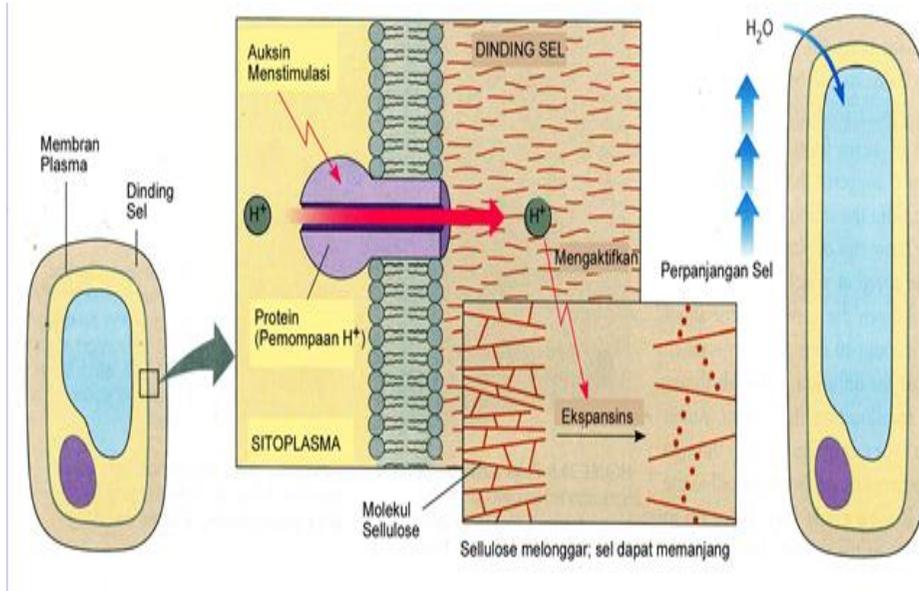
2.6 Fungsi dan Aktifitas Hormon Auksin

Berikut adalah fungsi dan Aktifitas dari hormon auksin:

1. Memacu proses pemanjangan sel (pertumbuhan).

Auksin merupakan promotor pertumbuhan dan perkembangan pada suatu tumbuhan. Kostermans dan Kogl (1934) serta Thyman (1935) menyatakan bahwa IAA merupakan jenis auksin sebab memiliki kemampuan dalam menginduksi pemanjangan sel pada bagian batang. Tempat utama terjadinya sintesis auksin adalah di meristem tunas apikal. Auksin ditranslokasikan dari bagian ujung tunas ke daerah pemanjangan sel, sehingga auksin dapat menstimulasi pertumbuhan dari suatu sel dengan cara mengikat reseptor yang dibangun dalam membran plasma sel.

Pompa proton pada membran sel memiliki peran sebagai regulator dari respon pertumbuhan suatu sel terhadap auksin. Pada daerah perpanjangan tunas, pompa proton pada membran plasma akan menstimulasi auksin sehingga terjadi peningkatan potensi pada membran (ada tekanan yang melewati membran) serta menurunkan pH pada dinding sel. Terjadinya penurunan pH menyebabkan dinding sel menjadi asam dan terjadi pengaktifan enzim ekspansin. Enzim ini berperan dalam meregangkan struktur dari dinding sel dan merusak ikatan hidrogen antara mikrofibril selulosa. Hal ini didasari pada suatu hipotesa yang dikenal dengan nama Hipotesa pertumbuhan asam (*acid growth hypothesis*).



Gambar 18. Perpanjangan Sel Sebagai Respon terhadap Auksin berdasarkan hipotesa Pertumbuhan Asam (Campbell *et al*, 2008)

Adanya penambahan potensi pada membran menyebabkan terjadinya pengembalian ion dari luar ke dalam sel menjadi meningkat sehingga terjadilah osmosis untuk mengembalikan air. Pengembalian air tersebut diiringi dengan peningkatan plastisitas dari dinding sel, sehingga ada kemungkinan bagi sel untuk mengalami pemanjangan. Setelah adanya dorongan awal ini, pertumbuhan akan terus berlanjut. Sel akan membentuk sitoplasma dan dinding sel kembali. Pertumbuhan selanjutnya akan distimulasi oleh auksin.

Auksin mempengaruhi pertumbuhan akar dengan cara memperpanjang akar (*root initiation*). Jenis auksin yang dapat mempengaruhi tersebut diantaranya NAA, IAA dan IAN. Pemberian IAA dalam konsentrasi tinggi disatu sisi dapat meningkatkan jumlah akar namun disisi lain justru menghambat pemanjangan akar. Pertumbuhan dari batang sangatlah erat kaitannya dengan auksin.

Jika ujung koleoptil dari suatu tumbuhan dipotong, maka pertumbuhan dari tanaman tersebut akan terhenti. Pada bagian meristem apikal terdapat banyak jaringan-jaringan muda dan auksin terdapat dalam jumlah yang banyak pada bagian pucuk yang paling rendah (basal). Sedangkan indikator pertumbuhan buah yang diberikan auksin adalah adanya peningkatan dari volume buah tersebut. Pembelahan dan/ atau pemanjangan pada sel dapat meningkatkan volume pada buah. Akan tetapi akan terjadi overlap antara fase pembelahan sel dengan fase pengembangan sel. Perkembangan dicirikan dengan adanya peningkatan dari ukuran buah. Auksin akan dihasilkan oleh endosperm dan embrio dalam biji guna berperan dalam menstimulasi pertumbuhan endosperm.

Crane pada tahun 1949 telah berhasil membuktikan bahwa auksin berperan dalam pertumbuhan buah. Crane melakukan penelitian dengan memberikan 2,4,5-T sebagai auksin eksogen pada tanaman jeruk, anggur, blackberry dan strawberry. Hasilnya menunjukkan bahwa buah tersebut dapat mengalami pertumbuhan lebih cepat 60 hari dibanding rata-rata fase normal (120 hari) (Wiraatmaja, 2017).

Saat menstimulasi pertumbuhan, auksin hanya dapat bekerja pada interval konsentrasi tertentu yakni 10^{-8} M sampai 10^{-4} M. Auksin dapat menginduksi produksi etilen (inhibitor pertumbuhan) sehingga jika konsentrasi yang diberikan berlebih, proses pemanjangan sel justru terhambat. IAA dapat menstimulasi pemanjangan sel pada batang saat konsentrasi yang diberikan sebesar 9 g/L. Menurut Zaini *et al* (2017) konsentrasi auksin yang tepat untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman ialah 1-3 ml dalam 1 L air. Jika

konsentrasi IAA terlalu tinggi justru menyebabkan pemanjangan sel batang menjadi terhambat. Berdasarkan penelitian dari Hismarto *et al* (2015) adanya variasi perlakuan dalam pemberian hormon auksin sintetik Asam Naftalena Asetat memberikan pengaruh yang positif terhadap pertumbuhan dari *Nannochloropsis oculata*. Perlakuan dengan pemberian auksin dalam konsentrasi yang berbeda ternyata berpengaruh nyata terhadap daya kecambah, potensi tumbuh, indeks vigor, tinggi kecambah dan panjang akar benih semangka kadaluarsa (Zaini *et al.*, 2017). Hal tersebut disebabkan karena auksin mengandung senyawa yang dapat mempercepat proses metabolisme pada benih. Auksin merupakan senyawa utama dalam proses metabolisme benih.

Benih yang direndam dalam auksin nantinya akan mengalami pertambahan tinggi dari benih normal (tanpa auksin). Auksin akan diserap oleh benih melalui proses imbibisi. Masuknya auksin pada benih akan menyebabkan terjadinya proses kimiawi pada benih yang kemudian mengalami perkecambahan. Auksin tersebut akan merangsang pembentukan batang dan pembelahan sel, akibatnya terjadi tinggi kecambah akan meningkat. Saat masa perkecambahan, auksin berperan dalam mendorong sel-sel pada akar dan batang membesar serta memanjang (Patma *et al*, 2016). Auksin yang diberikan pada suatu benih secara tidak langsung mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan dari benih tersebut. Faktor tumbuh (gas, air, iklim dan unsur hara yang berada dalam media) serta endosperm (cadangan makanan) pada kotiledon sangat dibutuhkan oleh benih untuk berkecambah. Saat benih telah mengalami perkecambahan, auksin akan ikut serta dalam mendorong sel akar dan sel batang untuk memanjang dan membesar terutama saat

pengambilan air setelah jaringan-jaringan embrio mengering diharapkan nantinya sintesa protease akan meningkat begitupula dengan enzim-enzim hidrolitik lainnya. Selama proses perkecambahan auksin juga dapat menghasilkan zat-zat yang mendukung perkembangan embrio dan munculnya kecambah untuk kemudian ditranspor menuju embrio. Auksin memiliki kemampuan dalam meningkatkan proses metabolisme dan biokimia dalam benih serta meningkatkan proses imbibisi. Peningkatan imbibisi akan berdampak pada peningkatan indeks vigor yang dihasilkan oleh benih (Adanan *et al*, 2017). Karena auksin memiliki kemampuan dalam meningkatkan laju pertumbuhan saat ini sudah banyak dikomersialkan dan digunakan auksin sintetis.

Contoh pengaplikasian

Kemampuan auksin dalam melakukan pembelahan sel mengakibatkan hormon ini banyak dimanfaatkan dalam perkembangan biakan secara *in vitro* (kultur jaringan). Hormon auksin merupakan jenis hormon yang paling banyak dimanfaatkan dalam perkembangan biakan tumbuhan secara *in vitro*, misalnya kultur jaringan. Auksin tersebut berperan dalam mendorong terbentuknya suspensi sel, kalus serta organ dari tanaman yang akan dibiakan. Smith (2013) menjelaskan bahwa auksin dapat merangsang pembelahan dari kalus dan dapat menekan morfogenesis pada kultur tanaman secara *in vitro*. Terbentuknya akar pada saat perkecambahan tanaman dengan teknik kultur jaringan merupakan indikator keberhasilan dari teknik kultur jaringan itu.

Konsentrasi yang diperlukan dalam menginduksi akar bervariasi, konsentrasinya bergantung pada spesies tanaman yang

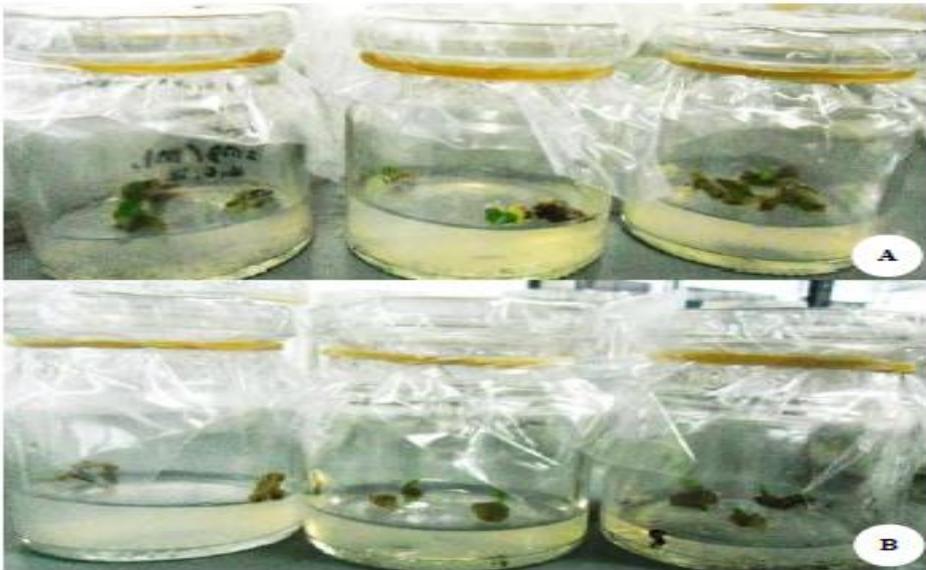
dikultur, jenis eksplan serta auksin yang akan digunakan. Contohnya IAA untuk dapat menginisiasi pembentukan akar digunakan pada interval 0,1 mg/L – 10 mg/L, IBA 0,3 mg/L 3 mg/L dan NAA 0,5 mg/L – 1 mg/L. Namun jika konsentrasi hormon auksin sintetik yang diberikan sama maka pembedanya ditentukan oleh perbedaan struktur kimia dari jenis auksin tersebut. Misalnya IBA dan NAA, konsentrasi yang diberikan sama yakni 0,8 mg/L ternyata NAA dapat menghasilkan jumlah akar yang lebih banyak jika dibandingkan IBA. Hal tersebut diduga terjadi karena IBA memiliki atom N pada struktur kimianya sedangkan NAA tidak. Adanya nitrogen dalam media kultur jaringan sangat tidak dianjurkan sebab asam amino yang terbentuk justru menjadi penghambat dalam pembentukan akar. Proses penginduksian perakaran akan jauh lebih baik jika jenis auksin yang digunakan hanya satu (Rostiana dan Deliah, 2007).

Pada media kultur biasanya auksin akan bekerjasama dengan sitokinin. Kerja dari auksin dan sitokinin dapat menyebabkan konsentrasi zat pengatur tumbuh endogen didalam sel menjadi meningkat sebab kedua hormon tersebut merupakan faktro pemicu dalam proses pertumbuhan dan perkembanagn suatu jaringan (Mahdi *et al*, 2015). Menurut Wiraatmajaya (2017) auksin dalam merangsang pertumbuhan jaringan tanaman dengan cara:

- a. Memicu terjadinya sekresi ion H^+ dari sel melalui dinding sek. Akibatnya akan ada pengasaman pada dinding sel sehingga K^+ akan diambil. Potensi air yang berada didalam sel akan mengalami penurunan akibatnya air akan masuk terus kedalam sel dan sel akan membesar.

- b. Mempengaruhi reaksi metabolisme protein dengan cara mempengaruhi metabolisme RNA, melalui transkripsi molekul RNA.
- c. Memacu dominansi apikal
- d. Memacu pertumbuhan akar

Pemilihan jenis auksin dan konsentrasi dalam perkembangbiakan secara *in vitro* (kultur jaringan) bergantung pada: (1) taraf auksin endogen yang dimiliki tanaman, (2) Kemampuan dalam mensintesis auksin dari jaringan, (3) spesis tumbuhan yang akan diperbanyak, (4) ZPT lain yang juga ditambahkan atau dipergunakan dalam media kultur. Salah satu contoh auksin sintetis yang biasa digunakan dalam perbanyakan tanaman secara *in vitro* adalah 2,4-D. 2,4-D ini memiliki kemampuan dalam merangsang terbentuknya kalus serta dapat meningkatkan rata-rata presentasi eksplan (eksplan pada daun maupun eksplan internode pada tanaman *Chysanthenum indicum*) yang hidup hingga 89,23% (Rivai dan Hendra, 2015). Berikut adalah gambaran dari kalus yang diberikan auksin sintetis (2,4-D).



Gambar 19. Pembentukan Eksplan pada tanaman *Chrysanthemum indicum* (bunga krisan) yang diberi 2,4-D

Keterangan : A. Eksplan daun; B. Eksplan Internode

Smith (2013) menyatakan bahwa proses fisiologis dalam tanaman dapat mengalami peningkatan sehingga eksplan daun dan eksplan internode dapat terus bertahan hidup akibat dari pemberian auksin sintetik salah satunya 2,4-D. Selain meningkatkan presentasi eksplan tanaman yang hidup pemberian ZPT Auksin juga memberikan efek terhadap waktu inisiasi kalus pada tanaman. Hasil penelitian dari Kurniati *et al* (2012) menunjukkan bahwa pemberian ZPT auksin mampu membentuk kalus dalam kurun waktu 14 hingga 31 hari setelah tanam. Waktu inisiasi tersebut akan semakin singkat jika diletakkan dalam ruang gelap. Auksin tidak mudah mengalami degradasi pada tempat yang gelap sehingga waktu inisiasi dari kalus menjadi lebih cepat.

2. Menghambat pembentukan tunas lateral sehingga mengakibatkan terjadinya dominansi apikal.

Pertumbuhan tunas apikal akan menghambat pertumbuhan tunas lateral sebab tunas apikal akan menumbuhkan daun-daun. Adanya zat penghambat didaun muda menyebabkan terjadinya dominansi apikal. Apabila bagian apeks tajuk di batang dipangkas lalu diberikan auksin dibagian terpankas tadi maka kuncup samping akan mengalami perkembangan tetapi arah dari pertumbuhan cabangnya tegak keatas. Sesuai dengan pola pertumbuhan tanamannya, jika daun muda tumbuh pada bagian ujung batang suatu tanaman maka tunas akan tumbuh ke arah samping (terbentuknya tunas lateral). Hal ini dapat dibuktikan dengan cara memotong bagian ujung batang akan akan tumbuh tunas di ketiak daun.

Keterkaitan antara auksin dan dominansi apikal pertama kali dibuktikan oleh Skoog dan Thimann. Mereka mencoba untuk membuang bagian pucuk tanaman (*apical bud*) dari tanaman kacang kacang, akibat dari percobaan tersebut tunas menjadi tumbuh di ketiak daun. Ujung tanaman yang telah dipotong tadi kemudian diberi potongan agar yang mengandung auksin. Akibatnya tidak terjadi lagi pertumbuhan tunas pada ketiak daun. Dengan kata lain auksin yang berada di *apical bud* merupakan penghambat munculnya tunas di ketiak daun.

3. Membentuk akar adventif

Auksin dapat memicu pembentukan akar liar pada batang tanaman, contohnya pada tanaman apel terdapat akar dibawah cabang pada daerah antar nodus. Kemampuan auksin dalam membentuk akar adventif dan akar lateral menyebabkan auksin banyak dikomersialkan

dibidang pertanian terutama dalam hal perbanyak tanaman dengan metode stek. Jika daun, batang maupun bagian tumbuhan lain dipotong lalu diberi auksin dalam bentuk serbuk pengakaran maka akan mendorong terbentuknya akar adventif dibagian permukaan yang terpotong tadi. Jenis hormon auksin sintetik yang biasa digunakan oleh para petani dalam memperbanyak tumbuhan secara stek adalah IBA dan NAA. IBA dan NAA ini lebih baik jika dibandingkan dengan IAA sebab sifat kimianya jauh lebih stabil dan memiliki mobilitas yang lebih baik pada tanaman. Pengaruh yang diberikan oleh IBA dan NAA lebih lama dan tidak dapat menyebar kebagian stek lain sehingga akar yang tumbuh akan lebih subur. Sebaliknya pemberian IAA pada suatu tanaman dapat menyebar hingga ke tunas lain sehingga ada penghalang bagi tunas untuk berkembang dan tumbuh.

4. Merangsang terbentuknya xilem dan floem oleh kambium, menjaga elastisitas dinding sel dan membentuk dinding sel primer (dinding sel yang pertama kali dibentuk) pada tumbuhan. Auksin bekerjasama dengan Giberelin dalam memicu pertumbuhan jaringan pembuluh dan mendorong terjadinya pembelahan sel pada kambium pembuluh yang menyebabkan diameter batang suatu tanaman bertambah.
5. Menghambat rontoknya buah dan merangsang pengguguran daun (absisi). Hal ini disebabkan karena auksin pada tanaman dapat bereaksi menghasilkan senyawa-senyawa inhibitor salah satunya etilen, sehingga proses absisi terhambat.

6. Membantu proses pembentukan buah tanpa biji (partenokarpi)

Partenokarpi adalah proses pembentukan buah yang terjadi tanpa adanya proses penyerbukan sehingga tidak ada pembuahan. Bunga yang tidak mengalami penyerbukan dapat merangsang perkembangan buah tanpa biji. Kandungan auksin yang terdapat dalam ovary yang sedang mengalami pembuahan (polinasi) akan mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan ovary yang tidak sedang mengalami pembuahan (ciri-cirinya tidak mengalami pembengkakan pada bagian dindingnya). Partenokarpi bisa terjadi dengan pemberian campuran IAA dan lanolin pada stigma.

7. Mendorong terbentuknya serabut-serabut akar dan akar lateral

Guna mengoptimalkan penyerapan air dan mineral pada tumbuhan diperlukan adanya serabut-serabut akar dan akar lateral. Berdasarkan hasil penelitian auksin yang terkandung didalam mutan *Arabidopsis* yang mengalami perbanyakan akar lateral 17 kali lipat lebih banyak dari konsentrasi normal. NAA merupakan sitokinin sintetik yang dapat diberikan pada suatu tumbuhan untuk menstimulasi terbentuknya akar pada tumbuhan. NAA merupakan jenis hormon sintetik yang apabila dikombinasi dengan kerja hormon lain maka kerjanya tidak akan merusak hormon lain.

8. Sebagai herbisida

Pada bidang pertanian, auksin juga banyak dimanfaatkan sebagai herbisida. Salah satunya adalah 2,4-dinitrofenol (2,4-D) yang dapat meminimalisir jumlah gulma berdaun lebar (misalnya Dendolion) jika disemprotkan ke tumbuhan seralia atau dipadang rumput. Respon fisiologis yang muncul dari tanaman saat diberikan

auksin sintetik ini berbeda-beda. Pada monokotil (misalnya jagung dan rumput) auksin sintetik ini dapat diaktivasi secara cepat. Namun pada dikotil justru pengaktivasian tersebut tidak terjadi bahkan justru menyebabkan tanaman menjadi mati karena banyaknya dosis hormonal. Jenis auksin sintetik lain yang juga dapat digunakan sebagai herbisida adalah 2,4,5-Triklorofenolasetat (2,4,5-T) dan 2-metil-4- klorofenoksiasetat (MCPA). Sifat dari ketiga jenis auksin tersebut ialah (1) fitoksisitas tinggi; (2) mengganggu proses transkripsi DNA dan proses translasi RNA sehingga enzim yang berperan dalam proses pertumbuhan akan terganggu dan (3) Mecegah dan menghambat pertumbuhan dari gulma pada daun tanaman dikotil/ daun lebar, sebab dapat diserap dalam jumlah yang banyak.

Penggunaan auksin sintetik jenis 2,4-D dalam bidang pertanian sebagai hebisida selektif sebab hanya dapat membasmi gulma yang memiliki daun lebar yang berasal dari tumbuhan dikotil. 2,4-D mengandung senyaa dioksin yang tidak bersifat racun pada mamali namun dapat menyebabkan penyakit hati, cacat lahi dan leukimia pada hewan serta manusia.

9. Penyebab gerak pada Tumbuhan yakni Photoropisme dan Geotropisme

Fototropisme merupakan salah satu bentuk gerak pada tumbuhan yang gerakannya menuju ke arah datangnya cahaya atau sinar. Fototropisme ini dapat terjadi karena adanya pemanjangan sel pada bagian tumbuhan yang terkena cahaya atau disinari. Perbedaan respon yang diberikan oleh tanaman terhadap penyinaran dikenal dengan sebutan phototropisme. Phototropisme bisa terjadi karena adanya perbedaan penyebaran dari auksin di setiap bagian

tumbuhan. Kadar auksin pada bagian tumbuhan yang tidak tersinari atau tidak terkena cahaya akan jauh lebih tinggi dibanding yang tersinari.

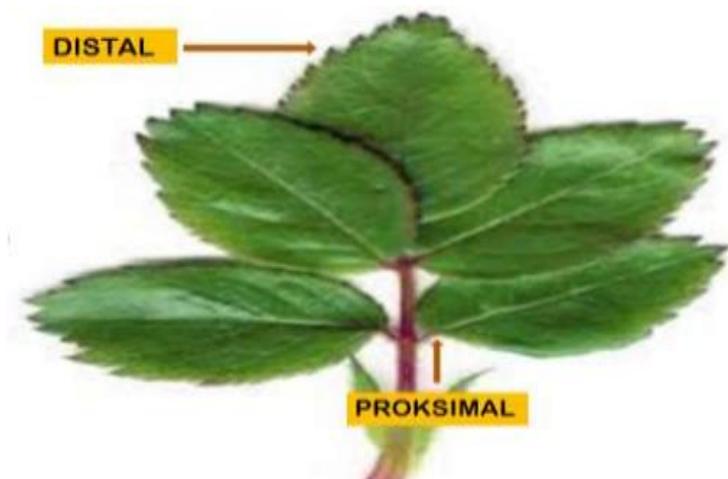
Geotropisme merupakan gerakan tumbuhan ke arah pusat gravitasi bumi. Geotropisme ini terbagi menjadi 2 yakni geotropisme positif dan geotropisme negatif. Positif apabila searah dengan gravitasi dan negatif apabila berlawanan arah dengan gravitasi. Geotropisme ini berkaitan dengan auksin yang ada pada tanaman. Jika suatu tanaman (koleoptil) diletakkan secara horizontal (mendatar), maka auksinnya akan terakumulasi di bagian bawah. Hal tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi proses translokasi auksin ke bagian bawah tumbuhan (menuju pusat bumi) sebagai akibat dari geotropisme. Dolk pada tahun 1936 telah berhasil membuktikan pengaruh dari geotropisme terhadap akumulasi dari auksin. Auksin terkumpul di bagian bawah tumbuhan lebih banyak dibandingkan bagian atas. Seperti yang telah dipelajari di biologi sel, bahwa setiap sel terdiri atas komponen cair (terletak di bagian atas) dan komponen padat (di bagian bawah akibat dari gravitasi bumi). Bahan-bahan yang dipengaruhi oleh gravitasi bumi dikenal dengan nama statolith sedangkan sel yang dipengaruhi oleh gravitasi dinamakan statocytes.

10. Absisi

Terjadinya pemisahan pada suatu bagian atau organ tanaman secara alamiah dikenal dengan istilah absisi. Selain dipengaruhi oleh faktor alami seperti panas, kekeringan dingin dan lain sebagainya. Absisi juga dipengaruhi oleh hormon tumbuhan salah satunya auksin. Saat terjadi absisi, suatu tumbuhan akan mengalami perubahan secara metabolisme dan secara kimia. Perubahan secara kimia terjadi pada

struktur kitin yang berada di lamella tengah sedangkan perubahan metabolisme terjadi pada dinding sel. Lapisan absisi yang terbentuk tersebut biasanya diikuti pula oleh susunan sel bagian proksimal. Sel-sel baru tersebut nantinya akan mengalami diferensiasi ke dalam lapisan periderm dan membantu membentuk lapisan pelindung. Absisi dapat terjadi jika jumlah auksin di bagian proksimal seimbang atau melebihi jumlah auksin di bagian distal. Sebaliknya jika jumlah auksin di distal lebih banyak maka absisi tidak akan terjadi.

Ada teori lain yang juga menyatakan bahwa absisi dipengaruhi oleh konsentrasi atau kadar auksin. Konsentrasi atau kadar auksin yang tinggi dapat menghambat (inhibitor) dalam terjadinya absisi, sedangkan konsentrasi auksin yang rendah dapat justru dapat mempercepat absisi pada tumbuhan. Terdapat 2 fase dari respon daun terhadap auksin setelah mengalami absisi (terlepas). Fase pertama menunjukkan bahwa auksin menghambat terjadinya absisi sedangkan fase kedua menunjukkan bahwa pada konsentrasi yang sama auksin justru mendukung terjadinya absisi pada suatu tanaman.



Gambar 19. Letak Auksin di Bagian Distal dan Bagian Proksimal

2.7 Faktor yang Mempengaruhi Kerja Hormon Auksin

Menurut Sauer *et al* (2013) dalam melakukan kerja, hormon auksin juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti:

a. Cahaya

Cahaya merupakan salah satu faktor penghambat dalam kerja auksin. Adanya cahaya menyebabkan auksin menjadi rusak dan auksin berpindah kearah yang menjauhi cahaya. Salah satu jenis cahaya yang dapat menghambat kerja auksin adalah cahaya nila. Pada tumbuhan terdapat 2 pigmen yang mampu menyerap sinar nila, yakni betakaroten dan ribovlavin. Ribovlavin terdapat dibagian ujung-ujung akar. Jika ribovlavin menyerap sinar nila maka enzim-enzim yang berperan dalam membantu pembentukan IAA dan triptophan akan rusak. Sedangkan rusak/hilangnya betakaroten tidak berpengaruh terhadap fototropisme.

Pengaruh cahaya terhadap kerja auksin dapat dibuktikn dari fototropisme koleoptil. Koleoptil merupakan daun khusus yang berfungsi melindungi benih sampai muncul dari tanah yang berasal dari simpul utama dari selubung epikotil. Koleoptil akan membengkok kearah datangnya cahaya. Apabila ujung koleoptil tersebut dituutp dengan menggunakan aluminium foil, maka ujung koleoptil tersebut tidak akan membengkok kearah datangnya cahaya. Sebaliknya jika ujung koleoptil kembali dibuka maka akan terjadi pembengkokan ke arah cahya yang datang. Jaringan yang terdapat pada ujung koleoptil berperan sebagai pengamat cahaya dan memproduksi beberapa sinyal yang dihantarkan kebagian bawah tanaman sehingga nanti memberikan efek fisiologis berupa pembengkokan atau pembungkuan.

b. Gaya Berat

Auksin diedarkan dari bagian puncak menuju bagian bawah (dasar). Selama proses pengedarannya auksin akan lebih banyak terdapat dibagian bawah dari ujung batang dibandingkan bagian atas. Hal ini disebabkan karena adanya gaya berat.

c. Kadar/ Konsentrasi Auksin

Auksin dapat bekerja secara efektif pada konsentrasi tertentu. Konsentrasi/ kadar auksin yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan pada sel-sel akar tetapi dapat meningkatkan pengembangan sel-sel batang. Pengaturan kadar/ konsentrasid dari auksin dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu :

1. Pengaturan sintesis *in situ*. Selama proses biosintesis dapat diatur berapa banyak auksin bebas/ *free auxin* (misalnya IAA) yang terbentuk.
2. Pembentukan auksin terikat (*bound auxin*) yang ireversibel (bentuk detoksifikasi) maupun reversible (bentuk cadangan). Auksin terikat yang ireversible dapat dilepas kembali sebagai IAA, contohnya thioglukosida. Sedangkan auksin terikat yang reversible, IAA akan terbentuk terlebih dahulu kemudian akan diubah menjadi bentuk lain agar tidak toksik (detoksifikasi), contohnya IAA-peptida (IAA glutamat dan IAA aspartat).
3. Pendegradasian menjadi senyawa tidak aktif, dengan cara destruksi baik berupa destruksi enzimatik maupun destruksi fotooksiatif. Dalam destruksi enzimatik oksigen merupakan hal yang mutlak. Selain itu diperlukan pula H₂O₂ dan enzim IAA-Oksidaes (kataliatornya). Hasil destruksi ini berupa metilen xindole. Proses

destruksi fotooksidatif sama seperti destruktif enzimatik. Bedanya destruktif fotooksidatif menggunakan riboflavin, β -karoten dan eosin dengan dosis cahaya yang tinggi.

Sedangkan untuk auksin sintetik, faktor-faktor yang mempengaruhi kerjanya ialah:

1. Daya tembus pada lapisan kutikula atau lapisan epidermis yang berlilin.
2. Sifat translokasi (pengangkutan dan penyebaran) dalam tumbuhan.
3. Transformasi auksin aktif menjadi in-aktif dalam tanaman (destruksi atau pengikatan).
4. Hubungan dengan hormon tumbuhan golongan lainnya.
5. Spesies tanaman yang akan diberikan auksin sintetik.
6. Fase pertumbuhan dari tanaman.
7. Faktor-faktor lingkungan (kelembaban, suhu dan radiasi).

BAB 3. HORMON SITOKININ

3.1 Sejarah Hormon Sitokinin

Sitokinin adalah senyawa yang dapat ditemui secara bebas di sitoplasma serta merupakan salah satu komponen terintegrasi dari beberapa RNAt (sitokinin merupakan komponen penyusun molekul RNAt sebanyak 10%). Senyawa ini memiliki kemampuan dalam meningkatkan pembelahan sel pada tumbuhan. Sitokinin mulanya ditemukan oleh Gottlieb Haberlandt di Australia pada tahun 1914. Beliau mulanya menemukan senyawa yang dapat mendorong pembelahan sel yang menghasilkan kambium gabus serta mampu memulihkan luka pada umbi kentang yang telah dipotong. Senyawa tersebut belum pernah diidentifikasi sebelumnya. Senyawa inilah yang saat ini dikenal dengan nama sitokin yang memicu sitokinesis. Kemudian di 1940an ditemukan pula senyawa yang memacu sitokinesis yang berasal dari endosperm buah kelapa muda oleh Johannes Van Overbeek (Kimia, 2011).

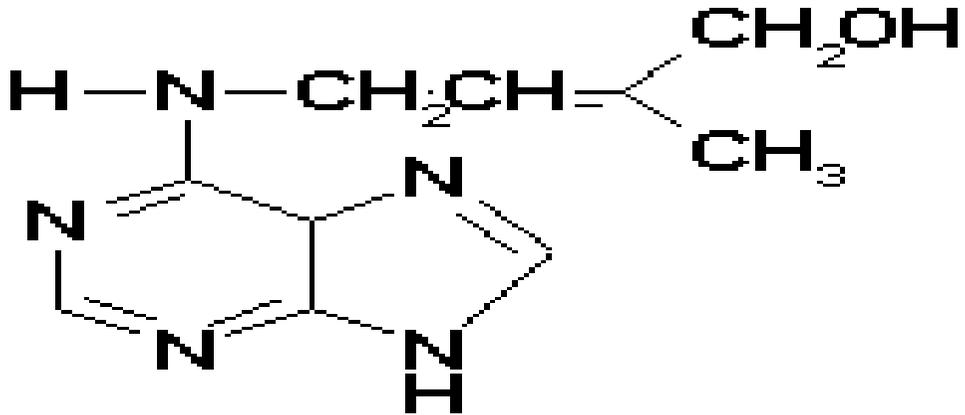
Folke Skoog dan beberapa temannya pada awal tahun 1950an berhasil mempertegas hasil penelitian dari Haberlandt. Mereka awalnya tertarik melakukan penelitian karena melihat hormon auksin yang dapat memacu pertumbuhan dari biakan tanaman. Setelah melakukan penelitian mereka mendapati bahwa sel hasil potongan dari empulur tembakau melakukan pembelahan lebih aktif dan lebih cepat jika diberikan potongan jaringan pembuluh dibagian atas jaringan tersebut. Tidak berhenti sampai disitu, Folke Skoog dan beberapa temannya kemudian melakukan uji biologi untuk mengetahui lebih lanjut faktor kimia yang terdapat di dalam jaringan pembuluh. Biakan dari sel diletakkan dalam media agar yang mengandung IAA, asam amino, vitamin, mineral dan gula dalam konsentrasi yang diketahui dapat meningkatkan pertumbuhan dari sel dengan cepat dengan

cara mendorong pembentukan sel dalam jumlah yang banyak. Namun sel-sel tersebut tidak melakukan pembelahan sehingga akhirnya mengalami poliplodi (sel yang memiliki banyak inti). Berdasarkan kasus tersebut, Folke Skoog dan beberapa temannya mencari senyawa yang dapat memicu sitokinesis pada tumbuhan dan akhirnya mereka berhasil menemukan senyawa lir-adenin. Senyawa lir-adenin tersebut berhasil diekstraksi dari khamir. Hal tersebut membuat para penelitian melakukan penelitian terakit kemampuan DNA dalam memacau pembelahans sel, sebab DNA mengandung basa adenin (Salisbury and Ross, 1995).

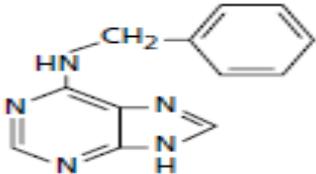
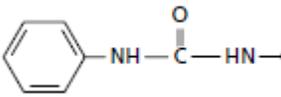
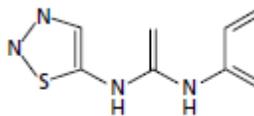
Carlos Miler beserta rekan kerjanya di Laboratorium Skoong dan Strong di Universitas Whincosin melakukan penelitian untuk melihat kemampuan DNA dalam hal sitokinesis. Mereka melakukan isolasi senyawa dari sampel DNA ikan *herring* yang sebelumnya telah di autoklaf. Senyawa hasil ekstraksi tersebut diberi nama Kinetin. Kinetin sendiri bukan merupakan sitokinin yang ditemukan pada tumbuhan dan bukan merupakan senyawa aktif yang ditemukan pada jaringan floem (berdasarkan penelitian Hiberlandt), tetapi kinetin diperkirakan memiliki kedekatan dengan hormon sitokinin. FC Stewar pada tahun 1950an berhasil menemukan berbagai jenis sitokinin yang terdapat didalam endoseprm cair kelapa dengan menggunakan teknik biakan jaringan. Berdasarkan penelitian dari DS Letham (1974) jenis sitokinin yang paling aktif dalam endosperm cair kelapa adalah zeatin atau zeatin ribosida. Ciri-ciri dari zeatin pertama kali dikemukakan oleh Letham dan Carlos Miler secara bersamaan pada tahun 1964. Mereka berdua menggunakan sitokinin yang berasal endosperm cair jagung. Sejak saat itu berbagai jenis sitokinin yang memiliki struktur lir-adenin yang mirip zeatin dan kintetin berhasil dikenali pada berbagai spesies tumbuhan berbiiji.

3.2 Pengertian Hormon Sitokinin

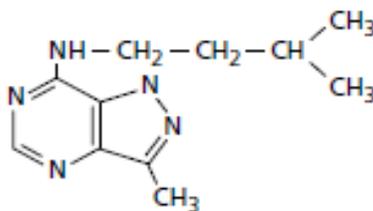
Para ahli fisiologi memberika nama sitokinin sebagai wujud penggambaran akan fungsinya dalam hal memacu pembelahan sel (sitkinesis). Sitokinin merupakan senyawa yang memiliki struktur seperti adenin yang mampu memacu terjadinya pembelahan sel. Jika dilihat dari struktur kimianya, sitokinin memiliki rantai samping yang kaya akan karbon (C) dan Hidrogen (H) yang melekat di nitrogen bagian puncak cincin purinnya. Bentuk dasar dari sitkonin adalah 6-amino purin atau yang dikenal dengan nama adenin. Adenin menjadi penentu aktivitas dari setiap jenis sitoinin. Rantai yang panjang dan adanya *double* bond dalam rantai tersebut dapat meningkatkan aktivitas dari sitokinin Semua jenis sitokinin biasanya ditemukan dalam bentuk bebas ataupun sebagai nukleosida dengan gugus ribosa yang terletak pada atom nitrogen di nomor 9, misalnya zeatin-ribosida. Selain ditemukan pada jamur (fungi), bakteri, RNA organisme prokariotik dan eukariotik, sitokinin dapat pula ditemukan pada spesies tanaman tingkat tinggi. Sitokinin dapat ditemui pada beberapa spesies tanaman tingkat tinggi sebagaimana pula pada jamur (fungi), bakteri, RNA prokariotik dan eukariotik. Bakteri dan jamur patogen mengandung sitokinin yang berpengaruh dalam proses penyebaran penyakit. Namun sitokinin disini tidak berperan sebagai patogen, justru sitokinin berperan positif dalam hubungan mutualistik dengan tumbuhan. Contohnya dalam pembentukan mikoriza dan bintil-bintil akar.



Gambar 20. Struktur Kimia Hormon Sitokinin

 <p>Benzyladenine (benzylaminopurine) (BA)</p>	 <p><i>N,N'</i>-Diphenylurea (Puein non amino dengan aktivitas lemah)</p>	 <p>Thidiazuron</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

Gambar 21. Struktur kimia dari beberapa sitokinin sintetis (Taiz and Zenger 2006).



Gambar 22. senyawa yang bersifat antagonis dengan sitokinin 3-Methyl-7-(3-methylbutylamino)pyrazolo[4,3-D]pyrimidine (Taiz and Zenger 2006).

Senyawa yang terdapat pada gambar 22 merupakan senyawa yang dapat memblokir kemampuan aktivitas dari sitokinin dan efeknya dapat menghambat aktivitas dari sitokinin.

Sitokinin selain terdapat pada tumbuhan juga terdapat pada lumut, alga merah dan alga coklat dan diatom. Sitokinin juga berperan dalam merangsang pertumbuhan pada alga. Pada tumbuhan jenis sitokinin yang pertama kali ditemukan adalah kinetin. Sitokinin tersebar luas diberbagai spesies tumbuhan, namun hanya sedikit peneliti yang mengkaji mengenai fungsinya kecuali pada tanaman angiospermae, beberapa spesies lumut dan konifer. Sitokinin yang terkandung dalam cendawan dan bakteri memiliki hubungan erat dengan proses patogenesis. Sitokinin yang dihasilkan oleh cendawan dan bakteri bukan merupakan patogen penyakit tumbuhan justru merupakan simbiosis mutualisme dengan beberapa tumbuhan, misalnya dalam hal pembentukan bintil akar dan mikoriza.

Banyak para ahli yang juga masih mempertimbangkan mengenai fungsi sitokinin dalam hal memacu sitokinesis (pembelahan sel) yang terdapat pada jaringan yang ditumbuhkan secara *in vitro*. Horgan mengartikan sitokinin sebagai senyawa penginduksi pembelahan sel pada empulur tembakau atau sistem uji lain yang hampir sama dibantu dengan keberadaan auksin dalam konsentrasi optimum. Para ahli yang lain juga ada yang membatasi sitokinin sebagai senyawa adenin yang memiliki efek umum yang penting, seperti memacu pembelahan sel (sitokinesis). Namun, mereka belum menemukan keyakinan akan keberanian bahwa sitokinin dalam bentuk basa bebas, nukleotida atau nukleosida juga merupakan bentuk aktif. Pada tahun 2000an barulah ahlinya kimia dan biologi berhasil memberikan gambaran mengenai struktur kimia untuk menggambarkan aktivitas dari sitokinin dan basa-basa.

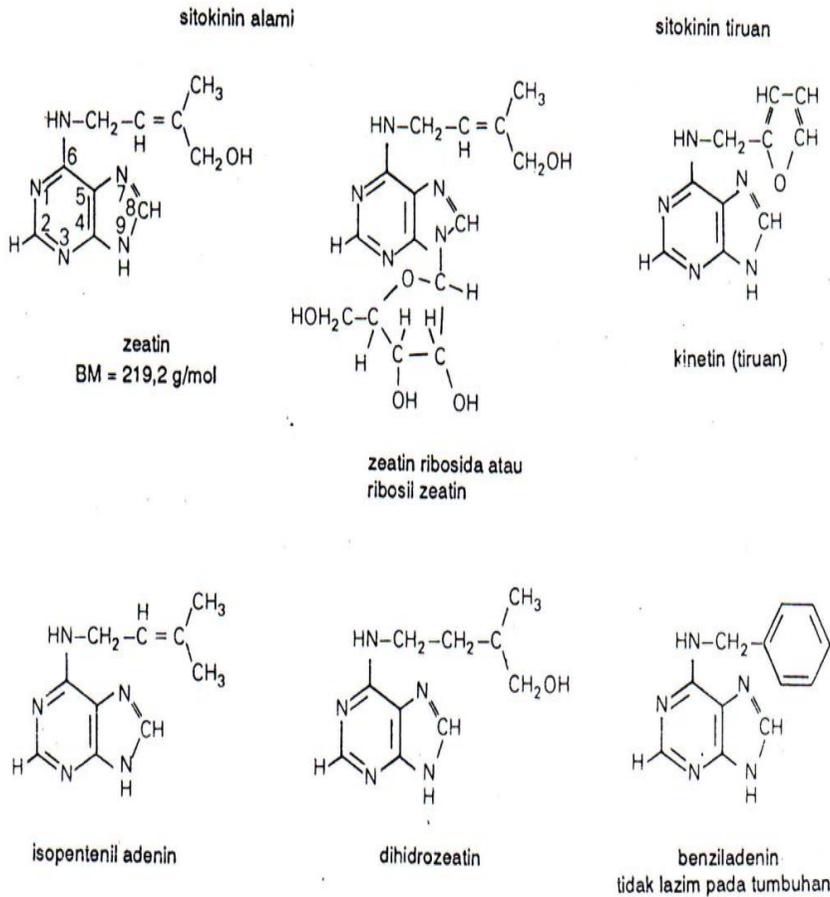
3.3 Macam-Macam Hormon Sitokinin

Secara garis besar sitokinin terbagi menjadi 2 kelompok utama yakni sitokinin alami (contohnya zeatin dan kinetin) dan sitokinin buatan atau sintetis (contohnya 6-Benzimidaminopuril/BAP, Thidiazuron, 2-IP). Kinetin merupakan jenis sitokinin yang paling pertama ditemukan yang memiliki kemampuan dalam proses pembelahan sel (sitokinesis). Diferensiasi pada suatu jaringan merupakan hasil kerja dari kinetin (sitokinin) dan auksin yang saling bersinergi. Dewasa ini terdapat ≥ 200 jenis sitokinin, baik itu sitokinin alami maupun sintetis yang telah dikombinasikan (Febriyanti, 2016).

Semua jenis sitokinin endogen memiliki isopentil adenin yang merupakan struktur dasarnya. Modifikasi hanya terletak pada urutan ke-9 dari cincin adeninnya. BAP merupakan jenis sitokinin yang paling sering digunakan. BAP akan bekerja aktif jika diberikan pada bagian tunas (pucuk) suatu tumbuhan dan akan mendorong proliferasi tunas (munculnya tunas dengan jumlah lebih dari satu). Struktur BAP hampir sama dengan kinetin yang membedakannya adalah BAP memiliki gugus benzil sedangkan kinetin tidak. Respon dari tanaman yang diberikan BAP lebih baik dari jenis lainnya. Sedangkan jenis sitokinin yang memiliki aktifitas kuat adalah Thidiazuron sebab pada konsentrasi yang sangat rendah sekali pun sitokinin jenis ini sudah dapat menunjukkan respon.

Struktur dari satu jenis sitokinin dengan jenis lainnya hanya dibedakan oleh rantai samping yang dimilikinya. Rantai samping tersebut melekat pada molekul adenin pada N nomor 6. Rantai samping ini jugalah yang menjadi penentu keaktifan dari sitokinin. Semakin banyak ikatan ganda pada rantai samping tersebut maka semakin aktif pula molekul sitokininnya. Namun, keaktifan dari sitokinin dapat hilang akibat adanya perubahan atau

kerusakan pada adeninnya. Berikut adalah struktur dari beberapa jenis sitokinin:



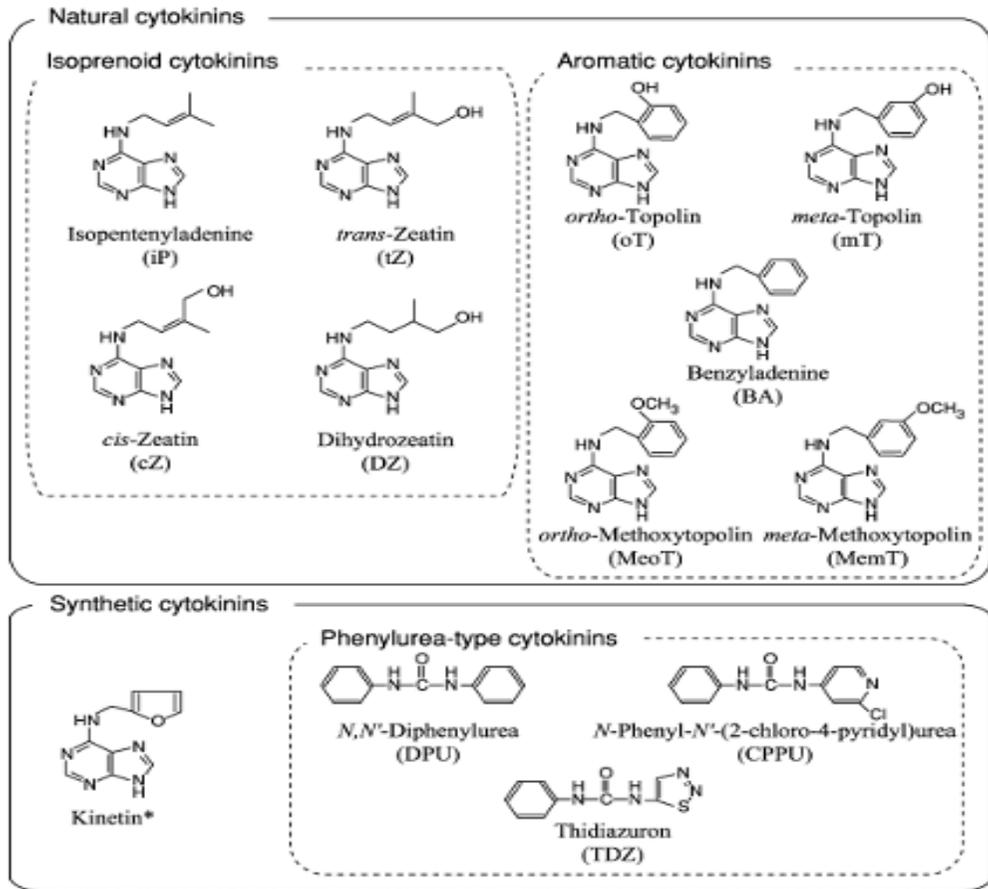
Gambar 23. Struktur Kimia dari Beberapa Jenis Sitokinin

Sumber : Taiz and Zeiger (2002)

Semua sitokinin yang terdapat diatas merupakan hasil turunan dari adenin yang terdapat penomoran pada cincin purinnya, misalnya pada zeatin (kiri atas). Pada zeatin serta zeatin ribosida cincin sampingnya memiliki ikatan rangkap dengan konfigurasi *trans* ataupun *cis*. Konfigurasi *trans*

umumnya lebih banyak terdapat pada zeatin maupun zeatin ribosida, sedangkan konfigurasi *cis* merupakan konfigurasi yang paling umum pada sitokinin yang berikatan dengan t-RNA (Davies, 2004).

Secara umum tipe struktur dari sitokinin yang secara alamiah dan proses pembentukannya terjadi pada tanaman terbagi menjadi 2 yaitu isoprenoid dan aromatik. Isoprenoid sitokinin secara alami adalah *N*6-(Δ 2-isopentenyl) adenine (iP), tZ, *cis*-zeatin (cZ) dan dihydrozeatin. tZ dan iP merupakan turunan dari bentuk isoprenoid yang paling umum, variasi dari turunan tersebut bergantung pada jenis tanaman, jaringan tanaman serta fase perkembangan dari tanaman tersebut. Misalnya, sitokinin tipe tZ dan iP merupakan bentuk utama sitokinin pada *Arabidopsis*, sedangkan sitokinin tipe cZ ditemukan di jagung. Sitokinin aromatik antara lain *ortho*-topolin (oT), *meta*-topolin (mT), turunan methoxy (meoT dan memT), dan benzyladenine (BA) hanya ditemui pada beberapa jenis tanaman saja. Selain kedua tipe tadi terdapat pula tipe sintetik. Tipe sintetik ini terdiri dari turunan adenin, misalnya kinetin dan phenylureas.



Gambar 24 . Tipe-Tipe Srtuktur Sitokinin (Sumber : Sakakibara, 2005)

Zat yang memiliki aktivitas seperti sitokinin dapat diisolasi dari berbagai spesies tumbuhan yang kemudian diuji dengan metode kalus untuk mengatui tingkat aktivitasnya. Isopentil adenin beserta turunannya isopentil adenosin merupakan jenis sitokinin yang banyak sekali terdapat dalam tumbuhan. Kedua bentuk isopentil tersebut merupakan bagian dari t-RNA. Letham merupakan orang pertama yang berhasil menemukan zeatin (sitokinin yang diisolasi dan diidentifikasi dari biji jagung yang masih muda). Zeatin merupakan jenis sitokinin yang dewasa ini paling sering ditemukan yang berasal dari ekstrak tanaman jagung. Zeatin juga bisa

diperoleh melalui hidrolisis RNA pada tanaman bayam Amerika, kacang buncis, , umbi kentang, gandum dan lain sebagainya. Selain didapat dari tanaman jagung dan endosperm cair kelapa, sitokinin juga banyak terdapat pada beberapa tanaman sebagai berikut:

Tanaman	Bagian yang Banyak Mengandung Sitokinin
Apel	Cairan Buah
Gingko	Gametofit betina
Buncis	Biji
Bunga Matahari	Eksudat akar
Tembakau	Jaringan kambium dan jaringan tumor
Tomat	Cairan Buah

Tabel 3. Tanaman yang Mengandung Sitokinin

Telah lama masyarakat mengenal air kelapa sebagai zat pengatur pertumbuhan, yaitu sitokinin. Air kelapa mengandung karbohidrat, protein, lemak, mineral, vitamin (vitamin C dan B Kompleks), beberapa jenis hormon (auksin, sitokinin dan giberelin), Ca dan P (Purdyaningsih, 2013). Untari (2006) mengatakan bahwa zat pengatur pertumbuhan yang terdapat didalam air kelapa mampu menstimulasi proliferasi pada jaringan tumbuhan serta memperlancar respirasi dan metabolisme tumbuhan. Selain dapat diisolasi menjadi sitokinin, ZPT pada air kelapa juga memberikan manfaat bagi embrio kelapa melalui proses sitokinesis.

Azwar (2008) menyatakan bahwa cairan endosperm buah kelapa memiliki manfaat dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Hormon sitokinin yang terdapat didalam air kelapa juga dapat memecahkan masa istirahat (masa dormansi) dari suatu biji dan menumbuhkan tunas beberapa tumbuhan. Kadar dari zat pengatur pertumbuhan atau hormon sitokinin yang terdapat dialam air kelapa yaitu sebanyak 5,8 mg/L dapat merangsang

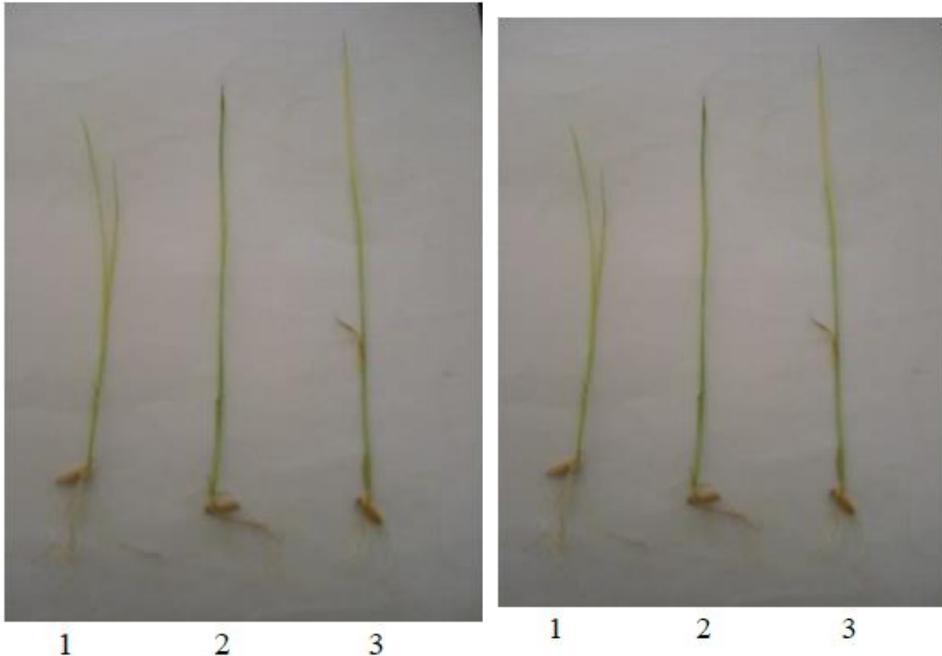
terjadinya perkecambahan dan menstimulasi pertumbuhan dari biji. Jadi sitokinin yang terdapat didalam air kelapa akan bekerjasama dengan auksin endogen untuk dalam pembelahan sel serta diferensiasi suatu jaringan guna terbentuknya tunas dan tumbuhnya akar (Elfadhila, 2013). Kandungan ZPT alami dalam air kelapa tua lebih sedikit dibanding air kelapa muda. Air kelapa muda mengandung Kinetin sebanyak 273,62 mg/L dan zeatin sebanyak 290,47 mg/L (Kristina dan Syahid, 2012).

Pada tumbuhan tingkat tinggi sitokinin biasanya terdapat banyak pada embrio endosperm dari biji yang sedang berkembang, marsitem apeks dan nodul akar. Sedangkan sitokinin ditemukan dalam jumlah yang sedikit pada jaringan maristem yang sudah tua. Sitokin yang terdapat ditanaman terbentuk secara bebas ataupun sebagai komponen RNA duta khusus untuk asam amino jenis serin dan tiroisin. Sitokinin yang berada didalam tanaman tersebut diperoleh dengan cara pengekstraksian selama beberapa jam dengan menggunakan alkohol 80%. Hasil ekstraksi kemudian disentrifugasi dan dievaporasi dalam kondisi hampa udara (vakum) lalu residu keringnya dilarutkan dalam air. Untuk memperkirakan sitokinin hasil ekstraksi tersebut dapat dilakukan dengan cara kromatografi baik itu kromatografi lapis tipis maupun kromatografi gas (Manurung dkk, 2017).

Pada saat ini, para peneliti banyak yang menjadikan alga sebagai sumber fitohormon salah satunya sitokinin. Alga berkerabat dekat dengan tanaman tingkat tinggi sehingga strukturnya sangat mirip dengan tanaman tingkat tinggi. Selain itu alga juga memiliki kemampuan dalam berfotosintesis sebab memiliki klorofil a dan b, cadangan makanannya yang utama berupa pati, dinding selnya tersusun atas selulosa dan ultrastrukturnya yang serupa dengan tanaman tingkat tinggi. Keberadaan sitokinin dalam alga dibuktikan dengan percobaan pemberian ekstrak rumput

laut pada tanaman yang dapat meningkatkan proses pembelahan sel (sitokinesis), pemanjangan akar dan batang, inisiasi pembunaaan dan beberapa fungsi metabolisme lainnya. Sitokin yang berasal dari ekstrak rumput laut ini juga dapat mengurangi stress pada tanaman akibat dari radikal bebas. Jenis alga yang dapat memproduksi hormon sitokinin adalah alga coklat dan alga merah (Ergun *et al*,2002). Salah satunya spesiesnya adalah *Gracilaria coronopifolia* yang merupakan alga merah.

Penelitian dari Rachman *et al* (2017) membuktikan bahwa ekstrak dari *G.coronopifolia* mengandung sitokinin yang berupa trans-zeatin sebanyak $6,26 \times 10^{-2}$ mg/g berat kering. Dalam penelitiannya tersebut Rachman *et al* (2017) juga melakukan uji hayati untuk melihat bagaimana pengaruh dari pemberian sitokinin yang didapat dari ekstrak *G.coronopifolia* terhadap pertumbuhan tanaman padi (*Oryza sativa*) melalui media hidroponik. Setelah 14 hari setelah hari tanaman, diketahui bahwa isolat sitokinin dari *G.coronopifolia* memiliki aktivitas yang tinggi jika dibandingkan dengan kontrol (tidak diberi sitokinin eksogen). Sitokinin yang berasal dari alga merah *G.coronopifolia* memiliki aktivitas dalam memacu pertumbuhan tanaman padi yang dibuktikan dari pertumbuhan panjang tajuk dan berat kering tjauk. Aktivitas isolat sitokinin yang berasal dari alga merah *G.coronopifolia* pada konsentrasi 19,6 ppm sebesar 122,12% untuk parameter panjang tajuk dan 110,49% untuk parameter berat kering. Gambarnya dapat dilihat dibawah ini:



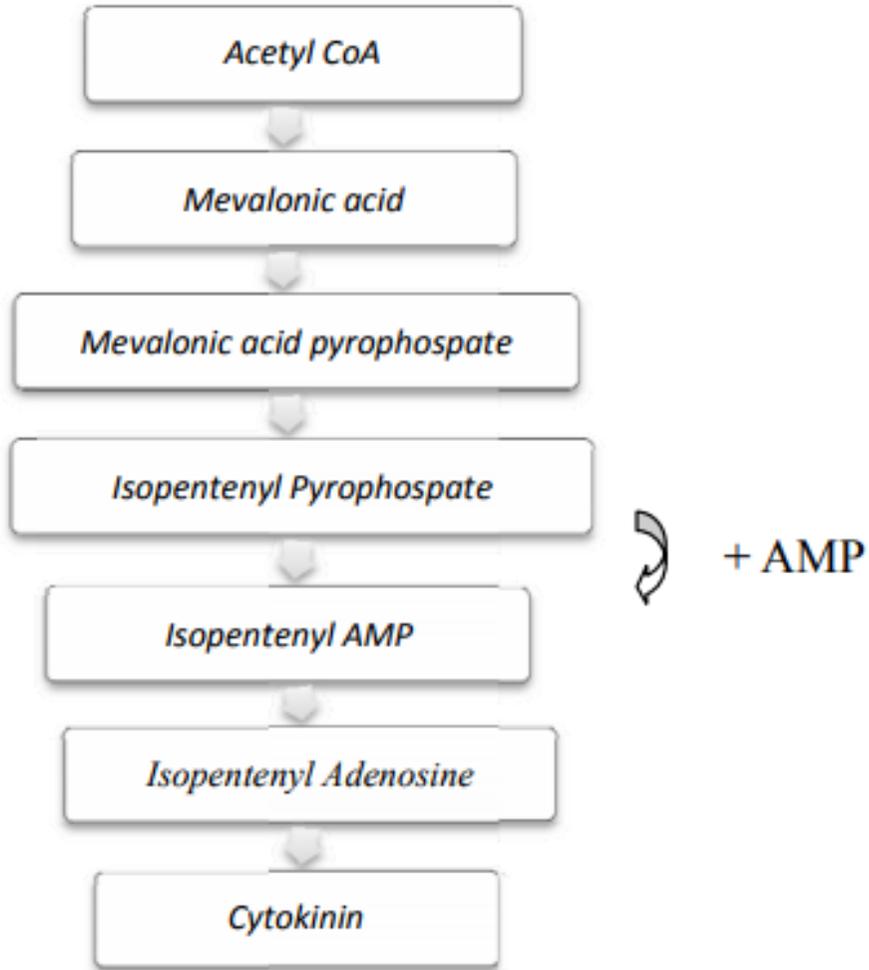
Gambar 25. Hasil Uji Hayati Tanaman Padi dengan Masa Tanaman 2 Minggu menggunakan (1)Kotnrol/ Tanpa Sitokinin Eksogen (2)Sitokinin dari ekstrak isolat alga merah *G.coronopifolia* 19,6 ppm dan (3) standra trans-zeatin 100 ppm (Sumber : Rachman *et al*, 2017)

3.4 Biosintesis Hormon Sitokinin

Biosintesis sitokinin terjadi pada ujung akar dan nodul akar, embrio dan endosperm biji yang sedang berkembang. Sitokinin juga banyak terkonsentrasi didaerah maristematik yang masih aktif tumbuh (misalnya di daun muda), maristem apikal serta buah yang sedang berkembang. Namun sedikit pada jaringan yang sudah tua atau jaringan yang tidak maristematik.

Asetil Ko-A merupakan senyawa utama yang berperan sebagai prekursor utama dalam sintesis sitokinin. Selain berperan dalam sintesis sitokin, asetil Ko-A juga berepran dalam sintesis giberelin, karetenoid dan asam absisat. Asetil Ko-A merupakan hasil dari proses dekarboksilasi oksidatif asam piruvat dalam rantai respirasi sebelum memasuki siklus krebs.

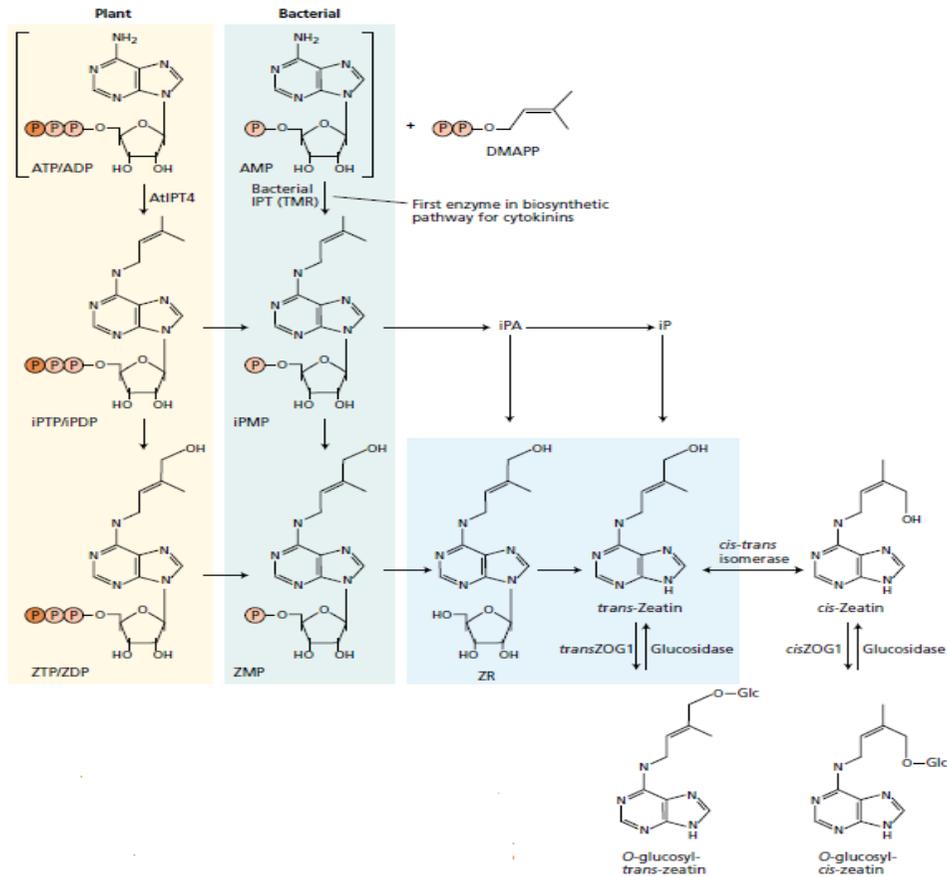
Asetil Ko-A inilah yang nantinya akan memasuki siklus asam mevalonat yang kemudian membentuk siokinin.



Gambar 26. Mekanisme Biosintesis Sitokinin Melalui Jalur Mevalonat

Tahapan pertama dalam biosintesis sitokinin ialah penambahan isopentil di rantai samping DMAPP sehingga menjadi adenosine. Pada tumbuhan serta bakteri Enzim-enzim IPT yang digunakan akan berbeda pada setiap substrat yang digunakan . Pada tumbuhan biasanya digunakan ADP

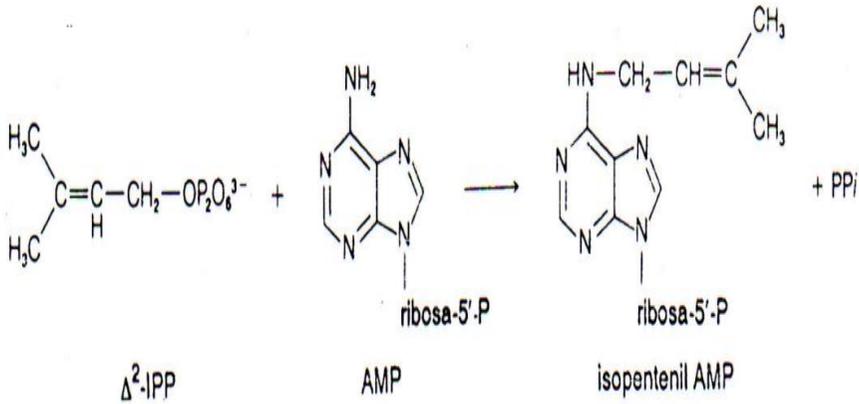
dan ATP, sedangkan pada bakteri berupa AMP. Hasil dari reaksi tersebut berupa iPMP, iPDP atau iPTP yang kemudian dengan bantuan hydroxylase (yang belum diidentifikasi) menjadi zeatin (Taiz and Zenger, 2006).



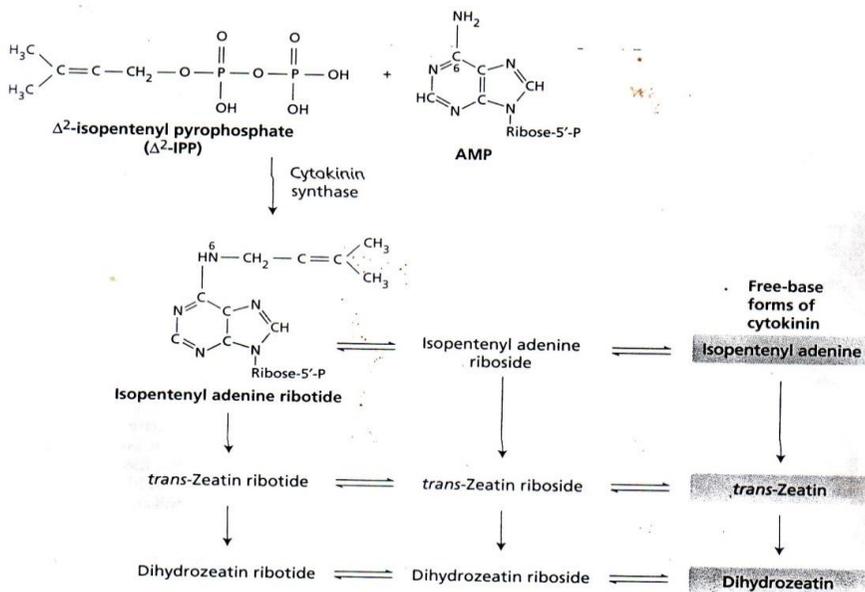
Gambar 27. jalur biosintesis sitokinin.

Pada jaringan tumbuhan terdapat enzim yang bernama isopentil AMP sintase yang membentuk adenosin 5-fosfat (isopentil AMP). Selain ditemukan pada jaringan tumbuhan isopentil AMP sintase juga dapat ditemukan pada cendawan lendir. Isopentil AMP yang terbentuk melalui reaksi hidrolisis (terjadi pelepasan gugus fosfatnya) akan diubah menjadi isopentil adenosin dengan bantuan enzim fosfatase. Isopentil adenosin ini kemudian mengalami reaksi hidrolisis (terjadi pelepasan gugus ribosanya)

menjadi isopentil adenin. Isopentil adenin mengalami reaksi oksidasi menjadi zeantin dengan cara mengganti unsur H pada gugus metil yang terletak di cincin samping menjadi -OH. Dengan adanya NADPH zeatin dapat mengalami reduksi pada ikatan rangkap di cincing samping isopentilnya membentuk dehidrozeatin.



Gambar 28. Pembentukan isopentil AMP, prazat bagi isopentil adenin



Gambar 29. Proses pembentukan sitokinin (dehidrozeatin)

Sumber : Intan (2008)

Reaksi-reaksi yang telah disebutkan diatas kemungkinan memiliki peranan dalam pembentukan ketiga bahan dasar utama dalam proses biosintesis sitokinin. Ditingkat sel, sitokinin ditentukan oleh perusaknya seperti sitokinin oksidase. Sitokinin oksidase merupakan enzim yang dapat menghilangkan cincin samping pada karbon nomor 5 (C-5) dan dapat menghasilkan adenin bebas atau adenosin bebas dalam pembentukan turunan sitokinin yang lebih rumit, sebab banyak konjugat yang terbentuk. Konjugat yang paling lazim ditemui adalah sitokinin glukosida yang mengandung glukosa.

Pada glukosida jenis pertama, ciri utamanya adalah letak dari karbon nomor 1 dari glukosa yang menempel pada gugus hidroksil rantai samping dari zeatin, dihidrozeatin, zeatin ribosida atau dihidrozeatin ribosida. Pada glukosida jenis kedua, karbon nomor 1 dari glukosa menempel pada atom nitrogen nomor 7 atau 9 pada sistem cincin adenin pada tiga bahan dasar utama sitokinin. Alanin merupakan salah satu hasil konjugat yang dihubungkan melalui ikatan peptida dengan nitrogen di nomor 9 yang berkedudukan pada cincin purin. konjugat yang dihasilkan masih belum dapat diketahui fungsinya. Akan tetapi fungsi dari glukosida telah diketahui, yakni sebagai bahan cadangan makanan dan merupakan sitokinin yang khusus untuk diangkut pada beberapa spesies tanaman. Namun para ahli berpendapat bahwa tidak mungkin konjugat alami berperan sebagai cadangan makanan. Konjugat alami berperan sebagai sebuah produk pengikat sitokinin yang tidak dapat aktif secara fisiologis dan terbentuk secara tak terbalikkan (Intan, 2008).

3.5 Proses Pengangkutan Hormon Sitokinin

Sitokinin umumnya ditemukan pada jaringan yang sel-selnya masih aktif membelah, organ-organ yang masih muda (misalnya biji, daun dan buah muda) serta terdapat pula diujung akar. Sitokinin yang disintesis diakar dan kemudian ditranslokasikan ke pucuk melalui pembuluh xylem. Untuk membuktikan bahwa sitokinin disintesis diakar dapat dilakukan dengan cara momotong akar secara mendatar (horizontol). Akar yang dipotong tersebut kemudian akan mengeluarkan sitokinin melalui pembuluh xylem selama ± 4 hari. Adanya tekanan akar menyebabkan hal tersebut terjadi. Tidak akan ada kemungkinan bagian bawah akar menyimpan pasokan sitokinin dari sumber lain yang melalui pembuluh xilem dalam interval waktu cukup lama. Terjadinya penimbunan sitokin di daun, buah dan biji muda merupakan hasil transportasi melalui xylem. Pada beberapa jenis tanaman yang tidak memiliki akar seperti tembakau, sitokinin yang dihasilkannya berasal dari adenin radioaktif. Pada tanaman kapri sitokinin tidak hanya diproduksi di akar tetapi juga di daun dan batang, sedangkan pada wortel bagian kambium akarnya yang berperan dalam mensintesis sitokinin (Hastuti, 2012).

Selain melalui xylem banyak pula pendapat yang menyatakan bahwa sitokinin diangkut melalui floem. Bukti yang memperkuat pernyataan tersebut adalah ditemukannya sitokinin pada kutu embun madu. Bukti lain yang juga memperkuat pernyataan tersebut adalah diperolehnya sitokinin dari daun tanaman dikotil yang dipetik. Saat organ daun tanaman dikotil yang telah dewasa tersebut dipetik dan dijaga kelembabannya, maka sitokinin akan bergerak menuju pangkal tangkai daun dan tertimbun disitu. Pergerakannya itu diperkirakan melalui pembuluh floem, bukan pembuluh xylem. Adanya proses transpirasi sangat mendukung aliran yang melewati

xylem dari tangkai daun ke helaian daun. Sehingga dapat diketahui bahwa pemasok sitokinin adalah daun muda. Pasokan sitokinin tersebutlah yang kemudian diedarkan ke daun muda dan jaringan muda lainnya. Sitokinin yang terdapat di daun dewasa tersebut merupakan hasil dari biosintesis sitokinin yang terjadi di akar. Pemasokan sitokinin melalui jaringan pembuluh floem jauh lebih efektif dibanding pembuluh xylem untuk organ yang transpirasinya rendah. Walaupun demikian, sitokinin dianggap tidak mudah tersebar di dalam floem. Sitokinin yang terserap pada permukaan daun yang ditetesi sitokinin radioaktif sangatlah sedikit.

3.6 Fungsi dan Aktifitas Hormon Sitokinin

Berikut adalah fungsi dan aktifitas dari hormon sitokinin:

1. Mendorong pembelahan sel (sitokinesis) dan diferensiasi sel

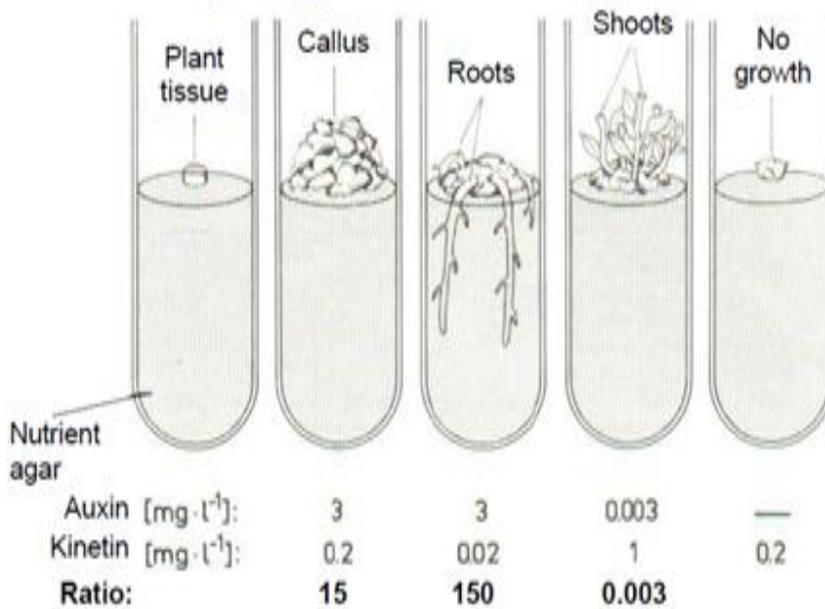
Mendorong terjadinya pembelahan sel merupakan fungsi utama dari sitokinin. Dalam memacu pembelahan sel, sitokinin bekerjasama dengan auksin. Kerjasama antara sitokinin dan auksin tersebut telah lama dilakukan oleh Skoog dan kawan-kawannya. Mereka berhasil menemukan jika ternyata empulur dari batang tumbuhan kedelai, tembakau dan tumbuhan dikotil lainnya dipisahkan dan dibiakan secara aseptis pada medium agar yang mengandung auksin dan hara maka akan terbentuk kalus. Kalus merupakan masa sel yang tak beraturan, tak terspesialisasi dan poliploid. Ketika sitokinin diberikan pada kalus tersebut maka proses sitokinesis menjadi lebih terpacu (Arnita, 2008).

Skoog dan kawan-kawannya juga berhasil menemukan jika rasio (perbandingan) dari auksin dan sitokinin dipertahankan maka akan tumbuh sel meristem pada kalus. Munculnya sel meristem tersebut

terjadi akibat dari pembelahan sel yang kemudian mempengaruhi sel lain disekitarnya untuk berkembang menjadi kuncup, batang dan daun. Namun jika rasio (perbandingan)nya diperkecil, proses pembentukan menjadi terpacu. Perlu adanya rasio (perbandingan) antara sitokinin dan auksin untuk membuat kalus tumbuh menjadi tumbuhan yang utuh. Keberhasilan kalus tumbuh menjadi tumbuhan yang lengkap dapat digunakan sebagai indikator dalam menyeleksi tanaman unggul yang tanaman yang tahan terhadap cekaman (air dan garam), patogen maupun herbisida yang diberikan.

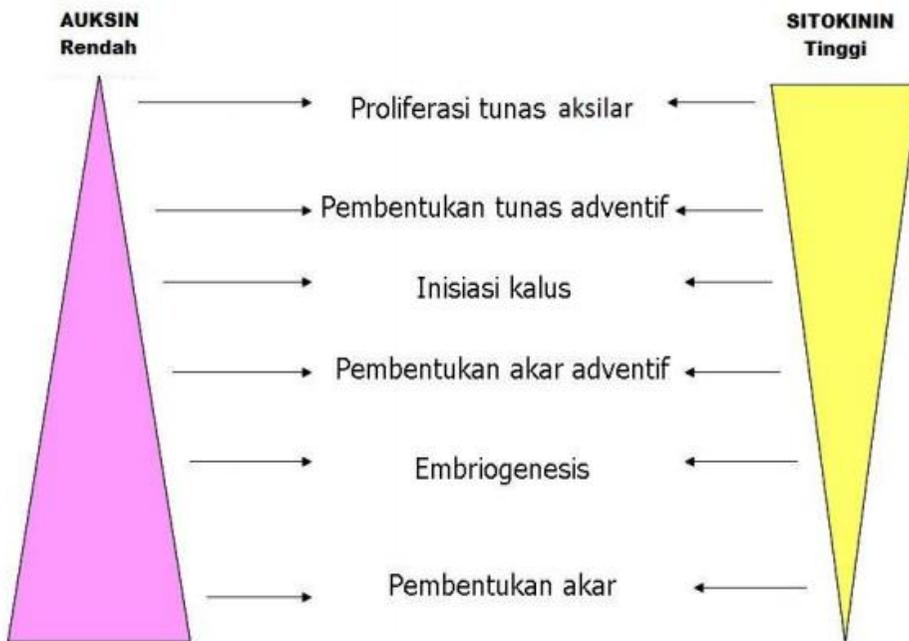
Akibat dari kemampuan sitokinin dalam menginduksi pembelahan sel, maka sitokinin banyak digunakan dalam budidaya tumbuhan secara *in vitro* contohnya kultur jaringan. Penginduksian kalus merupakan langkah yang terpenting dalam teknik budidaya *in vitro*. Selain itu, sitokinin juga berperan dalam proliferasi jaringan meristem pada bagian ujung tumbuhan, menghambat (sebagai inhibitor) dalam pembentukan akar dan mendorong terbentuknya klorofil pada kalus.

Jika rasio (perbandingan) antara sitokinin dan auksin tinggi maka akan terjadi organogenesis. Organogenesis tersebut ditandai dengan terbentuknya tajuk dan akar liar oleh kalus. Auksin dan sitokinin biasanya ditambahkan kedalam medium pertumbuhan untuk memacu organogenesis. Jika jumlah sitokinin yang diberikan lebih tinggi dari jumlah auksin, maka daun dan tunas yang terlebih dahulu akan distimulasi untuk tumbuh. Sebaliknya, jika jumlah auksin lebih tinggi dibanding jumlah sitokinin maka akar akan distimulasi untuk tumbuh. Akan tetapi jika jumlah auksin yang diberikan rendah dan jumlah sitokininnya sedang, maka yang terbentuk adalah kalus. Penambahan sitokinin menginduksi pembentukan tunas secara nyata (Yusnita, 2018).



Gambar 30. Perbandingan rasio dari auksin dan sitokinin dalam meregulasi morfogenesis pada kultur jaringan.

George dan Sherrington pada tahun 1984 berhasil membuat gambaran penjelasan terkait interaksi kerja antara sitokinin dan auksin. Perbandingan/ rasio dari sitokinin dan auksin tidaklah mutlak untuk setiap jenis tanaman, sebab pada tanaman tertentu baik sitokinin maupun auksin keduanya sama-sama sangat diperlukan untuk membentuk tunas aksilar. Pada tanaman monokotil, penginduksian kalus hanya dipicu oleh auksin dengan konsentrasi tinggi (tidak ada campur tangan dari sitokinin). Morfogenesis dan organogenesis pada eksplan akan dirangsang saat eksplan tersebut dipindahkan ke media yang memiliki konsentrasi auksin rendah.



Gambar 31. Interaksi Auksin dan Sitokinin dalam Hal Menginduksi Diferensiasi Sel membentuk Organ/ Jaringan (Sumber : George & Sherrington , 1984)

George dan Sherrington menyatakan bahwa inisiasi pembentukan akar dan tunas pada tumbuhan diatur oleh kerja sitokinin dan auksin yang ditambahkan dalam media kultur. Begitu pula dengan interaksi antara sitokinin eksogen dengan auksin serta sitokinin endogen dengan auksin didalam eksplan tanaman yang akan dikembang biakan.

Kemampuan sitokinin dalam hal sitokinesis mengakibatkan hormon ini banyak dikomersialkan dalam bidang perbanyakan mikro tanaman budidaya dari biakan jaringan. Sitokin dapat meningkatkan peralihan dari fase G2 ke fase mitosis sehingga dapat mempercepat sitokinesis, hal ini berkaitan dengan meningkatnya laju sintesis protein.

Contoh Pengaplikasian

Seperti yang telah dibahas diatas bahwa sitokinin bersama dengan auksin sering dimanfaatkan dalam perkembangbiakan secara *in vitro*. BAP, kinetin dan zeatin merupakan jenis-jenis sitokinin sintetik yang paling umum dipergunakan dalam perbanyakan tanaman secara *in vitro*. Saat ini banyak orang yang memanfaatkan penggunaan sitokinin alami, salah satu dengan endosperm cair air kelapa.

Air kelapa yang baik yang dapat digunakan untuk proses kultur secara *in vitro* adalah air kelapa yang berasal dari kelapa yang masih muda ditandai dengan daging buah yang belum keras dan bewarna putih dan dapat dengan mudah diambil dengan bantuan sendok. Mahfudza dkk (2018) mengatakan bahwa air kelapa mengandung difenil urea yang mempunyai efektifitas yang menyerupai sitokinin.

Penggunaan air kelapa diduga mempengaruhi keseimbangan hormon untuk memacu diferensiasi sel induk dalam membentuk tunas, karena terdapat berbagai senyawa fenolik serta berbagai jenis hormon seperti auksin dan giberelin yang mempengaruhi sel eksplan dalam merespon diferensiasi dari sel maristem untuk membentuk calon tunas, sehingga kemunculan tunas lebih cepat dibandingkan eksplan yang dikulturkan pada media yang hanya mengandung tidak mengandung ZPT (Tan *et al.* 2014).

Pemanfaatan air kelapa sebagai ZPT haruslah memperhatikan kadar/ konsentrasinya. Konsentrasi yang terlalu rendah menyebabkan kerja dari air kelapa tidak aktif sedangkan jika terlalu tinggi dapat menyebabkan tanaman yang diberikan air kelapa justru mengalami kematian. Konsentrasi air kelapa sebanyak 10% diduga belum mampu

untuk menginduksi pembelahan sel pada primordia tunas tetapi membantu bekerja secara sinergis dengan ZPT endogen pada tunas pisang cavendish dalam memacu pembelahan sel setelah tunas terbentuk.

Kandungan sitokinin sebanyak 60% dalam air kelapa mampu memacu sitokinesis pada sel-sel primordia daun sehingga dapat mendukung pertumbuhan jumlah daun. Jumlah anakan yang dihasilkan pada saat melakukan kultur jaringan juga dipengaruhi oleh pemberian air kelapa. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Rachmawati (2017) yang menyatakan bahwa komposisi 40% atonik + 60% air kelapa mampu meningkatkan jumlah anakan terbanyak. Hal ini dapat terjadi karena dalam proses pertumbuhannya tumbuhan tidak hanya memerlukan karbohidrat dan nitrogen diperlukan pula hormon dengan konsentrasi sesuai. Komposisi konsentrasi 60% air kelapa yang mengandung auksin, sitokinin dan giberelin lebih banyak dan kompleks. Namun semakin tinggi konsentrasi air kelapa justru menghambat pembentukan tunas (Asmono *et al*, 2017).

Menurut Asmono dkk. (2017), konsentrasi air kelapa yang diberikan pada eksplan tanaman juga mempengaruhi panjang dan tinggi dari tunas yang dihasilkan. Pemberian konsentrasi air kelapa secara tunggal berpengaruh sangat nyata terhadap pertumbuhan tinggi tunas. Hasil ini menunjukkan bahwa sitokinin tidak berperan aktif dalam memperpanjang tunas. Tetapi perbedaan panjang tunas yang nyata terlihat dari pengaruh beberapa level konsentrasi air kelapa. Namun, apabila konsentrasi air kelapa yang diberikan terlalu tinggi maka penambahan panjang tunas akan terhambat. Air kelapa yang memiliki konsentrasi tinggi dapat menyebabkan ketidakseimbangan

fitohormon dalam eksplan, sehingga pertumbuhan tunas terhambat. Menurut Lutfiah (2017) konsentrasi air kelapa 50% merupakan konsentrasi yang baik untuk memacu pertumbuhan dan perkembangan tanaman salah satunya buah *Hylocereus costaricensis* (naga merah). Selain itu, konsentrasi air kelapa yang diberikan sebanyak 50% mampu meningkatkan bobot tunas sebesar 53,39 gram dan umlah akar primer sebanyak 0,58 helai.

2. Mengatur Dominansi Apikal

Sitokinin dan auksin bekerja secara antagonis (berlawanan) dalam hal mengatur pertumbuhan tunas aksilar. Sitokinin yang berasal dari akar akan masuk kedalam sistem tajuk untuk mengisyaratkan aksilar untuk mulai tumbuh. Sehingga perbandingan dari sitokinin dan auksin menjadi faktor kritis dalam mengontrol pertumbuhan tunas aksilar pada tumbuhan.

Saat pertama kali dilakukan pengkajian awal, diketahui bahwa pemberian kinetin (sitokinin sintetik) dapat memacu pertumbuhan kuncup samping hanya dalam kurun waktu yang singkat. Agar dapat terus memanjang dalam waktu yang lama maka kuncup tersebut diberikan IAA atau giberelin. Kerja dari kinetin ini hampir sama dengan kerja dari isopentil adenin. Isopentil adenin tidak begitu aktif sebab proses hidrosilasinya menjadi zeatin (senyawa yang jauh lebih aktif didalam kuncup) berlangsung lama. Pertambahan panjang dari kuncup yang diberikan kinetin kurang nyata jika dibandingkan dengan benziladenin dan zeatin. Sedangkan zeatin dan benziladenin mampu memacu pemanjangan kuncup pada tumbuhan kapri sekurang-kurangnya selama 2 minggu (Arnitam 2008).

3. Efek Anti Penuaan

Penuaan pada tanaman terjadi karena adanya perubahan protein menjadi asam amino dengan bantuan enzim RNA-ase, DNA-ase dan protease. Adanya sitokinin menyebabkan kerja dari enzim-enzim tersebut dapat dihambat sehingga umur protein menjadi lebih panjang. Penghambatan dalam pemecahan protein dengan cara menstimulasi RNA dan sintesis protein, melalui mobilisasi nutrisi disekitar jaringan adalah cara yang digunakan sitokinin dalam menghambat penuaan (Karimah *et al*, 2013).

Saat kita memetik daun maka secara tidak daun tersebut telah kehilangan klorofilnya, RNA, protein dan lipin dari membrann kloroplas lebih cepat dibanding jika daun tersebut masih melekat ditangkai daun. Hal tersebut merupakan salah satu penuaan premature. Contoh lain seperti saat meletakkan daun didalam ruang yang gelap, otomatis daun tersebut akan lebih cepat berubah warna menjadi kuning. Tanaman akan lebih cepat mengalami penuaan saat berada ditempat yang gelap. Percobaan dari Kenneth V Thiman dengan menggunakan daun oat yang diapungkan dalam garam mineral encer membuktikan bahwa sitokinin dapat menggantikan peran cahaya dalam proses penuaan, yakni memperlambat penuaan. Sitokinin dapat mempertahankan keutuhan dari membran tonoplas. Jika membran dari tonoplas tersebut tidak dapat dipertahankan keutuhannya maka vakuola akan merembes ke sitoplasma dan dapat protein larut, protein pada membran plasma dan mitokondria akan dihidrolisis. Fungsi lain dari sitokinin pada membran sel adalah dapat melindungi membran sel dari kerusakan. Selain itu sitokinin juga dapat melarutkan asam lemak jenuh pada membran sehingga dapat menceh oksidasi.

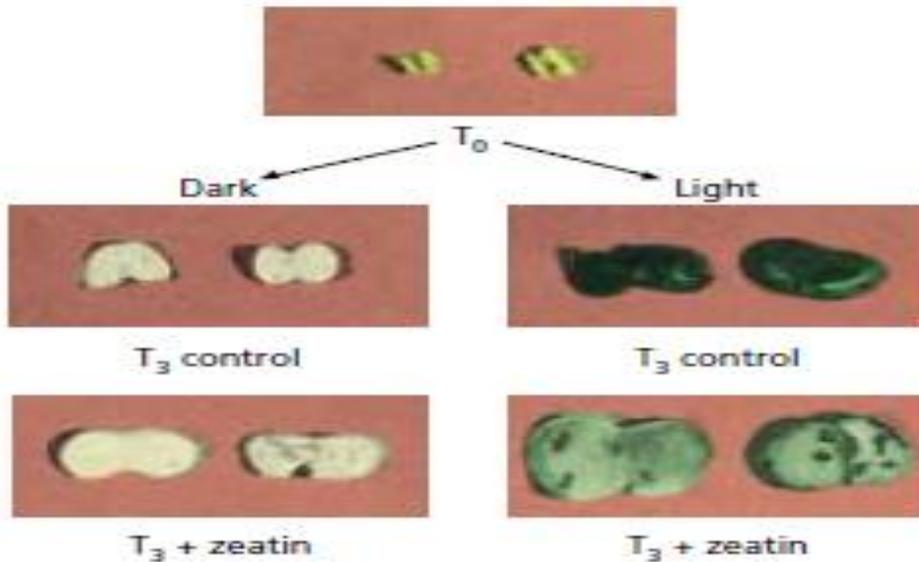
Pada tanaman dikotil pada bagian tangkaiya biasa terbentuk akar-akar liar. Akar tersebut dapat mempertahankan daun tetap muda secara fisiologis. Daun yang masih muda memperoleh haradari daun yang telah tua. Sitokinin mendorong jaringan muda menjadi wadah dalam penampung hasil angkutan dari floem. Bagian akar tersebut sudah dipastikan mengandung sitokinin hasil angkutan pembuluh xylem. Banyak bukti yang berhasil menunjukkan berbagai macam jenis sitokinin memiliki kemampuan menunda penuaan dan mampu meningkatkan terbentuknya akar liar berlipat ganda pada helaian daun. Pada tanaman bunga *Helianthus annuus* (bunga matahari), kandungan sitokinin mengalami peningkatan selama masa pertumbuhan dan akan menurun saat pertumbuhan terhenti dan saat terjadi pembungaan. Hal ini menandakan bahwa kurangnya sitokinin yang diangkut dari akar menuju tajuk mengakibatkan proses penuan menjadi lebih cepat terjadi.

Sitokinin juga mampu menunda penuaan pada bunga potong dan jenis sayur mayur. Daun mahkota dari bunga mawar dan bunga anyelir mengalami penurunan konsentrasi sitokinin sejalan dengan penambahan usia (semakin tua) sehingga tanaman tersebut biasa diberikan sitokinin eksogen untuk mencegah terjadinya penuaan. Salah satu jenis sitokinin eksogen yang paling efektif digunakan pada bunga anyelir adalah dihidrozeatin dan benziladenin. Namun kebanyakan efek sitokinin eksogen yang diberikan pada bunga potong belum mampu mengalahkan etilen yang dihasilkan pada tanaman tersebut. Pada tanaman sayur mayur misalnya Kubis Brusel dan Seledri pemberian sitokinin (contohnya benziladenin) dapat meningkatkan daya simpan. Khusus di negara Amerika, pemerintah melarang pengkonsumsian sayuran yang diberi sitokinin eksogen.

4. Memacu Pembesaran Sel pada Kotiledon

Biji tanaman dikotil apabila dikecambahkan ditempat gelap, kotiledonnya akan tumbuh ke atas tanah tetapi berukuran kecil dan berwarna kuning. Setelah diberi cahaya maka kotiledon tersebut dapat tumbuh lebih pesat. Meskipun sebenarnya cahaya yang diberikan cukup rendah untuk melangsungkan fotosintesis. Hal ini dikenal dengan istilah efek fotomorfogenik yang dikendalikan oleh fitokrom dan sitokinin. Laju pertumbuhan dari kotiledon yang diberikan sitokinin akan meningkat 2-3 kali lipat. Pertumbuhan tersebut disebabkan oleh pengambilan air yang mengakibatkan sel menjadi mengembang sebab tidak terjadi penambahan bobot kering jaringan.

Jika dibandingkan dengan auksin dan giberelin, sitokinin lebih aktif dalam memacu pembesaran sel pada kotiledon. Auksin tidak memiliki kemampuan dalam mendorong pertumbuhan pada kotiledon, sedangkan giberelin mampu memberikan efek yang kecil dalam mendorong pembesaran sel pada kotiledon yang dibiakkan dalam air maupun ditempat gelap. Sitokinin mampu memacu pertumbuhan kotiledon dengan cara sitokinesis maupun pembesaran sel. Namun, sitokinesis yang terjadi tidak dapat meningkatkan pertumbuhan pada organ tanaman itu sendiri.



Gambar 32. Pengaruh sitokinin terhadap pemanjangan kotiledon tanaman lobak.

To :perkecambahian lobak sebelum eksperimen dimulai. Kotiledon diinkubasi selama 3 hari (T3) di dalam keadaan gelap dan terang tanpa 2,5 mM zeatin.

Kemudian kedua kondisi ini ditambahkan dengan zeatin lebih besar dibandingkan dengan kontrol (Taiz and Zenger 2006).

5. Memacu Perkembangan Kloroplas dan Sintesis Klorofil

Mengetahui kemampuan sitokinin dalam memacu perkembangan kloroplas dan sintesis klorofil dapat dilakukan dengan melakukan uji dengan menggunakan daun muda ataupun kotiledon dari tanaman angiospermae yang ditumbuhkan ditempat gelap. Pada keadaan gelap tanaman tidak dapat membentuk kloroplas (sintesis klorofil) sehingga perkembangan dari kloroplas akan terhambat. Perkembangan dari kloroplas akan berhenti pada tahapan proplastida atau tahap etioplas. Tahap etioplas dicirikan dengan adanya perubahan warna menjadi kuning akibat dari karotenoid. Ciri khas dari etioplas terletak pada membrannya yang unik dan tersusun rapat yang dikenal dengan istilah badan prolemela. Badan prolemela ini akan menghasilkan sistem

tilakoid seperti pada plastida normal jika terkena cahaya. Kotiledon ataupun daun yang mengalami etiolasi saat diberikan sitokinin akan memberikan 3 efek, yakni (1) meningkatkan laju pembentukan klorofil dan (2) memaju perkembangan lanjutan dari etioplas menjadi kloroplas dan mendorong terbentuknya grana.



Gambar 33. Daun pada tanaman transgenik yang mengalami penghambatan penuaan akibat dari adanya gen yang mensintesis sitokinin *ipt* (Taiz and Zenger 2006).

6. Mengendalikan pembentukan dan perkembangan dari tumor pada batang

Tumor pada batang biasanya ditemukan pada tumbuhan dikotil dan gymnospermae. Tumor tersebut dikenal dengan istilah tumor mahkota. Penyakit ini disebabkan oleh bakteri *Agrobacterium tumefaciens* (bakteri yang memiliki kekerabatan dekat dengan bakteri penambat nitrogen). *A.tumefaciens* memiliki sejumlah plasmid Ti yang mengandung potongan DNA (T-DNA). Potongan DNA tersebut

dapat dipindahkan melalui proses infeksi ke sel batang tumbuhan inang dan dengan cepat dapat menyebabkan tumor tak beraturan.

Pada T-DNA terdapat gen yang bertugas mengkode ketersediaan enzim isopentenil AMP sintase (enzim yang dapat mengubah triptofan menjadi IAA dan morfologi tajuk). Apabila gen tersebut tidak aktif akibat dari adanya mutasi, tumor tidak akan berkembang dan kadar hormon akan tetap rendah. Apabila yang tidak aktif hanya enzim isopentenil AMP sintase, maka kadar dari sitokinin akan menurun, tumor tumbuh menjadi lambat dan akan terjadi organogenesis yang menghasilkan banyak akar

7. Pada beberapa spesies tumbuhan, sitokinin dapat meningkatkan pembukaan stomata.
8. Mampu memecah masa istirahat biji (dormansi biji) dan merangsang pertumbuhan embrio.

Banyak cara yang dapat digunakan untuk memecah masa dormansi pada suatu benih tanaman, salah satunya dengan perendam menggunakan sitokinin (secara kimia). Sitokinin merupakan salah satu golongan hormon tumbuhan yang berfungsi dalam mendorong sitokinesis sehingga tunas akan muncul lebih cepat. Penambahan sitokinin eksogen pada suatu tumbuhan akan mempengaruhi kadar sitokinin endogen sehingga masa dormansi tumbuhan dapat dipatahkan. Pemberian sitokinin eksogen juga perlu memperhatikan waktu pemberiannya, pemberian akan lebih efektif pada awal dan akhir masa dormansi. Pematangan dormansi tersebut akan bersamaan dengan terbentuknya tunas. Terbentuknya tunas merupakan akibat dari adanya peningkatan respirasi dan mobilisasi gula. Keberhasilan

sitokinin dalam memecahkan masa dormansi sangat berkaitan erat dengan sensitivitas jaringan tanaman.

Contoh Pengaplikasian

Perendaman benih atau biji tanaman dengan menggunakan sitokinin merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk melihat kemampuan sitokinin dalam memecah masa dormansi. Misalnya perendaman didalam air kelapa dan ZPT Atonik. Tanaman jernang (*Daemonorops* sp.) yang masa perkecambahannya 8 bulan- 1 tahun saat direndam didalam air kelapa dan ZPT Atonik waktu yang dibutuhkannya untuk berkecambah lebih singkat yakni 2-6 hari. Perendaman dengan ZPT atonik dengan konsentrasi 1,5% dan lama perendaman 48 jam dan air kelapa dengan konsentrasi 7% dan lama perendaman 48 jam dapat menyebabkan tanaman jernang mulai berkecambah di hari ke 2. Daya berkecambah dari tanaman tersebut pun dapat meningkat menjadi 91,67%.



Gambar 34. Tanaman ernang yang Berkecambah setelah direndam dalam ZPT Atonik dan Air Kelapa

3.7 Faktor yang Mempengaruhi Kerja Sitokinin

Banyak dan beragamnya efek sitokinin menunjukkan bahwa senyawa ini memiliki mekanisme kerja yang berbeda pada setiap jaringan yang berbeda. Efek utama yang muncul akibat pemberian sitokinin biasanya akan diikuti oleh kemunculan beberapa efek sekunder. Efek utama maupun efek sekunder dari kerja sitokinin sangat bergantung pada kondisi fisiologis sel sasarannya. Sitokinin dapat bekerja dalam konsentrasi yang sangat rendah yakni 0,01 sampai 1 μM . Seperti yang telah diketahui sejak lama bahwa sitokinin memiliki peran dalam pembentukan RNA dan enzim, namun peranannya tersebut dapat menjadi terhambat apabila ada inhibitor dalam sintesis protein dan/ RNA.

Protein pengikat juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kerja sitokinin. Tidak semua protein pengikat berikatan secara khas pada sitokinin dan memiliki afinitas tinggi terhadap sitokinin yang aktif. Secara umum diberbagai tumbuhan telah terdapat protein pengikat sitokinin yang khas misalnya pada daun Jelai. Pada daun Jelai tersebut terdapat protein pengikat zeatin yang afinitasnya tinggi (Dewi, 2008).

BAB 4. HORMON GIBERELIN

4.1 Sejarah Hormon Giberelin

Kurosawa merupakan salah seorang warga negara Jepang yang pada tahun 1926 berhasil menemukan hormon giberelin. Mulnya Kurosawa hanya melakukan penelitian untuk mengetahui lebih lanjut penyakit “bekane” yang menyerang padi. Gejala yang timbul pada tanaman padi apabila terserang penyakit ini adalah batang dan daunnya memanjang secara tidak normal. Penyakit ini disebabkan oleh jamur yang bernama *Giberella fujikuroi*. Guna membuktikan kebenaran bahwa penyakit bekane tersebut memang disebabkan oleh *Giberella fujikuroi* maka Kurosawa mencoba untuk mengisolasi *Giberella fujikuroi* dan menginfeksikannya ke tanaman sehat. Hasilnya tanaman yang sehat tersebut menunjukkan gejala yang sama dengan penyakit bekane.

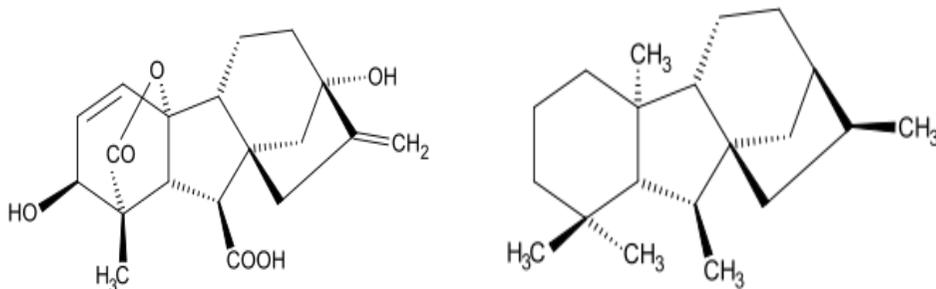
Pada tahun 1930 Yabuta dan Hayashi berhasil mengisolasi senyawa aktif yang terdapat pada *Giberella fujikuroi*. Senyawa tersebut kemudian diberi nama giberelin. Penelitian lanjutan kemudian dilakukan pada tahun 1951 oleh Stodola dan kawan-kawannya. Mereka berusaha mencari tahu substansi yang terdapat pada jamur *Giberella fujikuroi*, alhasil mereka berhasil menemukan “Giberelin A”. Pada mulanya penelitian lanjutan mengenai jamur *Giberella fujikuroi* tidak menarik perhatian para ahli di penjuru dunia. Pada akhir perang dunia ke II barulah para peneliti di luar Jepang tertarik akan penelitian *Giberella fujikuroi*. Ketertarikan akan penelitian mengenai jamur *Giberella fujikuroi* dimulai saat tim ahli yang berasal dari Inggris dan Amerika Serikat mengunjungi Jepang. Saat kunjungan tersebutlah mereka baru menyadari adanya penelitian-penelitian terkait giberelin (Salisbury and Ross, 1995).

Sejak saat itu, mulailah dilakukan penelitian yang mendalam terkait hormon giberelin dan didapatkan fakta bahwa banyak sekali jenis giberelin. Contohnya Giberelin A terdiri atas 6 macam giberelin yakni GA9, GA7, GA4, GA3, GA2 dan GA1.

4.2 Pengertian Hormon Giberelin

Giberelin (asam Gibellate/ GA) merupakan senyawa yang tergolong kedalam diterpenoid tetrasiklik yang memiliki rangka *ent-gibberalene* yang disebut *ent-kaurene*. Struktur dasar dari giberelin berupa kerangka giban dan kelompok karboksil bebas. Hormon giberelin memiliki beberapa sifat, diantaranya berbentuk kristal; mudah larut dalam metanol, etanol, dan aseton; sedikit larut dalam air dan larut sebagian dalam etil asetat.

Giberelin merupakan hormon yang berpengaruh dalam proses perkembangan dan perkecambahan pada suatu tanaman saat bekerjasama dengan matahari. Giberelin mampu mempengaruhi proses perkecambahan sebab giberelin mampu merangsang pembentukan enzim amilase. Enzim amilase merupakan enzim yang berperan dalam pemecahan senyawa amilum didalam endosperm (cadangan makanan) tumbuhan. Energi yang dibutuhkan oleh benih untuk berkecambah berasal dari hasil perombakan cadangan makanan tersebut.



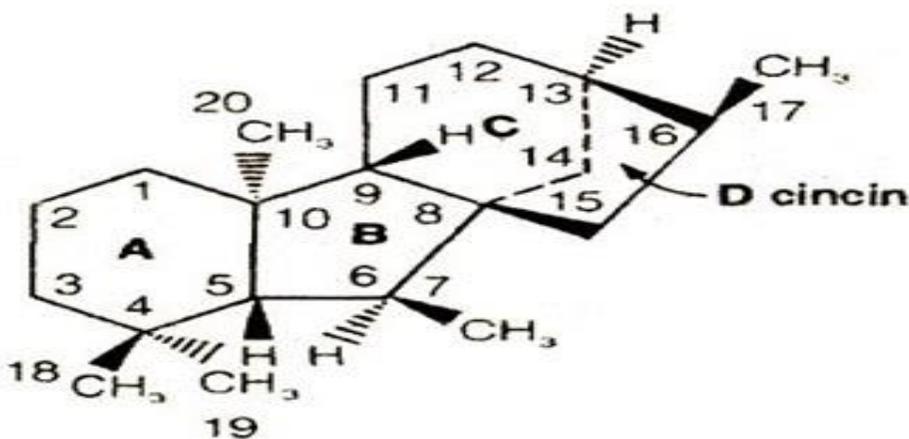
Gambar 35 . Struktur Hormon Giberelin

(Sumber : Salisbury dan Ross, 1995)

Pemberian giberelin pada suatu tanaman dengan konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan tanaman mengalami gigantisme, sesuai dengan penemuan awal dari giberelin yang menyatakan bahwa ZPT jenis giberelin merupakan ZPT yang memberikan efek berupa peningkatan pertumbuhan beberapa kali lipat dari normalnya.

4.3 Macam-Macam Hormon Giberelin

Hormon giberelin berdasarkan jumlah atom C nya dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok besar, yakni giberelin yang mengandung 19 atom C dan yang mengandung 20 atom C. Sedangkan berdasarkan letak gugus hidroksilnya, giberelin dikelompokkan menjadi 2, yakni giberelin yang memiliki gugus hidroksil pada atom C ke-13 dan pada atom C ke-3. Semua molekul giberelin memiliki “gibban skleton”.



Gambar 36 . Gibban skleton

Sumber : Salisbury and Ross (1995)

Secara garis besar giberelin terbagi menjadi 2 kelompok besar, yakni giberelin endogen dan giberelin eksogen (sintetik). Giberelin endogen terdiri dari GA1 s.d GA58, contohnya pada jagung, tebu, kacang tanah dan pisang

terdapat GA1 dan pada biji mentimun yang masih muda terdapat GA7. Giberelin sintetik yang paling terkenal adalah GA3, tetapi ada juga GA4, GA7 dan GA9.

Giberelin yang sering dijumpai dipasaran adalah jenis GA3 dan beberapa jenis giberelin lain yang dipergunakan dalam penelitian mengenai fisiologi tumbuhan. GA merupakan istilah yang biasa dipakai untuk menyebutkan giberelin yang telah diketahui strukturnya sedangkan GAL (*giberellin like compounds*) merupakan istilah yang digunakan untuk zat-zat yang memiliki aktivitas biologis seperti giberelin tetapi strukturnya belum diketahui secara pasti. Seiring dengan perkembangan dalam bidang penelitian kini telah banyak ditemukan ekstrak dari tanaman yang memiliki aktivitas GAL.

Jenis hormon giberelin yang pertama kali ditemukan adalah giberelin A yang terdapat dalam jamur *Giberella fujicuroi*. Jenis giberelin yang ditemukan pada jamur *Giberella fujicuroi* tersebut sama seperti yang ditemukan pada tanaman tingkat tinggi. Giberelin A sendiri terdiri atas 6 jenis giberelin, yakni GA1, GA2, GA3, GA4, GA7 dan GA9. Terdapat lebih dari 30 jenis hormon giberelin alami. Giberelin A3 (asam giberelin) merupakan jenis yang paling banyak ditemukan dipasaran dan paling banyak digunakan dalam penelitian. Selain itu GA3 ini juga memiliki efek fisiologis yang lebih banyak dibanding jenis lain.

Giberelin dialam dapat ditemukan pada jamur *Gibberella fujikuroi*, pada tanaman tinggi yakni bagian daun maupun dari keduanya. Pada jamur, jenis giberelin yang ditemukan diantaranya GA26, GA25, GA24, GA16, GA15, GA14, GA13, GA12, GA111, GA10, GA9, GA7, GA4, GA3, GA2, GA1. Pada tanaman tinggi jenis giberelin yang ditemukan diantaranya GA35, GA34, GA33, GA,32, GA31, GA30, GA29, GA28, GA27, GA26,

GA23, GA22, GA21, GA20, GA19, GA 18, GA17, GA13, GA9, GA8, GA7, GA6, GA5, GA4, GA3, GA2 dan GA1. Namun secara umum jenis GA yang terdapat pada tanaman yang memiliki klorofil (berhijau daun) adalah GA1, GA2, GA3, GA5, GA6, GA7 dan GA8. Hampir sebagaian besar GA yang dihasilkan pada tanaman bersifat inaktif dan menjadi aktif apabila terdapat prekursor. Pada spesies tumbuhan terdapat lebih kurang 15 macam GA. GA1, GA2, GA3, GA4, GA7, GA9 dan GA13 merupakan jenis GA yang sama-sama dapat ditemui pada tanaman tingkat tinggi dan jamur. Hingga saat ini belum dapat diketahui penyebab mengapa tumbuhan memiliki GA yang begitu banyak. Ada dugaan yang menyebutkan bahwa tumbuhan memiliki GA yang begitu banyak karena ada suatu “*artifac*” (terjadi selama prosedur ekstrak). Perlu adanya penelitian lanjutan terkait aktivitas dari jenis-jenis GA bebas dan bentuk-bentuk terikat dari GA bebas tersebut. Disamping dari jamur *Gibberella fujikuroi* dan tumbuhan tinggi, giberelin juga dapat ditemukan di alga, lumut dan paku. Hanya pada bakteri belum pernah ditemukan adanya giberelin.

Hingga saat ini telah diisolasi dan diidentifikasi lebih dari 50 jenis GA, yang meliputi GA bebas maupun GA terikat. Bahkan hingga sekarang belum dapat dipahami mengapa tumbuhan memiliki banyak GA. Banyak yang memperkirakan bahwa tidak semua GA yang terdapat pada tumbuhan bersifat aktif.

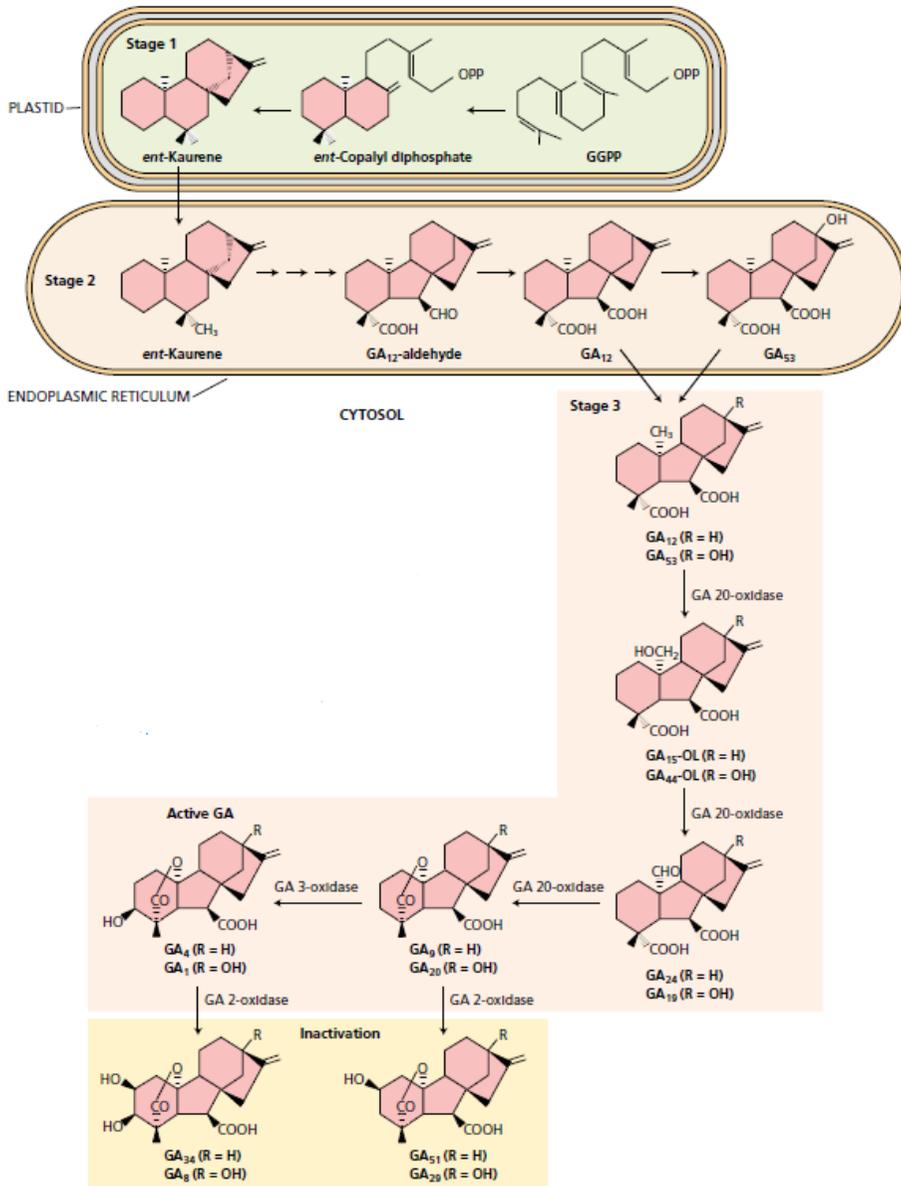
4.4 Biosintesis Hormon Giberelin

Giberelin (GA) merupakan diterpen (senyawa golongan isoprenoid) yang disintesis dari unit-unit asetat pada asetil KoA melewati jalur mevalonic acid. Sitokinin yang di hasilkan dari jamur *Gibberella fujikuroi* dibiosintesis melalui jalur mevalonic acid. Asetil KoA memiliki peran sebagai prekursor pada saat biosintesis giberelin. Biosintesis giberelin terjadi

di jaringan yakni jaringan yang sedang tumbuh dan jaringan yang sedang mengalami diferensiasi serta pada buah dan biji yang berkembang. Tempat utama berlangsungnya proses biosintesis giberilin adalah pada akar, daun dan tunas. Terdapat 4 jalur biosintesis dari giberelin, yakni:

1. Jalur dari mevanolic acid (MVA) ke geranyl-geranyl pyrofosfat (GGPP).
2. Pensiklisasian GGPP menjadi Ent-Kaurene
3. Perubahan Ent-Kaurene menjadi GA12-aldehyde
4. Jalur dari GA12-aldehyde menjadi GA (Giberelin)

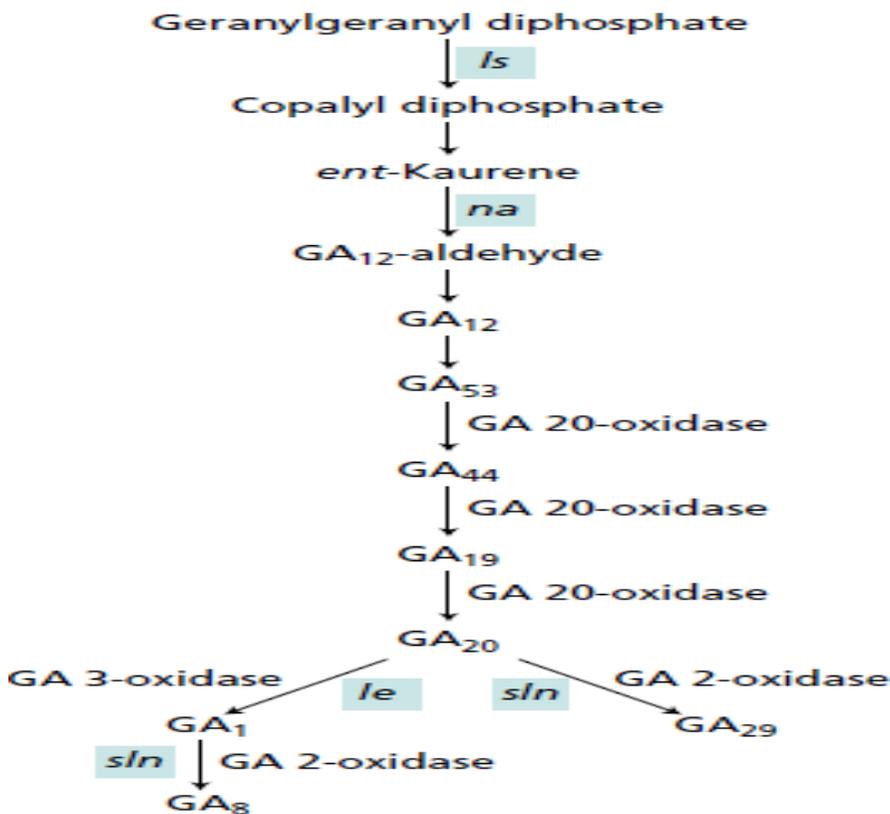
Sebagian dari jalur biosintesis dari MVA (C6) → Ent-Kaurent → GA12-aldehyde sama pada jamur maupun tumbuhan (khususnya tumbuhan tingkat tinggi). Jumlah GA yang banyak menyebabkan tidak adanya jalur khusus bagi GA yang ada dijamur maupun ditumbuhan (Hopkin, 1995).



Gambar 36. Tiga tahapan dalam biosintesis giberelin.

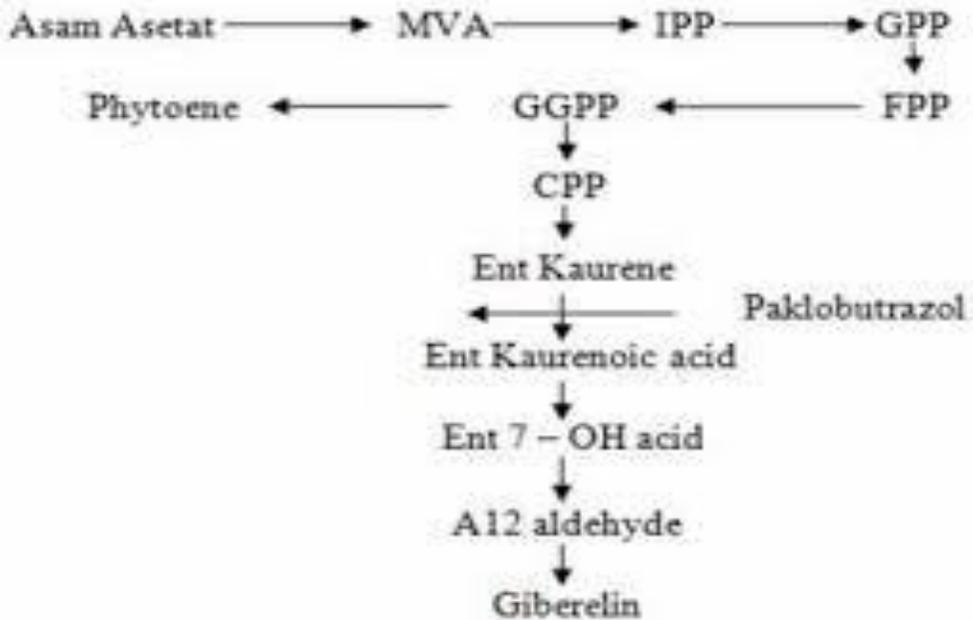
Tahap 1 terjadi di dalam plastid, dimana geranyl geranyl diphosphate (GGPP) dikonversi menjadi ent-kaurene via copalyl diphosphate (CPP). Tahap 2 terjadi di retikulum endoplasma, -kaurene dikonversi ke GA₁₂ atau GA₅₃, ini bergantung pada terjadi atau tidaknya hidrolisis pada GA dikarbon

13. Sebagian besar melalui jalur 13-hidroksilasi mendominasi Arabidopsis dan beberapa yang lain jalur non-13-OH adalah jalur utama. Tahap 3 terjadi di sitosol, GA₁₂ atau GA₅₃ dikonversi menjadi GAS lainnya. Proses konversi ini kemudian dilanjutkan dengan serangkaian oksidasi pada karbon 20. Dalam 13-hidroksilasi jalur ini mengarah ke produksi GA₂₀. GA₂₀ saat itu dioksidasi menjadi giberelin aktif, GA₁, oleh hidroksilasi 3 reaksi (setara non-13-OH adalah GA₄). Akhirnya, hidroksilasi pada karbon 2 mengubah GA₂₀ dan GA₁ menjadi masing-masing bentuk tidak aktif GA₂₉ dan GA₈ (Taiz and Zenger 2006).



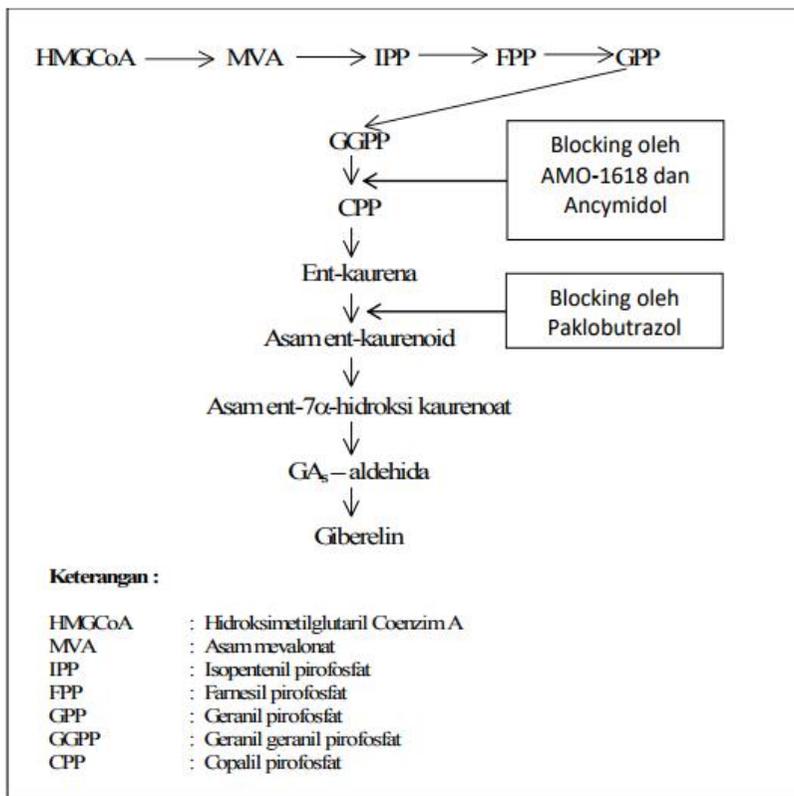
Gambar 36. Sebagian dari jalur biosintetik giberelin menunjukkan singkatan dan lokasi mutagen yang menghalangi jalur dalam kacang dan enzim terlibat dalam langkah-langkah metabolisme setelah GA₅.

Jalur dari MVA ke GGPP terdiri atas beberapa langkah yang dimulai dari pengaktifasian MVA menjadi MVA-PP dengan bantuan enzim MVA kinase dan memerlukan ATP (energi), Mg^{++} atau Mn^{++} . Langkah selanjutnya adalah proses pembentukan GGPP dari IPP dan DMAP dengan bantuan enzim GGPP sintatase. GGPP tersebut kemudian akan mengalami siklisasi menjadi Ent-kaurene yang ditandai dengan terbentuknya cincin (cyclization). Langkah berikutnya adalah perubahan ent-kaurene menjadi GA12-aldehyde. Pada langkah terakhir ini tidak ada pembentukan hasil perantara (intermediate) dari kedua senyawa. Proses ini terjadi akibat dari kontraksi cincin B. Mulanya cincin B memiliki 6C yang kemudian berkontraksi menjadi 5C dan C pada luar cincin. Proses biosintesis tidak terhenti setelah GA12-aldehyde berubah menjadi Gas (GA4). Setelah GA12-aldehyde berubah menjadi Gas (GA4), langkah selanjutnya adalah pengoksidasian gugus 7 beta aldehida, penghilangan gugus 10 alpametil, pembentukan ikatan lakton antara C15 dan C10. GA4 akan membentuk GA16 (dengan cara hidroksilasi pada C1), GA17 (dengan cara hidroksilasi pada C2), GA1 (dengan cara hidroksilasi pada C13), GA7 (dengan cara membentuk ikatan rangkap pada C1 dan C2) serta GA3 (dengan cara hidroksilasi pada C13).



Gambar 37. Proses Biosintesis Giberelin

Proses biosintesis giberelin juga dapat terhambat oleh adanya zat penghambat (*growt retardant*). Contoh zat pengahambat sintetik dalam biosintesis giberelin yaitu AMO-1618(2-isopropil-4-dimetil-5-metil fenil- 4 pipendine karboksilatmetil klorida) pada yanaman mentimun liar, cycloسل, paklobutrazol, anzimidol dan uniconzole. Mekanisme atau proses penghambatannya dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 38 . Proses penghambatan Biosintesis Giberelin oleh zat penghambat (*growt retardant*)

4.5 Proses Pengangkutan Hormon Giberelin

Hormon giberelin yang disintesis oleh tanaman di semua jaringan yang sedang mengalami pertumbuhan dan diferensiasi, biji dan buah yang sedang berkembang diangkut melalui jaringan pembuluh floem dan xylem serta melalui sistem simplas dan apoplas. Proses pengangkutan polar tidak berlaku bagi semua hormon salah satunya giberelin. Beberapa fakta menjelaskan bahwa hormon giberelin serta sitokinin ditranslokasikan bukan dalam bentuk bebas. Giberelin yang banyak ditranslokasikan biasanya dalam bentuk GA cadangan yakni GA-glukosida. GA-glukosida terdapat pada eksudat-eksudat jaringan floem pada beberapa tanaman, seperti bunga

matahari, kacang kapri, anggur dan lain sebagainya. Eksudat-eksudat floem dan xylem mengandung giberelin, sitokinin dan asam absisat dalam bentuk yang terikat (tidak bebas).

4.6 Fungsi dan Aktifitas Hormon Giberelin

Berikut adalah beberapa fungsi dan aktifitas dari hormon giberelin:

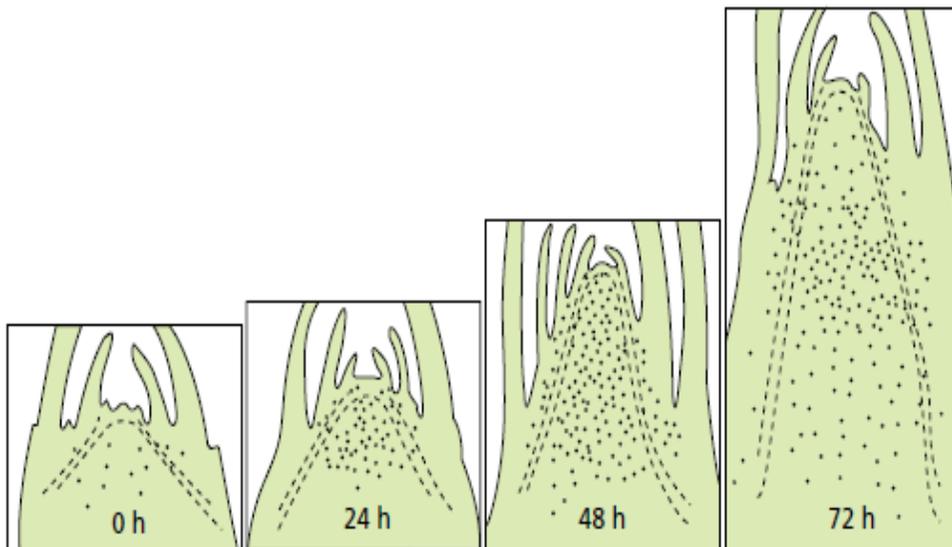
1. Meningkatkan Tinggi Tanaman

Giberelin dapat meningkatkan pembelahan dan pertumbuhan pada sel yang akan menyebabkan terjadinya pemanjangan batang dan peningkatan jumlah ruas dari suatu tanaman. Respon utama dari suatu tanaman saat diberikan giberelin berupa penambahan panjang batang. Namun pembelahan sel dan perbesaran sel tidak hanya dipengaruhi oleh hormon giberelin. Hormon auksin juga dapat mendorong terjadinya pembelahan dan pertumbuhan sel. Berbeda dengan hormon auksin yang lebih efektif jika diberi pada potongan-potongan organ tanaman seperti steak tunas, steak akar dan lain sebagainya, hormon sitokinin justru lebih efektif jika digunakan pada tanaman yang utuh.

Genetic dwarfism pada suatu tumbuhan terjadi akibat adanya mutasi gen yang dicirikan dengan gejala kerdil. Gejala yang timbul pada tanaman yang mengalami *genetic dwarfism* adalah memedeknya internodus (ruas batang). Giberelin merupakan hormon yang berperan penting dalam proses pemanjangan sel. Pemanjangan sel menyebabkan penambahan tinggi dari tanaman sehingga tanaman yang kerdil dapat menjadi tinggi. Kemampuan giberelin dalam menyembuhkan *genetic dwarfism* telah dibuktikan oleh Brian dan Hemming dalam penelitiannya yang menyemprotkan gibberellic acid pada tanaman kacang yang kerdil.

Hasilnya tanaman yang telah disemprot tadi mengalami pertambahan tinggi.

Kerja dari giberelin dalam hal pemanjangan batang melalui 3 tahapan. Tahapan pertama terjadi di bagian ujung batang yang berupa proses pembelahan. Giberelin dapat menstimulasi pembelahan sel pada saat sel memasuki fase G1 agar dan akan memperpendek fase S. Tahapan kedua adalah giberelin dapat meningkatkan hidrolisis amilum, fruktam dan sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa guna memacu pertumbuhan yang digunakan dalam proses respirasi sehingga terbentuk energi. Pada tahapan terakhir (ketiga), giberelin meningkatkan plastisitas dinding sel.



Gambar 38. Aplikasi giberelin dalam meningkatkan pembelahan sel pada ruas batang tanaman roset. Sayatan memanjang pada sumbu tanaman *Samolus parviflorus* menunjukkan peningkatan pembelahan sel akibat dari pemberian GA.

Kerja giberelin dalam pemanjangan sel erat kaitannya dengan kemampuannya dalam pengembangan dinding sel. Selain itu juga karena giberelin mendorong terbentuknya enzim amilase sehingga terjadi hidrolisa pati. Akibatnya terjadi peningkatan konsentrasi gula sehingga tekanan osmotik dalam sel juga ikut meningkat. Ujung-ujungnya sel akan memiliki kecenderungan untuk berkembang (Pavlista *et al*, 2013).

2. Pembungaan

Jika konsentrasi giberelin tinggi maka proses pembungaan akan terhambat, sebaliknya tanaman akan berbunga apabila konsentrasi giberelin rendah. Namun hal ini tidak berlaku untuk semua spesies tanaman. GA3 merupakan jenis hormon giberelin yang dapat merangsang perkecambahan, membantu dalam proses perkembangan buah pada saat pembungaan, GA3 endogen yang berasal dari dalam kuncup bunga dapat merangsang pemebaran bunga.

Terjadinya pembungaan erat kaitannya dengan pengaruh giberlin terhadap proses-proses fisiologis yang terdapat pada tanaman. Kebanyakan tanaman memerlukan suhu dingin (2°C - 4°C) dalam kurun waktu yang panjang untuk melakukan proses pembungaan. Suhu dingin mendorong batang untuk mengalami pemanjangan atau yang dikenal dengan istilah *balting*. *Balting* merupakan insiasi awal dari proses pembungaan. Suhu dingin tersebut dapat digantikan perannya oleh giberelin.

Salah satu peranan GA3 adalah mendorong pertumbuhan batang, menyebabkan hiper elongasi, pemanjang batang dengan cara merangsang pembelahan sel serta pemanjangan sel. Menurut Asra

dan Ubaidillah (2012) mekanisme giberelin dalam memacu pemanjangan sel terbagi menjadi 2 cara, yakni :

a. Meningkatkan kadar auksin

Giberelin dapat mendorong terbentuknya enzim pelunak dinding terutama enzim proteolitik yang dapat melepas prekursor auksin (amino triptofan) sehingga terjadi peningkatan kadar auksin. Giberelin juga mengambat kerja dari enzim indilasetat (IAA) dengan membentuk polihidroksi asam sinamat.

b. Giberelin merangsang pembentukan enzim α -amilase yang berguna dalam hidrolisis pati yang mengakibatkan kadar gula dalam sel meningkat dan air yang masuk ke dalam sel menjadi lebih banyak dan sel mengalami pemanjangan.

3. Partenokarpi (Buah Tanpa Biji)

Sama halnya dengan fungsi auksin, giberelin juga dapat mempengaruhi pembentukan buah tanpa biji (partenokarpi). Partenokarpi merupakan istilah yang diberikan pada buah yang terbentuk tanpa adanya penyerbukan dan/atau pembuahan. Giberelin dapat merangsang terbentuknya buah partenokarpi karena kemampuannya dalam merangsang proses pembuahan tanpa pembungaan. Salah satu jenis hormon giberelin yang efektif untuk digunakan dalam hal partenokarpi adalah GA3. Selain itu GA3 juga dapat meningkatkan tanda buah. Namun buah partenokarpi yang diinduksikan GA3 memiliki beberapa kekurangan salah satunya ukurannya yang kecil. Hal ini disebabkan karena buah tersebut memiliki jumlah sel yang lebih sedikit dibanding buah yang mengalami dipolinisasi, meski ukuran selnya jauh lebih besar (Pertwi *et al*, 2014). Pemberian giberelin

juga dapat meningkatkan ketebalan daging buah. Pemberian berbagai dosis GA pada tanaman sangat berpengaruh nyata terhadap berat segar buah, diameter (ketebalan) daging buah dan jumlah biji (misalnya pada semangka).

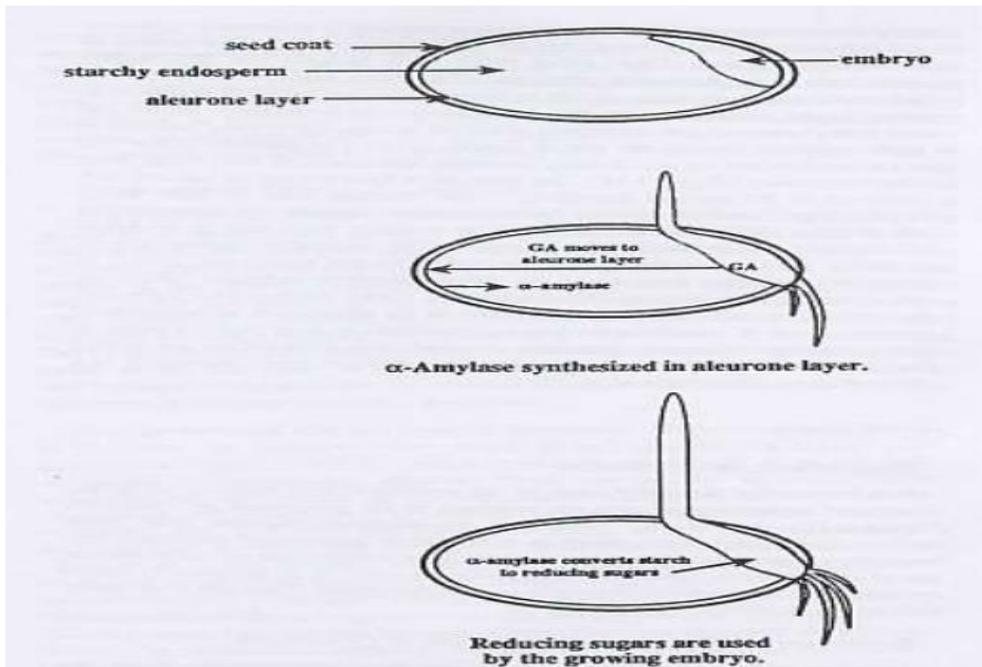
4. Mengundurkan Pematangan dan Pemasakan

Giberelin memiliki kemampuan dalam mengundur pematangan (*repening*) dan pemasakan (*maturity*) pada buah contoh pengaplikasiannya pada tomat dan pisang. Penelitian menunjukkan bahwa buah tomat yang diberikan giberelin buahnya matang lebih lambat, sedangkan buah pisang matang yang diberi giberelin proses pemasakannya menjadi tertunda.

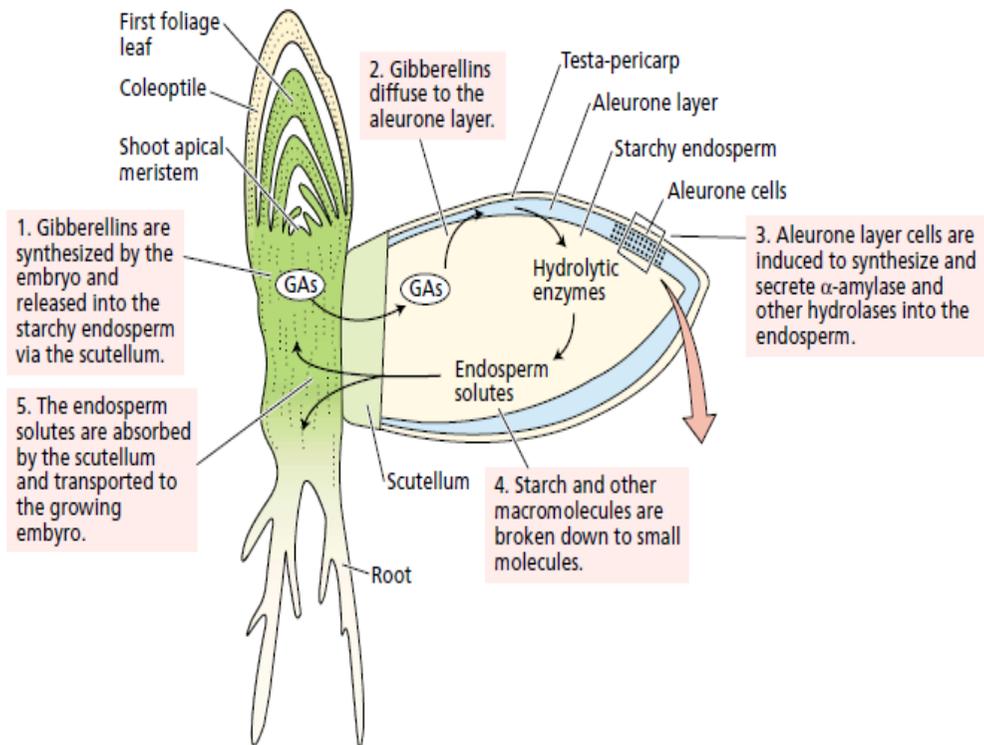
5. Memecah Masa Dormansi

Pertumbuhan embrio selama masa perkecambahan sangat bergantung pada kesediaan makan yang terdapat didalam endosperm. Pati yang dikelilingi oleh lapisan aleuron merupakan cadangan makanan bagi endosperm. Energi yang dibutuhkan oleh embrio pada masa perkecambahan berasal dari proses enzimatik perubahan pati menjadi gula dengan bantuan enzim amilase. Energi sangat dibutuhkan pada saat perkembangan embrio untuk membantu radikula dalam mendobrak endosperm, untuk kulit biji ataupun kulit buah yang menghalangi perkecambahan dan pertumbuhan benih saat proses perkecambahan. Giberelin memiliki peranan penting dalam meningkatkan aktivasi enzim amilase. Prosesnya adalah giberelin akan ditransfer ke aleuron untuk menstimulasi terbentuknya enzim amilase dan enzim hidrolitik. Enzim ini akan disekresikan ke endosperm untuk proses pemecahan pati menjadi gula. Giberelin juga menyebabkan kulit dari suatu benih menjadi

lebih permeabel terhadap air dan udara. Akibatnya potensi air di sel menjadi turun kemudian air masuk ke sel dan akhirnya sel mengalami pemanjangan. Selain itu, giberelin juga membantu aktivasi enzim amilase dan protease melalui de-novo synthesis. Ini berkaitan dengan terbentuknya DNA baru yang nantinya akan menghasilkan RNA (Salisbury and Ross, 1995).



Gambar 38 . Skematis Produksi Giberlin pada Bii Berley dan Mekanismenya dalam Memecahkan Dormansi Biji



Gambar 39. Struktur gandum dan fungsi gandum berbagai jaringan selama perkecambahan

Perkembangan tanaman pada masa pertumbuhan vegetatif sangat tergantung pada pembelahan, pembesaran dan diferensiasi dari sel. Giberlin pada saat pertumbuhan vegetatif memberikan pengaruh berupa rangsangan dalam mengaktivitaskan pembelahan sel di daerah maristem batang maupun kambium. Selain itu, giberelin juga ikut serta mempercepat tumbuhnya daun dan batang pada tanama (Kusumo, 1984). Meskipun demikian, pemanfaatan giberelin dalam mempengaruhi pertumbuhan suatu tanaman tetap perlu memperhatikan konsentrasi dan lama perendaman. Misalnya pada biji kopi konsentrasi yang tepat ialah 1500mg/L selama 12, dengan konsentrasi tersebut maka daya kecambah dari kopi dapat meningkat hingga 85,33%. Selain daya kecambah yang

meningkat, luas daun dan bobot benih kopi tersebut juga mengalami peningkatan. Bertambahnya luas daun juga mengakibatkan laju fotosintesis akan meningkat. Pengaplikasian giberelin untuk meningkatkan laju fotosintesis biasanya diaplikasikan pada bagian bawah tajuk tanaman.

Contoh Pengaplikasian

Pemberian hormon giberelin sintetis jenis GA3 untuk melihat daya kecambah dan vigoritas dari *Calopogonium caeruleum*. Pemberian GA3 pada *C. caeruleum* dapat meningkatkan daya kecambah hingga mencapai 57,33% dan dapat meningkatkan vigoritas hingga 41,33%. Konsentrasi GA3 yang tepat untuk meningkatkan daya kecambah dari tanaman *C. caeruleum* adalah 500 ppm dengan waktu perendaman 24 jam. Konsentrasi dan lama perendaman tersebut merupakan konsentrasi dan lama perendaman yang optimal. Pemberian giberelin eksternal pada suatu tanaman dapat mengubah level giberelin internal yang ada didalam biji, level tersebut menjadi pemicu dalam merangsang terjadinya proses perkecambahan.

Giberelin tersebut berdifusi ke dalam lapisan aleuron (tempat dibuatnya enzim-enzim hidrolitik (misalnya alfa amilase, protease, beta glukonase dan fosfatase)). Enzim-enzim hidrolitik yang berdifusi tadi akan mengubah endosperm menjadi asam amino, gula dan lain sebagainya. Selain enzim hidrolitik, giberelin juga mengaktifkan enzim yang berperan dalam pemecahan lemak menjadi asam lemak dan gliserol yang larut (enzim lipase) dan enzim yang berperan dalam pemecahan protein menjadi asam amino (enzim proteinase).



Gambar 40. Perkecambahan *C.caeruleum* pada perlakuan kontrol (tidak diberi GA3/G0T3) dan diberikan GA3 (G5T3) (Sumber : Asra, 2014)

Agar pengangkutan menjadi merata ke seluruh bagian embrio guna terjadinya perkecambahan pada benih maka endosperm diubah terlebih dahulu menjadi zat-zat dengan mobilitas tinggi. Apabila giberelin endogen dalam benih jumlahnya terbatas dan in-aktif maka perkecambahan akan berjalan lambat. Cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan pemberian giberelin eksogen.

Guna mendapatkan vigoritas dari benih *C.caeruleum* sebesar 41,33% diperlukan GA3 sebanyak 200 ppm dan waktu perendaman selama 6 jam. Benih yang direndam dalam larutan giberalin kulit benihnya akan menjadi lunak sehingga bersifat permeabel terhadap oksigen dan air. Dengan demikian, pembentukan enzim alfa-amilase akan menjadi lebih mudah (Asra, 2014).

Akan tetapi pemberian GA3 pada *C.caeruleum* tidak berpengaruh nyata terhadap nilai nutrisi yang mencakup PK, ADF dan NDF pada tanaman *C.caeruleum*. PK (protein kasar) merupakan salah satu

indikator dalam menentukan kualitas hijauan pakan ternak. Terjadinya hidrolisis protein pada saat perkecambahan biji menyebabkan kandungan protein secara langsung akan lebih rendah. Sebab selama proses hidrolisis giberelin akan bekerja pada gen dengan cara mengaktivasi gen tersebut. Gen-gen tersebut akan membentuk enzim salah satunya hidrolase yang berperan dalam perkembangan embrio (Asra dan Ubaidillah, 2012).

6. Stimulasi Aktivitas Kambium dan Perkembangan Xylem

Kemampuan giberelin untuk menstimulasi aktivitas dari kambium serta perkembangan xylem pertama kali diteliti oleh Weaver (1972). Weaver (1972) dalam penelitiannya berhasil menunjukkan bahwa pemberian GA3 pada tanaman dengan konsentrasi yang bervariasi (100 ppm, 250 ppm, dan 500 ppm) berhasil membuat xylem pada pucuk tanaman olive mengalami diferensiasi. Giberelin dapat menstimulasi aktivitas kambium dan perkembangan xylem bersinergi dengan auksin.

Menurut Mudyantini (2008), pemberian GA pada tanaman rami dapat meningkatkan jumlah floem pada tanaman tersebut. Meningkatkannya jumlah floem mengakibatkan adanya peningkatan selulosa dan lignin. Selulosa dan lignin adalah faktor penentu dari serat rami. Inilah yang menyebabkan banyak petani rami yang menggunakan GA dalam budidaya rami.

7. Meningkatkan Kadar Auksin

Giberelin dapat memacu proses pematangan enzim pelunak dinding sel tanaman khususnya enzim proteolitik. Enzim proteolitik dapat meningkatkan kadar auksin dalam suatu tumbuhan dengan cara

melepaskan prekursor (asam amino triptofan) yang dipergunakan dalam proses biosintesis auksin.

4.7 Faktor yang Mempengaruhi Kerja Hormon Giberelin

Pemberian giberelin pada suatu tanaman ada kalanya tidak memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan maupun produksi tanaman tersebut akibat adanya beberapa faktor penghambat. Respon dari tanaman yang diberikan giberelin bergantung pada bagian tanaman itu sendiri yang diaplikasikan dengan hormon giberelin, konsentrasi dari hormon giberelin dan faktor-faktor yang ada dilingkungan.

BAB 5. ETILEN

5.1 Sejarah Hormon Etilen

Hormon etilen pertama kali ditemukan pada abad ke-20 atau sekitar 75 tahun yang lalu. Pada saat itu untuk memematangkan buah jeruk, petani melakukan pengeraman terhadap buah jeruk dalam lumbung yang diberi kompor minyak tanah didekatnya. Mulanya para petani yakin jika panas yang muncul berasal dari kompor tersebut yang menyebabkan buah menjadi matang. Namun saat kompor yang digunakan diberi pembersih (tanpa polusi) justru buah menjadi tidak matang. Para ahli fisiologi tumbuhan kemudian melakukan penelitian dan berhasil menemukan bahwa penyebab matangnya buah adalah etilen. Etilen merupakan gas hasil pembakaran dari minyak tanah. Kemudian para ahli juga menemukan bahwa setiap tumbuhan menghasilkan etilen yang merupakan hormon tumbuhan (fitohormon). Hormon etilen dapat memicu berbagai macam respon fisiologis selain pematangan buah. Etilen telah digunakan sejak zaman Mesir Kuno pada buah Ara yang dilukai. Pelukaan tersebut berfungsi untuk merangsang produksi etilen pada jaringan tanaman. Sedangkan orang cino kuno melakukan pembakaran dupa ditempat tertutup guna menghasilkan hormon etilen.

Dimitry N Neljubow (1876-1926) merupakan seorang ahli fisiologis yang berasal dari Ruasia yang pertama kali menyatakan bahwa etilen dapat mempengaruhi pertumbuhan dari suatu tanaman. Kemudian pada tahun 1901, beliau mencirikan etilen dalam gas yang bercahaya dan berhasil menunjukkan bahwa etilen memberikan 3 respon fisiologis pada kecambah kapri. Tiga respon fisiologis tersebut diantaranya pemanjangan batang yang terhambat, batang yang semakin menebal dan munculnya kebiasaan tumbuh secara vertikal (mendatar).

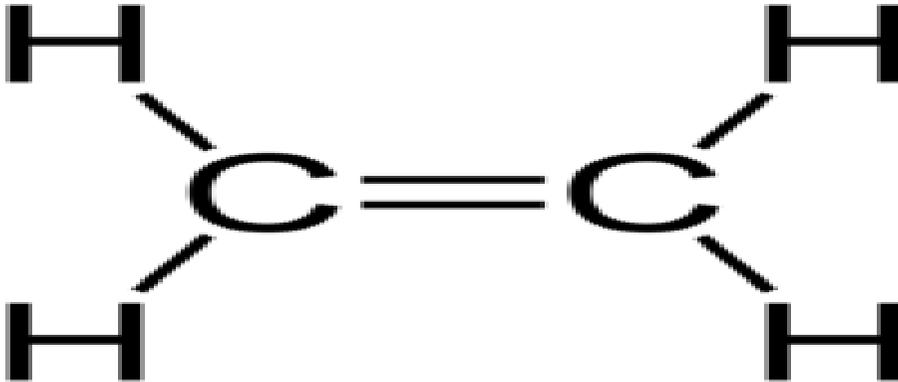
Penelitian dari Dimitry N Neljubow pada tahun 1901 juga berhasil menunjukkan bahwa gas etilen dapat membuat perubahan pada akar tanaman. Penelitian lanjutan kemudian dilakukan oleh Zimarmen dan kawan-kawan, hasilnya menunjukkan bahwa etilen dapat mendukung terjadinya absisi daun dan dapat mendukung proses pembungaan pada tanaman nanas. Pada tahun 1910, Cousin memnulis laporan mengenai buah jeruk yang dapat mematangkan buah pisang dalam waktu yang singkat. Laporan tersebut menjadi sumber pertama yang menjelaskan bahwa buah-buahan dapat melepaskan gas yang dapat memacu proses pematangan. Pada tahun 1934 barulah diketahui bahwa etilen disintesis pada tumbuhan dan berfungsi dalam mempercepat pematangan buah yang dibuktikan oleh R. Gane.

5.2 Pengertian Hormon Etilen

Etilen merupakan senyawa hasil dari reaksi pembakaran tidak sempurna dari senyawa yang memiliki banyak ikatan karbon seperti minyak bumi, gas alam maupun batu bara. Tanaman yang terkena gas hasil pembakaran (diperkirakan adalah etilen) akan menunjukkan gejala berupa daun yang gugur, daun mengeriting, tajuk bunga kehilangan warna, batang membengkak serta penghambatan dalam elongasi dan pertumbuhan akar. Pada penelitian berikutnya barulah diketahui bahwa hasil metabolisme suatu tumbuhan selama masa pertumbuhan dan perkembangannya akan menghasilkan etilen.

Hormon etilen merupakan hormon tumbuhan yang secara umum berbeda dengan hormon lainnya seperti auksin, sitokinin dan giberelin. Etilen dalam keadaan normal berbentuk gas.. Struktur kimia dari hormon etilen sangatlah sederhana jika dibanding hormon tumbuhan lainnya sebab hanya terdiri dari 4 atom hidrogen (H) dan 2 atom karbon (C) yang berikatan

rangkap. Rumus molekulnya C_2H_4 . Berikut adalah gambaran struktur dari hormon etilen:



Gambar 41 . Struktur Kimia Etilen

Etilen merupakan suatu senyawa kimia yang dihasilkan oleh tanaman pada saat proses pemasakan dan dapat menguap (Salisbury and Ross, 1995). Etilen yang diproduksi oleh suatu tanaman dapat dengan mudah dilacak dengan cara kromatografi gas karena molekul etilen dapat dengan mudah diserap oleh jaringan pada kondisi yang hampa udara. Berikut adalah beberapa karakteristik dari hormon etilen:

1. Merupakan gas volatil. Hal ini ditandai dengan kemampuan fisiologisnya untuk dapat aktif bekerja dalam konsentrasi yang rendah (0,001 ppm) dan memacu respon dari banyak jaringan.
2. Laju produksinya dapat terus mengalami peningkatan saat mulai dirangsang.
3. Diproduksi di dalam tanaman. Namun ada beberapa jenis bakteri dan cendawan yang memiliki kemampuan dalam menghasilkan etilen yang berperan sebagai pendorong perkecambahan biji, pengendali dalam pertumbuhan kecambah dan pengurang waktu serangan penyakit akibat dari patogen tanah (Salisbury and Ross, 1995).

4. Selain yang terdapat di dalam tanaman (endogenous). Etilen juga terdapat di lingkungan (etilen eksogenous) yang dapat memacu sintesis etilen endogenous.

5.3 Macam-Macam Hormon Etilen

Sama seperti hormon tumbuhan lainnya, secara garis besar etilen terbagi menjadi 2 kelompok besar yakni etilen endogenous dan etilen eksogenous. Etilen endogenous merupakan etilen yang dihasilkan didalam tubuh tumbuhan, sedangkan etilen eksogenous merupakan etilen yang terdapat di lingkungan. Etilen eksogenous biasanya berfungsi untuk memacu produk untuk menghasilkan etilen endogenous. Salah satu contoh etilen eksogenous yang banyak digunakan oleh para petani untuk mematangkan buah adalah Etephon/Ethrel/Kalsium Karbida. Etephon ini merupakan senyawa kimia yang dapat menghasilkan zat pemacu pematangan pada jaringan tanaman. Rumus kimia dari Etephon adalah CaC_2 (Kalsium Karbida). Senyawa ini dapat menghasilkan karbid yang dapat memacu pematangan buah. Etephon dapat berpenetrasi kedalam buah yang kemudian akan terurai dan membentuk gas. Buah yang ingin dimatangkan biasanya dicelup dengan menggunakan etephon yang konsentrasinya 500-2000 ppm (Nour and Abu, 2010).

Kalsium karbida (CaC_2) yang dikomersialkan dipasaran biasanya berbentuk bubuk yang berwarna hitam keabu-abuan dan biasanya dimanfaatkan untuk proses pengelasan. Pada negara-negara berkembang seperti di Indonesia, kalsium karbida ini digunakan untuk membantu proses pematangan buah. Negara-negara maju tidak ingin memanfaatkan kalsium karbida dalam proses pematangan buah sebab adanya kandungan racun arsenik dan fosforus dalam kalsium karbida sehingga berbahaya bagi kesehatan (Asif, 2012). Kalsium karbida jika dilarutkan kedalam air maka

dapat menghasilkan gas asetilen (Singal *et al*, 2012). Asetilena merupakan senyawa hidrokarbon golongan alkuna yang memiliki rumus kimia C_2H_2 . Pemberian kalsium karbida pada buah memberikan dampak positif maupun dampak negatif. Dampak positifnya buah memiliki tekstur yang baik dan warna yang baik, sedangkan dampak negatifnya berupa aroma yang kurang sedap.

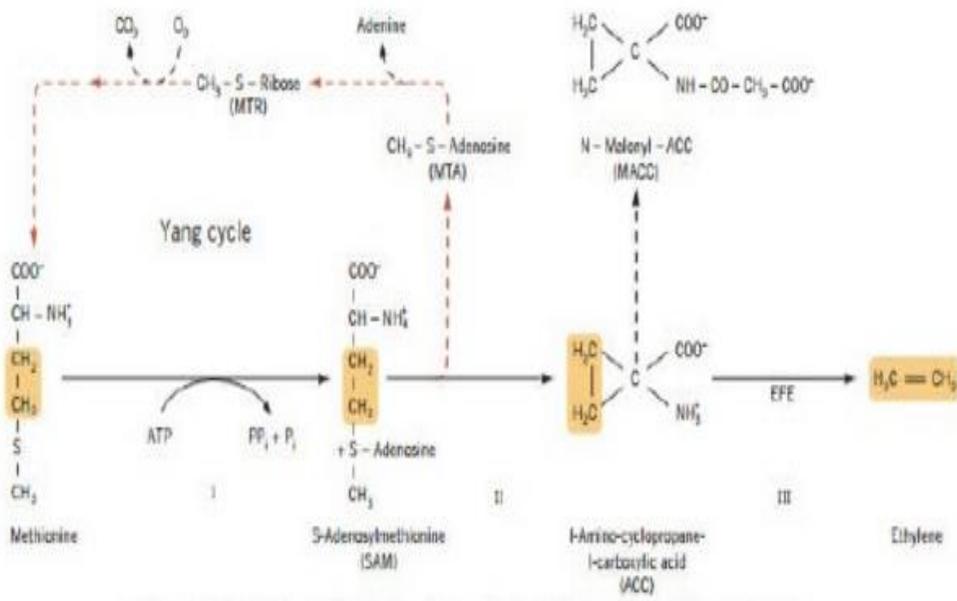


Gambar 42 . Kalsium Karbida (CaC_2)

Etilen akan dihasilkan jauh lebih tinggi pada buah yang sedang mengalami proses pematangan. Selain itu etilen juga dapat dihasilkan dari jaringan tumbuhan dan organ tumbuhan (akar, batang, daun, biji bunga dan umbi). Normalnya etilen pada suatu tanaman jumlahnya kurang dari 0,1 ppm.

5.4 Biosintesis Hormon Etilen

Biosintesis etilen mulai dikaji pada tahun 1964 oleh M. Lieberman dan L.W. Mapson yang melakukan penelitian di laboratorium Shang-Fa di Universitas California. Hasil penelitian mereka menunjukkan jika etilen merupakan hasil turunan dari karbon nomor 3 dan nomor 4 pada asam amino jenis metionin. Mereka berdua juga berhasil menemukan bahwa ada senyawa asam 1-aminosiklopropan-1-karboksilat (ACC) yang mirip etilen.

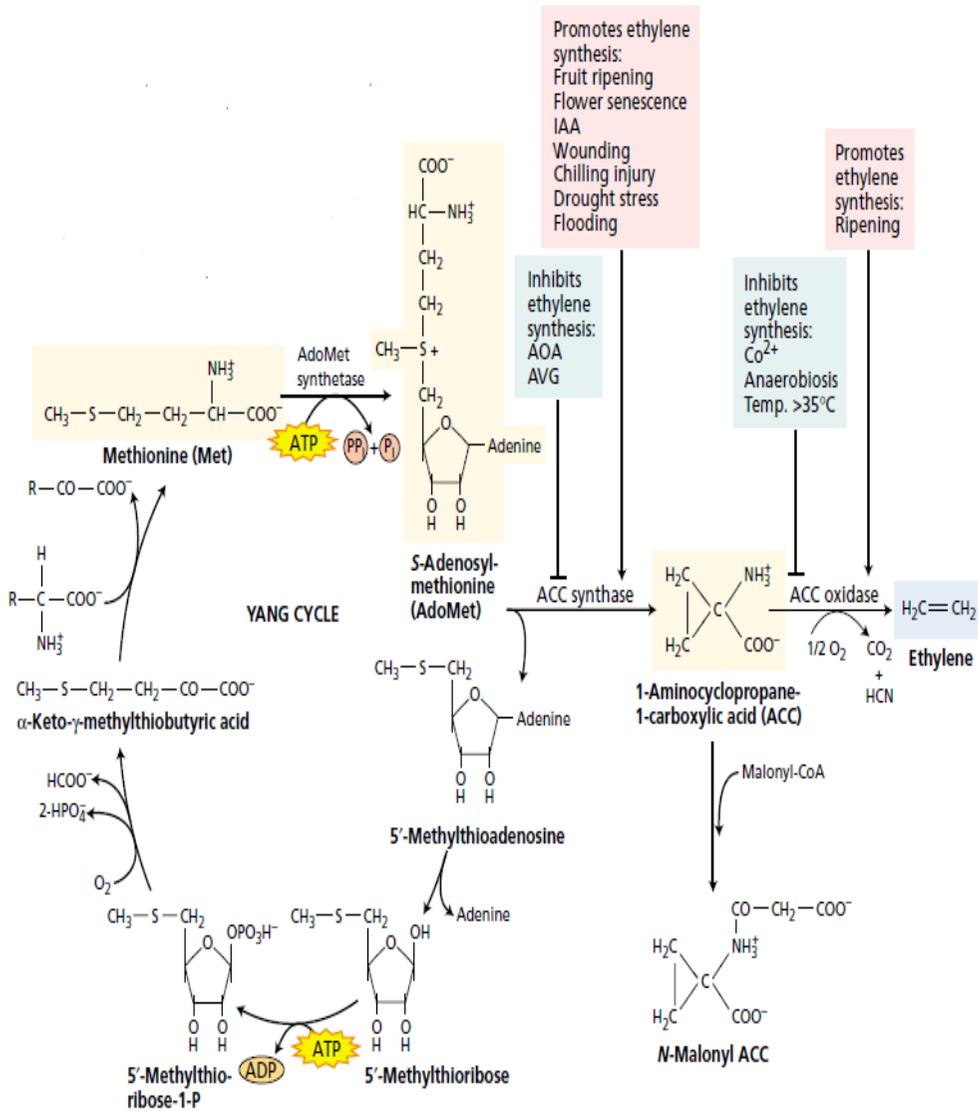


Gambar 43. Skema Biosintesis Etilen

Sumber : Hopkins (2018)

Berikut adalah beberapa sumber etilen:

1. Hasil pembakaran tidak sempurna dari senyawa yang memiliki banyak karbon, contohnya gas bumi, minyak bumi dan batu bara.
2. Iluminasi dari gas penerangan rumah ataupun jalan raya.
3. Asap hasil pembakaran pada kendaraan bermotor maupun pabrik industri.
4. Tanaman dengan bahan dasar asam amino jenis methionin.



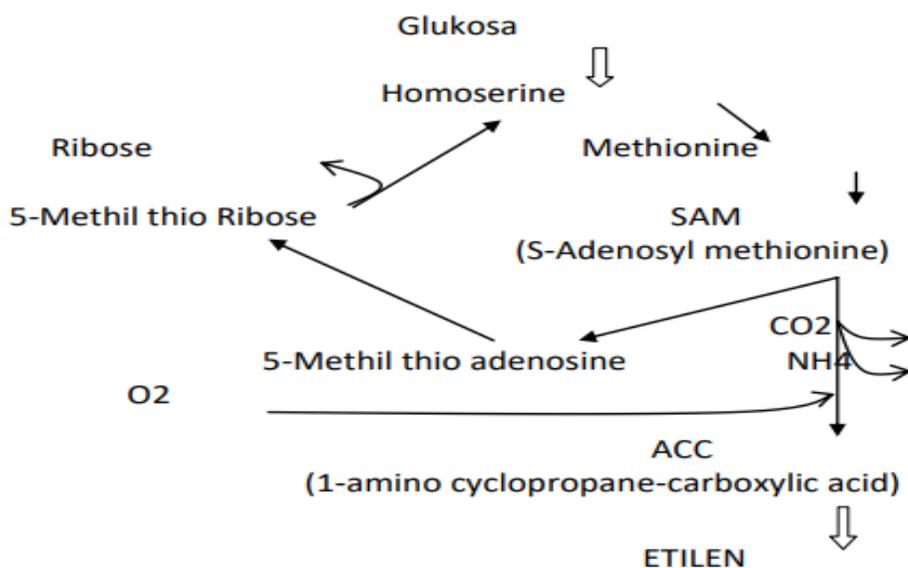
Gambar 43. Jalur biosintesis etilen.

Asam amino metionin merupakan prekursor dalam biosintesis etilen. Pembatasan laju konversi AdoMet ke ACC, yang dikatalisasi oleh enzim ACC synthase. Tahapan terakhir adalah konversi ACC ke etilena, membutuhkan oksigen dan dikatalisis oleh enzim ACC oksidase. Kelompok

CH₃-S dari metionin recycle melalui siklus Yang dan dengan demikian sintesis dapat dilanjutkan. Selain dikonversi menjadi etilen, ACC dapat dikonjugasikan untuk N-malonyl ACC. AOA = asma amino oksiaasetat; AVG = aminoethoxy-vinylglycine.

Pada tanaman sintesis hormon etilen terjadi pada jaringan/ organ tanaman yang mengalami cekaman ataupun organ tanaman yang sedang mengalami penuan (*senescence*). Asam amino methionin merupakan prekursor dalam proses biosintesis etilen. Asam amino methionin akan diubah menjadi methionel dengan bantuan cahaya dan Flavin Mono

Nucleotida (FMN) pada jaringan tanaman. Senyawa tersebut akan diubah menjadi etilene, methyl disuphide dan asam formiat.



Gambar 44 . Skema Biosintesis Hormon Etilen

ACC merupakan senyawa intermediet yang berperan penting dalam proses biosintesis etilen. Adanya ACC sangat bergantung dengan kehadiran enzim

sintesa. Jika enzim sintesa tidak ada atau inaktiv maka ACC tidak dapat terbentuk begitupula dengan etilen.

5.5 Proses Pengangkutan Hormon Etilen

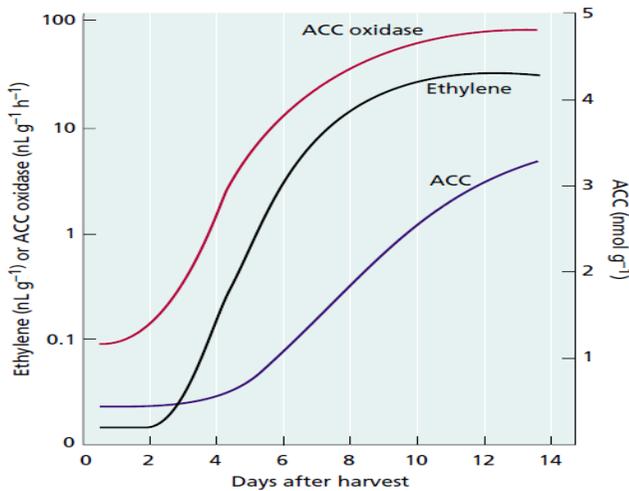
Etilen adalah satu-satunya hormon tumbuhan yang berwujud gas. Oleh karena itu, pergerakannya di dalam maupun luar tanaman dengan cara difusi. Meskipun setiap jaringan/ organ tanaman berkontak dengan etilen pada konsentrasi tertentu (konsentrasi yang mengaktifkan respon fisiologis) tidak semua akan bersifat responsif kepada etilen. Target sel etilen adalah sel-sel yang sudah tercukupi ACCnya. ACC yang cukup didapatkan dari enzim-enzim dalam sel yang aktif membentuk ACC ataupun dari hasil translokasi sel-sel yang berada disekitar sel yang bersangkutan. Selama proses pengangkutan etilen, akan dihasilkan juga senyawa intermediet yakni ACC. ACC akan diangkut dan akan mempengaruhi peran etilen di daerah yang jauh dari asal stimulus .

5.6 Fungsi dan Aktifitas Hormon Etilen

Berikut adalah fungsi dan Aktivitas dari hormon etilen:

1. Merangsang proses pematangan buah

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa adanya peningkatan sintesis protein menyebabkan peningkatan dalam proses pematangan buah. Enzim ACC sintetase (ACS) dan ACC oksidase (ACO) memiliki peran penting dalam mengatur biosintesis etilen. Kematangan pada buah menyebabkan terjadinya perubahan aktivitas kerja enzim dalam memecah pati, akumulasi gula dan hilangnya asam organik.



Gambar 45. Skema Pematangan Buah

Sumber: Taiz and Zeigler (2003)

Pemberian etilen pada buah yang berdaging (misalnya jeruk, pisang, tomat dan lain sebagainya) dapat menyebabkan terjadinya peningkatan sintesis protein. Kombinasi antara adanya gas etilen dengan tempat penyimpanan buah yang anaerob dapat merangsang proses pematangan pada buah. Jika dilihat dari ilmu biokimia, etilen memiliki sifat yang tidak dapat larut dalam lemak, walupun membran selnya tersusun atas lemak sehingga etilen larut dalam membran mitokondria. Jika mitokondria diekstraksi kemudian diberi etilen selama masa praklimaterik maka permeabilitas dari mitokondria akan meningkat. Semakin permeabel sel tersebut maka bahan-bahan yang bersal dari luar akan semakin mudah masuk. Dengan kata lain intraksi antara substrat buah dengan eznim-enzim pematangan akan lebih berinteraksi. Etilen memiliki peranan penting dalam mengaktifkan enzim ATP-ase guna menyediakan energi untuk proses metabolisme. ATP-ase sangat diperlukan untuk pembuatan energi ATP yang ada dalam buah. ATP

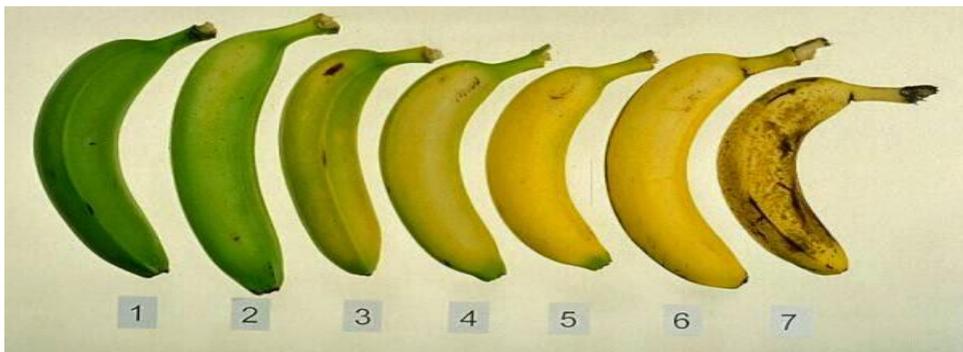
akan dipecah menjadi ADP + P dengan bantuan enzim ATP-ase lalu akan menjadi energi.

Salah satu variasi dari proses penuaan pada tumbuhan adalah pematangan buah. Pematangan pada buah melibatkan perubahan pati menjadi gula dan asam amino organik, perusakan dari membran sel sehingga sel menjadi kering akibatnya banyaknya cairan yang hilang dan perubahan permeabilitas dari dinding sel yang mengalami penurunan. Saat menstimulasi pematangan buah gas etilen akan berdifusi ke dalam ruang antar sel maupun melalui medium udara. Misalnya apel ranum dapat meningkatkan pematangan seluruh buah yang berada dalam satu slot. Semakin banyak etilen yang terakumulasi maka proses pematangan juga akan menjadi lebih cepat, itulah yang menyebabkan banyak orang menyimpan buah dalam kantong plastik.

Etilen sudah banyak dimanfaatkan oleh para petani, para distributor maupun para importir buah. Buah yang diangkut biasanya merupakan buah yang belum matang. Setelah buah tersebut sampai di lokasi tujuan dan siap untuk dijual-belikan, maka buah tersebut akan diberikan etilen agar proses pematangannya menjadi lebih cepat. Proses pematangan buah ditandai dengan perubahan warna pada kulit buah. Berubahnya warna kulit buah disebabkan oleh kerja dari etilen yang memecah klorofil yang terdapat dalam buah muda sehingga buah hanya mengandung pigmen karoten dan xantofil. Hal inilah yang menyebabkan buah matang akan berubah warna menjadi jingga atau merah.

Selain menimbulkan warna pada buah yang telah matang, etilen juga memberikan aroma yang khas pada buah yang telah matang. Aroma khas yang muncul pada buah saat matang timbul akibat adanya

peningkatan senyawa aromatik dan adanya perubahan enzimatik dalam buah. Misalnya pada buah pisang, senyawa volatil yang dihasilkan oleh buah pisang saat proses pematangan menimbulkan aroma. Senyawa volatil yang dihasilkan oleh buah pisang tersebut dapat mencapai 200 jenis, dimana yang paling mendominasi adalah asetat dan butirir. Emil asetat dan butill asetat inilah yang paling berperan dalam menimbulkan aroma pada pisang yang matang (Murthada *et al*, 2014).



Gambar 46 . Tahapan Pematangan Buah Pisang yang diikuti dengan perubahan warna pada kulit buah

Etilen dapat meningkatkan aktivitas dari enzim katalase, peroksidase dan amilase yang terdapat dalam irisan buah sebelum puncak kematangan. Saat proses pematangan tersebut, biasanya juga ditemukan zat berupa protein yang dapat menghambat proses pematangan buah. Adanya etilen menyebabkan irisan-irisan tersebut menjadi lunak dan ada perubahan warnanya yang menarik (warna yang menunjukkan gejala kematangan yang khas) pada buah.

Selain dapat membantu para petani, distributor dan importer buah, etilen juga dapat menyebabkan kemunduran komoditi sebab buah menjadi lebih mudah rusak, seperti:

- a. Mempercepat penuaan (*senesen*) serta mengubah warna khas pada sayuran-sayuran dan beberapa buah (warna hijau) contoh pada mentimun dan kol.



Gambar 47 . Contoh buah dan sayur yang kehilangan warna hijau

- b. Munculnya noda bercak pada tanaman, misalnya pada selada.
- c. Terbentuknya rasa pahit, misalnya pada wortel.
- d. Terjadinya pengerasan pada asparagus.
- e. Mempersingkat masa bunga, buah dan sayur serta menurunkan kualitas bunga.
- f. Akan muncul permasalahan yang berkaitan dengan fisiologis dari tanaman umbi lapis yang sedang berbunga.

Contoh Pengaplikasian

Para konsemen sering menjadikan warna pada buah jeruk untuk mengukur kadar kesukaan terhadap buah jeruk. Warna jingga pada buah jeruk biasanya memiliki daya tarik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan warna hijau. Pada tanaman jeruk tropika yang ditanam di dataran rendah, saat mengalami pematangan buah akan berubah warna menjadi jingga secara seragam. Hal inilah yang mendorong dilakukannya *degreening*. *Degreening* dilakukan untuk menyeragamkan perubahan

warna jeruk menjadi jingga tepat saat jeruk mengalami pematangan. Keektifan dari *degreening* ini salah satunya dipicu oleh ZPT etilen. Penggunaan etilen sebagai ZPT dengan mempertimbangkan konsentrasi durasi pemaparan yang tepat dapat merangsang proses metabolisme didalam jeruk guna mencapai warna eksternal dari buah. Warna terbaik pada buah jeruk tropika dataran rendah diperoleh dari pemaparan etilen selama 48 jam.

Kadar karetonoid pada kulit buah jeruk yang diberikan etilen dapat mengalami peningkatan. Kulit jeruk yang awalnya berwarna hijau dapat berubah menjadi jingga karena terjadi sintesis karetonoid yang bersifat *nonphotosintetic* yaitu β -*citraurin*. *Chriptoxanthin* juga berperan dalam mengubah warna kulit jeruk yang matang dari hijau menjadi kuning (Ramadhani *et al*, 2015).

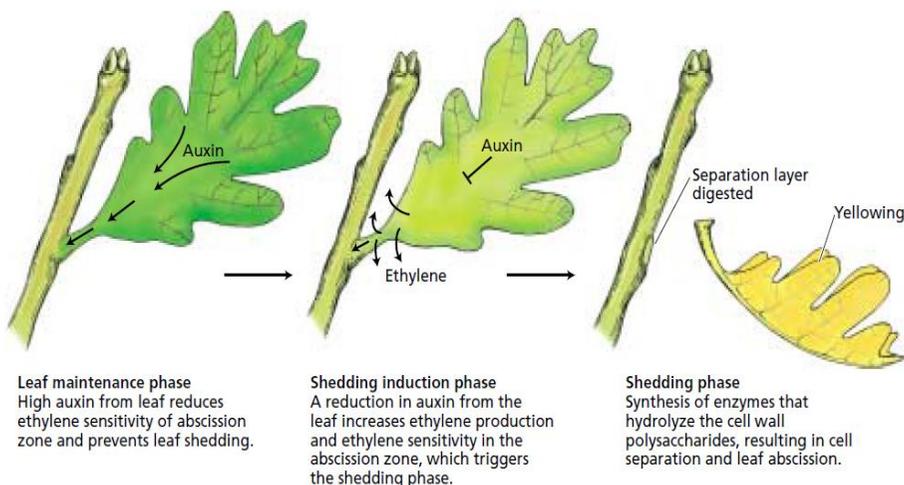
2. Merangsang Absisi

Setiap musim gugur, pengguguran daun selalu diawali dengan perubahan warna pada daun. Setelah terjadi perubahan warna biasanya daun akan mengering lalu gugur. Selain pematangan, pengguguran juga merupakan salah satu variasi dari penuaan. Hilangnya warna pada daun disebabkan oleh terhentinya sintesis pigmen klorofil pada daun.

Kemampuan etilen memacu pengguguran daun lebih banyak diketahui dibanding kemampuannya dalam mengubah warna daun yang rontok dan mengeringkan daun. Rontoknya daun dimulai dari terlepasnya pangkal tangkai daun dari batang. Daerah terpisah tersebut adalah daerah absisi. Sel-sel parenkim yang berukuran kecil dengan dindingsel lemah dan tipis akibat tidak adanya serat disekitar jaringan pembeluh merupakan komponen penyusun dinding sel. Polisakarida

yang terdapat didalam dinding sel tersebut akan dihidrolisis dengan bantuan enzim. Ketika daun tumbuhan telah rontok, daerah absisinya akan berganti menjadi luka (parut) pada batang. Sel-sel mati dalam parut/luka tersebut menjadi penghalang bagi patogen untuk masuk kedalam tanaman tersebut.

Mekanisme penuaan dan abisi pada daun terdiri atas 3 fase yakni (1) *Leaf maintenance phase*, (2) *Shedding induction phase* dan (3) *Shedding phase*. *Leaf maintenance phase* adalah fase dimana daun yang aktif tumbuh menghasilkan auksin kemudian ditranspor ke batang sehingga zona absisi tetap dipertahankan dalam keadaan tidak aktif. *Shedding induction phase* adalah fase dimana terjadi perubahan keseimbangan hormonal pada daun sehingga sensitivitas sel target juga meningkat. Pada fase ini terjadi reduksi transport auksin yang menyebabkan meningkatkan produksi etilen. *Shedding phase* adalah fase dimana enzim selulase dan pektinase disintesis oleh tanaman. Kedua enzim inilah yang memutuskan hubungan antar sel-sel di zona absisi dengan cara menghidrolisis dinding sel. Faktor mekanik lain seperti angin ataupun gravitasi juga menjadi pendorong terjadinya absisi.

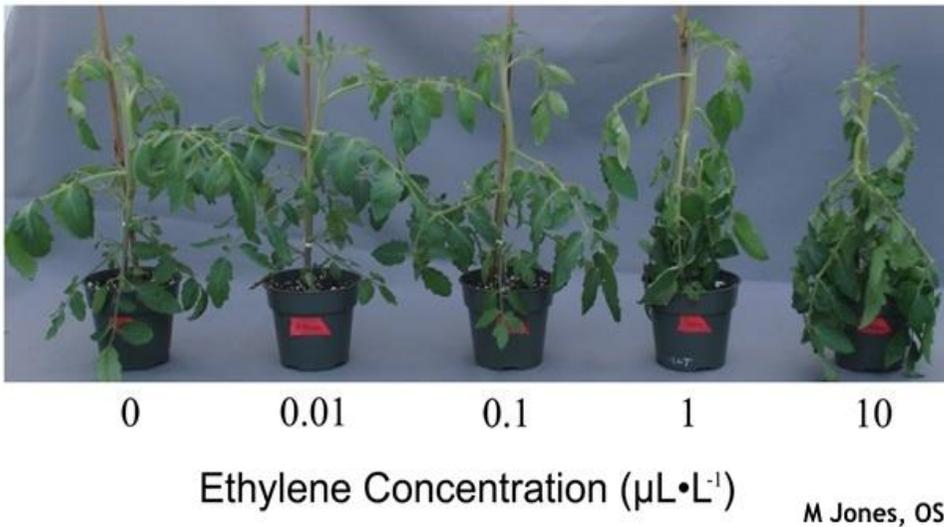


Gambar 48. Mekanisme Abisi Daun

Sumber: Taiz & Zeighe (2003)

3. Mendukung Epinasti

Gerakan pada tangkai daun yang berupa bengkokan ke arah bawah sehingga mengakibatkan ujung daun juga ikut membengkok ke arah tanah dikenal dengan istilah Epinasti. Kondisi stress/cekaman dapat meningkatkan produksi etilen pada tanaman dan dapat menginduksi terjadinya epinasti.



Gambar 49. Pengaruh Etilen terhadap Epinasti

4. Menjadi penghambat (inhibitor) dalam proses pemanjangan akar dan batang di beberapa spesies tumbuhan. Meskipun pada umumnya etilen akan menstimulus pemanangan dari koleoptil, mesokotil dan batang pada beberapa tanaman, contohnya padi dan *Collettriche* sp.
5. Menstimulasi pertumbuhan secara isodiametrical dibanding pertumbuhan secara longitudinal.
6. Mendukung terbentuknya akar adventif dan bulu-bulu akar

7. Mendukung dalam hal pembungaan, seperti pembungan pada nanas dan *flower fading* dalam persilangan tanaman anggrek.

5.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kerja Hormon Etilen

Mekanisme kerja etilen dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Interaksi dengan hormon lain, misalnya auksin. Terjadinya peningkatan auksin juga menyebabkan terjadinya peningkatan etilen.
2. Pembentukan senyawa kompleks dengan metalo-enzim. Etilen dapat aktif dalam kondisi normal jika berikatan dengan metalo-enzim dan oksigen. Jika konsentrasi CO₂ meningkat maka peran dari etilen akan digantikan oleh CO₂ tersebut sehingga pematangan terhambat.
3. Kondisi lingkungan, seperti suhu, kadar oksigen dan lain sebagainya.

Sedangkan untuk pemberian etilen eksogen, perlu diperhatikan beberapa hal misalnya:

1. Penyemprotan tanaman dengan menggunakan etilen jangan di posisi tangkai. Sebab dapat menyebabkan buah menjadi rontok.
2. Penyemprotan hanya dapat dilakukan pada buah yang masak secara fisiologis. Jika buah yang belum masak secara fisiologis diberi etilen maka rasa dan aroma buah kurang baik.
3. Penyemprotan dilakukan sebaiknya pada pagi hari yakni pukul 9-10. Jika terlalu pagi maka akan banyak pula embun sehingga nanti menjadi tidak efektif.

BAB 6. ASAM ABSISAT

6.1 Sejarah Asam Absisat

Pada tahun 1950-an hingga 1960-an muncul pengetahuan mengenai hormon pada tumbuhan yang dapat meningkatkan pertumbuhan seperti auksin, giberelin dan sitokinin. Hal ini yang kemudian mendorong pemikiran mengenai hormon yang dapat menghambat pertumbuhan pada tanaman. Contoh kasus seperti batang yang terhenti pertumbuhannya, biji yang mengalami dormansi pada musim gugur dan musim dingin, biji masak yang dormansi, daun yang mengalami penuaan (*senesen*) dan buah yang telah masak jatuh. Para ahli kemudian membuat ekstrak dari beberapa bagian tumbuhan yang kemudian diujikan untuk menghambat kuncup istirahat, perkecambahan pada biji dan semuanya menunjukkan hasil yang positif.

Fredrick Addicott merupakan orang yang pertama kali berhasil mengisolasi senyawa absisin I dan absisin II dari tanaman kapas pada tahun 1963. Kemudian ditahun 1976 senyawa absisin II tersebut dikenal dengan nama asam absisat (ABA). Senyawa tersebut lah yang menyebabkan terjadinya pengguguran buah dan daun pada kapas. Pada saat yang sama dilakukan pula penelitian oleh Philp Wareing dan Van Stevemick terkait asam absisat. Peneliti tersebut berhasil menemukan bahwa asam absisat ini terdapa pada semua jaringan tanaman dan dapat dipisah dengan cara kromatografi. Tahun 1965 seorang ahli berhasil menemukan “dormin” yang berasal dari pohon Ara (*Acer pseudoplatanus*). Apabila daun pepohonan yang aktif tumbuh (*flush*) diberikan dormin maka mata tunasnya akan mengalami dormansi. Kelompok peneliti lain juga melakukan penelitian lanjutan terakait asam absisat dengan cara mengisolasi senyawa penyebab gugurnya buah tanaman *Lupin luteus*. Hingga pada akhirnya dormin serta senyawa yang dapat menggugurkan buah pada tanaman Lupin memiliki

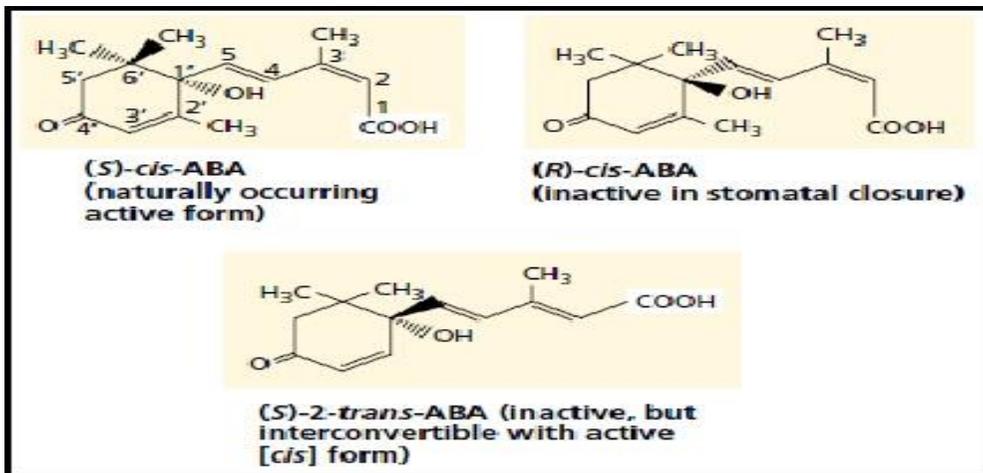
kesamaan dengan asam absisik II. Sehingga banyak yang mengartikan asam absisat sebagai senyawa inhibitor B kompleks yang memberikan pengaruh dalam pertumbuhan, absisi dan dormansi.

6.2 Pengertian Hormon Asam Absisat

Pada bab-bab sebelumnya telah dijelaskan mengenai hormon-hormon yang terdapat pada tumbuhan yang dapat merangsang pertumbuhan meliputi auksin, sitokinin, giberelin dan etilen. Terdapat satu hormon yang berperan dalam proses penghambatan pertumbuhan pada tanaman. Menurut Campbell *et al* (2008) dalam siklus hidupnya, tumbuhan selalu memiliki masa dimana pertumbuhannya diperlambat dan mengambil masa istirahat (dormansi) guna memperoleh keuntungan. Berbeda dengan golongan hormon tumbuhan lainnya, asam absisat merupakan hormon yang kerjanya menghambat pertumbuhan dan bersifat antagonis dengan golongan hormon lainnya (seperti auksin dan giberelin). Sebab hormon auksin memiliki peran dalam menstimulasi pembelahan dan pemanjangan sel, sedangkan giberelin berperan dalam mengakhiri masa dormansi biji yang terpenuhi oleh asam absisat.

Asam absisat memberikan pengaruh yang sangat nyata dalam pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Asam absisat berkerja bersama dengan ZPT lain yang sifatnya antagonis. Misalnya asam absisat menjadi penghambat kerja dari IAA dalam hal mendorong pembengkakan koleopil *Avena* sp. Apabila IAA yang diberikan lebih banyak lagi, maka pengaruh dari asam absisat tersebut dapat dihilangkan. Tetapi dalam hal perkecambahan biji beberapa spesies misalnya selada, kerja dari asam absisat tersebut tidak dapat dihambat hanya dengan cara pemberian IAA, diperlukan adanya zat pengatur tumbuh lain, seperti sitokinin dan giberelin.

Asam absisat tergolong kedalam molekul seskuiterpenoid (molekul dengan jumlah atom karbon (C)nya 15) dan tergolong kedalam hormon tumbuhan. Sesuai dengan namanya, hormon ini memiliki peran dalam proses absisi pada tanaman. Absisi adalah proses pemisahan bagian tumbuhan seperti daun, bunga, buah dan batang secara alami. Proses absisi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti panas, dingin, kekeringan dan sebagainya. Selain menghambat pertumbuhan, asam absisat yang terdapat pada tunas terminal suatu tumbuhan juga mampu membentuk sisik untuk pelindung tunas selama masa dormansi. Sisik yang terbentuk merupakan hasil transformasi dari primordia daun. Asam absisat juga dapat memperlambat proses pembelahan pada sel kambium pembuluh. Maka dapat disimpulkan bahwa asam absisat membantu mempersiapkan pertumbuhan tanaman pada musim dingin dengan cara menghambat pertumbuhan primer maupun sekunder.



Gambar 50. Struktur Kimia dari ABA

Sumber : Taiz dan Zeiger (2002)

Banyak yang menyebut asam absisat sebagai hormon stres. Hal tersebut disebabkan karena asam absisat akan diproduksi dalam jumlah yang besar saat tanaman berada dalam kondisi stres/cekaman/kondisi rawan.

Stres/cekaman/kondisi rawan diantaranya tanaman kekurangan air, suhu yang terlalu tinggi/terlalu rendah, tanah yang sangat asin (bergaram) dan lain sebagainya. Asam absisat lah yang membantu tanaman dalam menghadapi situasi tersebut.

Keberadaan asam absisat pada tanaman akan mengalami peningkatan pada keadaan stress fisik maupun kimia kemudian segera turun kembali setelah stress tersebut hilang. Pada saat mengalami stres air, daun akan kehilangan turgornya dan kemudian akan layu, akibatnya asam absisat akan meningkat dan stomata menutup. Apabila tanaman tersebut diberikan air maka tekanan turgor pada daun akan kembali normal dan konsentrasi asam absisat kembali turun kembali. Hal ini mendukung fakta bahwa asam absisat pada suatu tanaman terbentuk pada keadaan stress. Asam absisat tersebut akan diuraikan dan dinaktifkan jika tidak ada “stress” lagi.

6.3 Macam-Macam Hormon Asam Absisat

Asam absisat secara alamiah dapat diperoleh dari proses biosintesis dalam tubuh tumbuhan sendiri (secara endogen) maupun melalui luar tubuh tumbuhan melalui campur tangan manusia (secara eksogen). Setiap spesies tumbuhan mengandung hormon asam absisat didalam tubuhnya yang didapat melalui serangkaian proses. Selain pada tumbuhan, asam absisat juga dapat diperoleh secara alamiah dari alga coklat dan cendawan. Sedangkan secara eksogen (non-alami) asam absisat yang diberikan bisa berupa asam absisat sintetik maupun asam absisat hasil pengekstrakan dari beberapa spesies tanaman.

6.4 Biosintesis Hormon Asam Absisat

Asam absisat merupakan senyawa sesquiterpenodi (senyawa yang terdiri dari 15 karbon) yang sebagian besar disintesis melalui jalur mevalonat pada tumbuhan secara alami. Asam absisat dihasilkan secara langsung dari farnesul difosfat yang merupakan molekul isoprenoid. Proses biosintesis melalui jalur mevalonat terjadi di dalam kloroplas maupun plastida lainnya. Sehingga dapat diketahui bahwa tempat utama biosintesis asam absisat adalah didaun. Selain didaun tempat produksi dari asam absisat juga dapat terjadi di batang, akar ataupun buah hijau. Pada daun terdapat 3 tempat yang berperan dalam biosintesis asam absisat yakni (1) Sitosol sebagai tempat sintesis, (2) kloroplas sebagai tempat akumulasi dan (3) dinding sel, asam absisatnya ini berasal sel mesofil daun (tempat asam absisat disintesis).

Faktor yang menjadi pemicu asam absisat di sintesis adalah cekaman atau tekanan, misalnya kekurangan air ataupun temperatur yang terlalu tinggi.

Proses biosintesis asam absisat dalam tubuh tumbuh melalui beberapa proses, yakni:

1. Proses biosintesis asam absisat sebagian besar terjadi secara tidak langsung melalui produksi karetenoid. Karetenoid merupakan salah satu pigmen yang terdapat didalam kloroplas dan memiliki 40 karbon. Proses perubahan karetenoid menjadi asam absisat terjadi di plastida, lalu tahapan berikutnya terjadi di sitosol. Mekanisanya sebagai berikut:

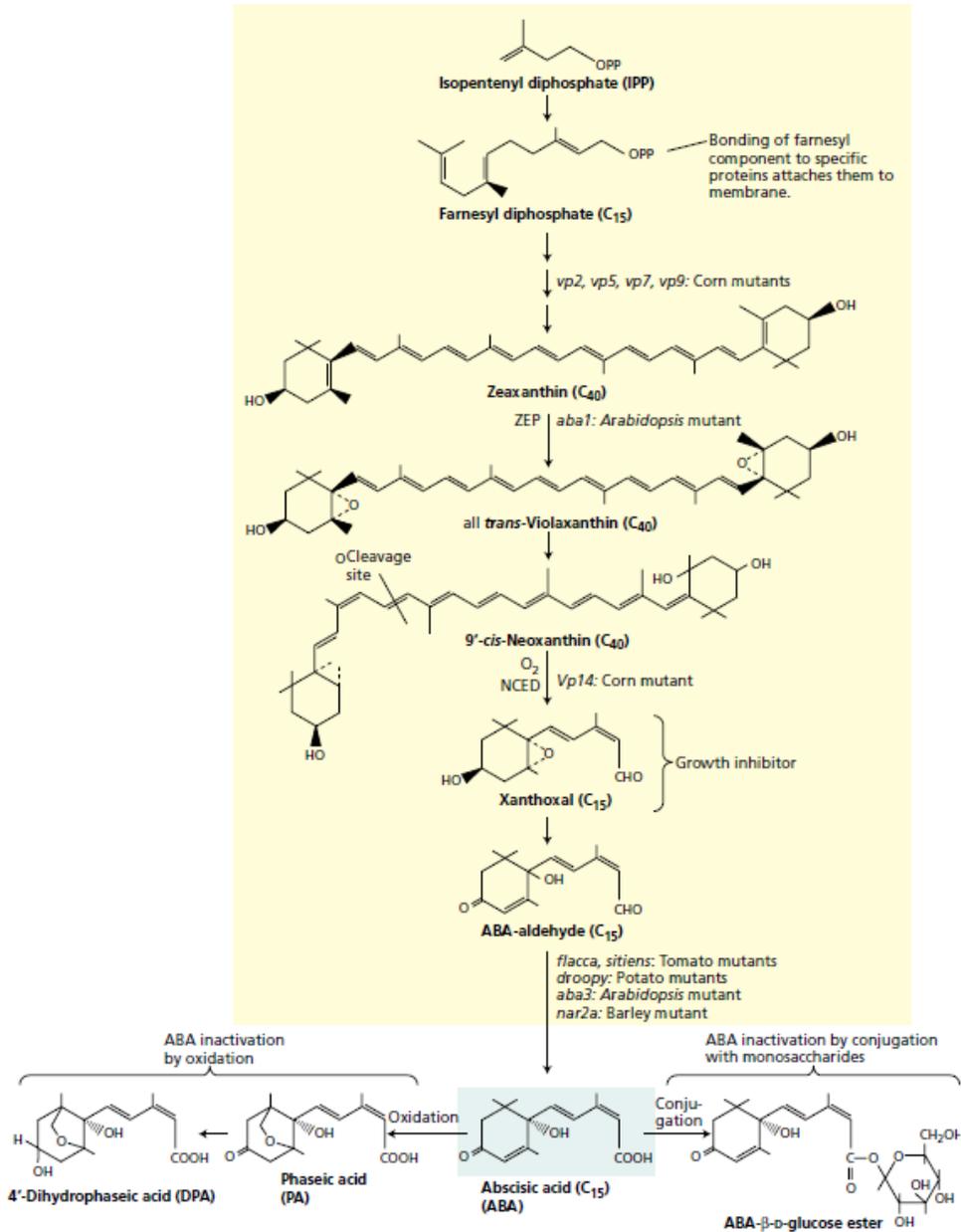
- a. Jenis karetenoid yang memiliki 40 karbon adalah violaxanthin.
- b. 2. Senyawa tersebut kemudian diisomerisasikan yang kemudian diikuti dengan reaksi oksidasi.
- c. Satu molekul violaxanthin dapat dihasilkan satu molekul xanthin. Sedangkan untuk biproduk sisanya tidak diketahui apa yang terjadi.

- d. Molekul xanthonin yang dihasilkan tersebut bersifat tidak stabil dan dapat berubah menjadi asam absisat aldehid secara spontan.

2. Melalui rangkaian reaksi kimia sebagai berikut:

- a. Melalui jalur asam mevalonata : Asam mevalonat → farnesylpyrofosfat → asam absisat. Selain melalui jalur asam mevalonat (MVA) jalur lain yang dapat ditempuh adalah jalur metiliteritol fosfat (MEP).
- b. Melalui jalur violoxanthin : Violoxanthin → Xanthoxin → asam absisat – cahaya.

Adanya aktivitas molekul merupakan pertanda adanya oksidasi lebih lanjut dari asam absisat. Aktivitas molekul ini terjadi melalui dua metode. Pada metode pertama, keterikatan antara glukosa menjadi asam asetat membantu ester asam absisat dan glukosa. Pada metode kedua, asam absisat akan dioksidasi menjadi asam phaseic dan asam dihidrophaseic.



Gambar 51 Biosintesis dan metabolisme ABA

Pada tumbuhan tingkat tinggi, ABA disintesis melalui jalur terpenoid. Beberapa mutan yang kekurangan ABA telah membantu dalam menjelaskan jalur yang ditunjukkan pada langkah-langkah yang diblokir. Jalur untuk katabolisme ABA termasuk konjugasi untuk membentuk

ester ABA- β -D-glukosil atau oksidasi membentuk asam fase dan kemudian dihydrophaseicAC id. ZEP = zeaxanthin epoxidase; NCED = 9-cis-epoxycarotenoidsdioksigenase.

6.5 Proses Pengangkutan Hormon Asam Absisat

Pergerakan asam absisat didalam tumbuhan sama seperti pergerakan dari giberelin, yakni diangkut melalui sel-sel parenkim yang terdapat diluar pembuluh, pembuluh floem serta pembuluh xilem. Pengangkutan asam absisat tersebut pada umumnya menuju kedaun tepatnya dalam penutup stomata. Dekonsentrasi biasanya terjadi di daun akibat adanya perbedaan yang kegaraman (salinitas) yang signifikan. Begitupula dari daun ke akar lalu ke batang dalam proses penghambatannya penambahan panjang dan lebar batang tanaman.

Terdapat perbedaan transportasi (pengangkutan) asam absisat pada beberapa spesies tanaman dalam siklus hidupnya. Asam absisat yang dibawa oleh xylem dan floem biasanya dimanfaatkan oleh daun muda. Daun tua berfungsi sebagai penghasil asam absisat yang diangkut ke luar daun.

6.6 Fungsi dan Aktifitas Hormon Asam Absisat

Berikut adalah beberapa fungsi dan aktifitas dari hormon absisat bagi tumbuhan:

1. Dormansi Biji

Asam absisat memiliki peranan yang sangat penting dalam menstimulasi dormansi pada biji. Biji yang berada dalam kondisi istirahat (dorman) tidak melakukan aktivitas pertumbuhan dan aktivitas fisiologisnya terhenti untuk sementara. Dormansi merupakan hal yang penting bagi benih yang tidak ingin berkecambah pada waktu yang tak

diinginkan, khususnya bagi tanaman dwi musim. Biji dari tanaman dwi musim memerlukan cadangan makanan yang cukup banyak sepanjang musim dingin ataupun musim panas (Devi, 2013).

Banyak faktor yang menyebabkan suatu benih tanaman menjadi dormansi, salah satunya kuit biji yang keras. Akibat yang ditimbulkan dari kulit biji yang keras ialah sebagai berikut (1) menyulitkan proses penyerapan air; (2) radikula akan mengalami kesulitan dalam menembus kulit biji tersebut sehingga dibutuhkan enzim perusak dinding sel pada kulit biji; (3) kurangnya O₂ (oksigen) akibat gangguan pertukaran gas; (4) Keluarnya inhibitor dari benih akibat adanya retensi inhibitor kulit biji; (5) Memungkinkan kandungan inhibitor yang tinggi (termasuk ABA) dalam mantel biji dan pericarp yang mampu menekan perkecambahan dari embrio.

Kerja asam absisat dalam hal dormansi berlawanan dengan kerja dari giberelin. Giberelin merupakan hormon yang dapat mengakhiri masa dormansi pada suatu tanaman. Biji akan berkecambah jika asam absisat inaktif dan giberelin meningkat. Perbandingan konsentrasi asam absisat dan konsentrasi giberelin dalam suatu biji tanaman dapat dijadikan patokan untuk mengetahui apakah biji tersebut dorman atau berkecambah. Interaksi antara asam absisat dan giberelin merupakan hal yang sangat menarik. Giberelin berperan dalam mendorong pembentukan emzil amilase serta enzim-enzim hidrolisis lainnya yang terletak di aleuron biji barley, sedangkan asam absisat justru menghambat pembentukan enzim-enzim tersebut. Akan tetapi, penghambatan oleh asam absisat tersebut dapat diiadakan dengan cara pemberian giberelin lebih banyak.

Selama proses pematangan biji, beberapa spesies tanaman biasanya melakukan penimbunan asam absisat yang dapat menyebabkan biji

menjadi dormansi. Cara yang dapat dilakukan untuk mendorong perkecambahan pada benih ialah dengan metode stratifikasi (suhu rendah dan basah). Saat proses tersebut berlangsung kandungan dari asam absisat akan mengalami penurunan sebaliknya giberelin justru mengalami peningkatan.

Penelitian yang dilakukan oleh Wareing dan kawan-kawannya menunjukkan bahwa asam absisat dapat meningkat tajam pada bagian kuncup dan daun, tepatnya saat hari mulai pendek diakhir musim panas ketika kuncup sedang dorman. Ketika asam absisat tersebut diberikan dikuncup yang tidak normal, kuncup tersebut akan menjadi dorman. Namun saat dilakukan penelitian lanjutan, banyak yang menyakal peranan dari asam absisat tersebut.

Banyak yang lebih meyakini bahwa asam absisat yang diberikan pada kuncup dapat memperlambat bahkan menghentikan pertumbuhan bukan sebagai pendorong perkembangan sisik kuncup. Asam absisat bergerak menuju kuncup saat masa dormansi dimulai dalam jumlah yang kecil. Asam absisat yang terdapat pada kuncup jumlahnya tidak akan meningkat meskipun diberi perlakuan hari pendek.

Selama dua dasawarsa ini telah banyak kajian mengenai pengaruh asam absisat terhadap dormansi biji. Jenis asam absisat yang menjadi penghambat bagi kebanyakan spesies tanaman adalah asam absisat eksogen. Jumlah asam absisat dapat mengalami penurunan ketika dormansi akan berakhir dengan bantuan cahaya dan suhu yang rendah.

2. Proses Pengguguran (Absisi)

Asam absisat adalah penyebab dari gugurnya daun dan buah pada suatu tumbuhan (absisi). Jika asam absisat pada tumbuhan bekerja maka secara otomatis kegiatan dalam sel akan berkurang

bahkan bisajadi terhenti. Salah satu aktivitas sel yang akan terhenti adalah pengangkutan nutrisi ke bagian tubuh tumbuhan salah satunya ke daun. Daun yang kekurangan nutrisi akan menjadi kering dan kemudian rontok. Keringnya daun merupakan pertanda bahwa penguapan yang dilakukan lebih besar dibanding asupan air yang masuk.

Pemberian asam absisat eksogen tidak efektif dalam proses pengguguran jika dibandingkan etilen eksogen. Dengan kata lain asam absisat tidak berperan secara langsung dalam proses pengguguran. Asam absisat berperan secara langsung dalam penuaan premature pada sel-sel organ tumbuhan yang akan gugur dan hal itu menyebabkan terjadi peningkatan produksi etilen.

3. Regulasi Stomata

Membuka dan menutupnya stomata sangat dipengaruhi oleh kerja dari asam absisat. Asam absisat akan menurunkan tekanan osmotik dalam sel sehingga sel menjadi turgor dan stomata akan tertutup. Sehingga hilangnya cairan akibat transpirasi dapat dicegah. Tertutupnya stomata akan berlangsung sesuai dengan lamanya waktu yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk memetabolisme asam absisat.

4. Mempengaruhi Perkembangan Embrio pada Biji

Terdapat 3 fase utama dalam proses perkembangan embrio, yakni (1) mitosis dan diferensial sel, (2) pembesaran sel dan penimbunan cadangan makanan dan (3) pematangan, biji mengering dan mnejadi dorman (istirahat). Jika embrio yang setengah matang diambil lalu dikembangkan secara invitro ternyata embrio tersebut tetap dapat tumbuh berkembang menjadi kecambah. Lalu muncul

pertanyaan mengenai penyebab embrio tidak dapat berkecambah dalam buah yang lembab pada tumbuhan induk sebelum embrio tersebut kering dan matang. Jawabannya berkaitan dengan kerja asam absisat. Banyak peneliti yang kemudian melakukan penelitian terkait hal tersebut dengan cara:

- a. Mengukur efek yang ditimbulkan oleh asam absisat terhadap perkecambahan dan pertumbuhan biakan embrio.
- b. Menentukan tingkat asam absisat endogen selama masa perkembangan berlangsung.
- c. Mencari tahu tingkatan asam absisat didalam biji vivipari jagung dan pada muatan sintesis asam absisat. Terjadinya arabadopsis menyebabkan konsentrasi asam absisat diseluruh bagian tumbuhan menjadi rendah.

5. Menghambat GA perantara sintesis α -amilase.

GA dan asam absisat saa-sama tergolong kedalam hormon tumbuhan yang disintesis diplastida. Kedua hormon ini saling menghambat kerja satu sama lain. Saat GA mengaktifkan sel-sel aleuron untuk membentuk enzim α -amilase maka asam absisat akan menghambat proses tersebut dengan cara menghambat proses penerjemahan mRNA. Selain itu asam absisat juga akan melepaskan asam lemak rantai pendek guna menghambat GA3 dalam menginduksi amilosis pada endosperm.

6. Mempertahan viabilitas benih pada saat disimpan.

Seperti yang telah diketahui bahwa asam absisat berperan dalam melindungi (proteksi) bagi embrio somatik terhadap kehilangan air yang berlebihan dan mampu meningkatkan angka survival saat

digenerasi membentuk individu baru. Asam absisat yang diberikan dalam teknik enkapsulasi dapat mempertahankan biji anggrek sintetik dalam kondisi viabilitas meski disimpan dalam kondisi yang lama. Biji anggrek yang disimpa teresbut juga mengalami pertumbuhan panjang tunas (Mulyawati *et al*, 2016).



Gambar 52. Biji Anggrek yang diberi Asam Absisat

7. Mempengaruhi pembungaan tanaman.
8. Menghambat pembelahan sel pada kambium pembuluh.

6.7 Peranan Asam Absisat dalam Menghadapi Cekaman

1. Cekaman Kekeringan

Kekeringan pada tanaman dapat menyebabkan konduktansi stomata menurun, laju fotosintesis menurun, peningkatan sintesis dari asam absisat, sorbitol, oroline, mannitol, serta beberapa senyawa pengendali radikal dan meningkatkan sintesis protein baru serta mRNA. Saat menghadapi kekeringan, biasanya asam absisat yang terdapat pada tanaman akan bekerja dengan cara menutup stomata. Terjadinya penutupan pada stomata bertujuan untuk mencegah agar tanaman tidak kehilangan cairan dalam jumlah banyak pada saat proses transpirasi

dengan cara penurunan tekanan osmotik. Selain itu asam absisat juga akan membentuk lapisan lilin atau lapisan epikutikula untuk mencegah hilangnya cairan pada tanaman saat kekeringan. Saat kekeringan, asam absisat juga akan menstimulasi pengambilan air melalui akar (Sujina dan Ali, 2016).

Maka dapat dikatakan bahwa asam absisat merupakan isyarat kepada daun ketika air tanah mulai habis. Hilangnya turgor pada sel menyebabkan munculnya isyarat yang ditujukan ke membran plasma agar membantu sintesis asam absisat melalui pengaktifan beberapa gen inti. Membran plasma nantinya akan mengangkat Ca^{2+} menuju dalam sel secara cepat. Ca^{2+} akan bekerjasama dengan fosfoinositol dalam mentransduksi sinyal untuk mengaktifkan sintesis asam absisat.

Saat mengalami cekaman kekurangan air biasanya kandungan asam absisat dalam daun tumbuhan monokotil dan dikotil dapat meningkat. Saat ini para ahli telah melakukan penelitian untuk mengukur konsentrasi asam absisat yang terdapat dalam sel penjaga stomat dengan uji-imun yang berkaitan dengan enzim. Kondisi cekaman air dapat meningkatkan konsentrasi asam absisat setidaknya 20 kali hingga 8 femotogram per sel (1 fg = 10^{-55} g). Contohnya pada daun *Phaseolus vulgaris*, saat berada dikondisi kekurangan air dalam kurun waktu 90 menit maka asam absisat akan meningkat dari yang awalnya 15mg/kg menjadi 175 mg/kg. Tumbuhan yang berada didalam kondisi cekaman air, konsentrasi asam absisatnya akan meningkat hingga 50 kali lipat dalam kurun waktu 4-8 jam sebagai bentuk respon dari meningkatnya laju biosintesis asam absisat. Jika tanaman tersebut diberikan air kemabali sebelum cekaman dalam kurun waktu 4-8 jam maka konsentrasi asam absisatnya akan kembali menurun (laju

biosintesis asam absisat kembali menurun). Selain itu, asam absisat juga diproduksi dalam jumlah yang banyak di akar dan diangkut melalui xylem menuju daun untuk membantu stomata menutup. Saat tanaman kekurangan air, proses fotosintesis juga akan terhenti sehingga pertumbuhan tajuk juga terhambat, akan tetapi pertumbuhan akar tidak terhambat (terus berlangsung).

Selain pada biji yang mengalami cekaman, biji yang mengalami perkemabangan juga memiliki asam absisat dalam konsentrasi tinggi mencapai 100 kali lipat. Semakin dewasanya biji maka kandungan asam absisat juga akan semakin menurun. Sebab saat dewasa tumbuhan dapat menghasilkan makanan bagi dirinya sendiri sehingga tumbuhan menjadi lebih kuat dan penyerapan air oleh akar berjalan semakin optimal.



Gambar 53. Tumbuhan yang mengandung asam absisat (A) dan tumbuhan yang tidak mengandung asam absisat (B). Pada tanaman A terlihat hanya terdapat kecambah sedangkan pada tanaman B pertumbuhannya berjalan dengan cepat

Agar produk dari hasil teknik kultur *in vitro* dapat ditanam secara langsung pada lahan tanam atau dapat disimpan dalam masa penyimpanan jangka panjang maka diperlukan adanya teknik enkapsulasi. Teknik enkapsulasi dikenal pula dengan istilah biji sintetik karena memiliki kemiripan secara fisik dengan bentuk dari biji zigotik. Biji sintetik sangatlah cocok digunakan pada biji tanaman yang tidak memiliki endosperm (cadangan makan) yang cukup salah satunya tanaman anggrek. Pemanfaatan jangka panjangnya juga dapat digunakan sebagai penyimpanan dari plasma nutfah.

Guna menekan pertumbuhan dari biji sintetik dilakukan perlakuan awal berupa desikasi (pengurangan kadar air pada biji sintetik) dengan cara menambahkan senyawa yang fungsinya sejalan terhadap kondisi cekaman, yakni asam absisat. Pemberian asam absisat pada teknik enkapsulasi dapat mempertahankan biji sintetik anggrek rerap berada dalam kondisi yang memiliki viabilitas meskipun disimpan lama. Asam absisat yang diberikan ini diharapkan bisa memberikan perlindungan pada embrio somatik saat kehilangan air secara berlebihan dan meningkatkan survival saat diregenerasi membentuk individu.

Contoh Pengaplikasian

Keberhasilan masa simpan dari biji sintetik tersebut diwujudkan dalam penundaan perkecambahan selama masa penyimpanan dan kemampuan biji berkecambah setelah rehidrasi. Penyimpanan kering dapat menunda terjadinya perkecambahan biji sintetik guna meningkatkan masa simpannya. Pemberian asam absisat dengan konsentrasi rendah yakni 5 mg/L menunjukkan kemampuannya

dalam menjaga viabilitas dari biji sintetis tanaman anggrek selama masa simpan kering (Muliawati *et al*, 2016)



Gambar 54. Biji Sintetis Anggrek yang diberi Asam absisat

2. Cekaman Suhu Rendah (Musim Dingin)

Dalam menghadapi cekaman berupa suhu rendah (musim dingin) asam absisat akan menghambat dan menghentikan pertumbuhan sekunder dan primer pada tanaman. Asam absisat kebanyakan dihasilkan pada bagian tunas terminal suatu tumbuhan. Asam absisat tersebut berfungsi untuk memacu perkembangan primordia daun menjadi sisik guna melindungi tunas yang dorman selama musim dingin.

Contoh Pengaplikasian

Saat ini para peneliti di Indonesia sedang gencar-gencarnya melakukan penelitian konservasi. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk konservasi plasma nutfah secara *ex situ* yang aman, murah dan metodenya tersebut dapat diterima dalam konservasi material genetik adalah dengan memperhatikan cara penyimpanan biji. Biji belimbing

(*Averrhoa carambola*) yang disimpan selama 1 bulan pada suhu dingin (5°C) dengan kadar air 40% serta biji yang disimpan pada ruang/ normal (27-30°C) memperlihatkan kualitas yang sama baiknya.

Protein LEA merupakan salah satu faktor yang berperan dalam respon tumbuhan, yang dalam hal ini biji terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem salah satunya suhu dingin. Pada saat kondisi yang mencekam tersebut maka asam absisat akan menginduksi terbentuknya protein LEA. Sehingga semakin mencekam lingkungannya, maka kandungan dari asam absisatnya akan meningkat dan diiringi dengan peningkatan protein LEA (Ali dan Nisyawati, 2016).

3. Cekaman Garam (Salinitas) Tinggi

Asam absisat yang tinggi pada daun merupakan akibat dari adanya induksi garam yang tinggi dibagian akar tumbuhan. Rawan garam menyebabkan terbentuknya beberapa protein baru pada tanaman. Protein yang dibentuk tersebut merupakan protein yang memiliki berat molekul rendah yang dikenal dengan nama osmotin. Misalnya pada tembakau, rawan garam akan menyebabkan asam absisat mendorong pembentukan osmotin melalui efek pada saat transkripsi. Tanaman memerlukan garam untuk mempertahankan sintesis osmotin. Adanya asam absisat eksogen dan tak adanya garam menyebabkan tingkat osmotin tinggi namun hal tersebut hanya berlangsung singkat.

Contoh Pengaplikasian

Pemberian kombinasi NaCl dan urea efektif secara sinergistik dalam meningkat pertumbuhan tanaman karet (*Havea brasiliensis*). Pemberian

NaCl yang dalam hal ini garam dapur dapat merangsang produksi dari hormon asam absisat dan keracunan Na^+ . NaCl yang diberikan pada suatu tumbuhan akan menyebabkan tumbuhan tersebut menjadi sukar menyerap air yang ujung-ujungnya tanaman akan mengalami cekaman kekeringan. Cekaman terhadap air terjadi karena potensial air pada tumbuhan dengan air tanah sangat rendah. Akibatnya, asam absisat akan menghambat pembukaan stomata sehingga pertumbuhan dari tanaman terganggu dan tanaman menjadi cepat tua. Parameter yang digunakan untuk mengetahui kombinasi NaCl dan Urea dalam menyimpan bibit tanaman karet adalah rasio pupus akar dan laju tumbuh relatif. Dengan memberikan perlakuan 24,5 gr NaCl dan urea 7-14 g per polibagnya telah mampu merangsang pertumbuhan tanaman karet salam 70 hari (Nasamsir, 2013).

BAB 7. SENYAWA ORGANIK PADA TANAMAN YANG MEMILIKI AKTIVITAS BIOLOGIS SEPERTI FITOHORMON

Selain fitohormon (auksin, sitokinin, giberelin, etilen dan asam absisat) yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya, tanaman juga mengandung senyawa-senyawa organik yang memiliki aktivitas biologis seperti fitohormon. Aktivitas biologis tersebut diketahui melalui uji yang dilakukan pada sel, jaringan maupun organ tanaman. Beberapa senyawa tersebut diantaranya :

1. Fenolik

Senyawa fenolik merupakan senyawa yang dapat ditemukan pada setiap tanaman. Bentuk dari senyawa fenolik sangatlah beragam, ada yang seperti katekol, asam kafeik, aeskulin maupun anthosianidin serta senyawa-senyawa kompleks lainnya. Fenolik merupakan pigmen warna (biru, merah, jingga dan kuning). Akibatnya fenolik memiliki fungsi dalam pewarnaan tajuk bunga, daun serta jaringan-jaringan pada tanaman. Senyawa fenol berada di alam dalam bentuk yang terikat dengan gula berupa bentuk glukosida (anthosianidin + gula = antosianin). Beberapa jenis fenol yang berfungsi dalam melindungi tanaman dari serangan cendawan dan bakteri (berperan sebagai fungisida dan bakterisida).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian berbagai senyawa-senyawa fenolik eksogen (sintetik) justru dapat menghambat sitokinesis, pembesaran sel, perkecambahan dan pertumbuhan dari biji. Sedangkan untuk senyawa fenolik eksogen hingga kini masih terus dilakukan penelitian mengenai pengaruhnya bagi tanaman.

2. Vitamin

Pada bab pertama telah disebutkan bahwa banyak orang yang menyatakan bahwa vitamin dapat digolongkan kedalam fitohormon, padahal keduanya sangatlah jauh berbeda. Pelarut vitamin ada 2, yakni air dan lemak. Vitamin yang larut dalam lemak adalah vitamin A (carotene), vitamin D, vitamin E, vitamin F, vitamin K dan vitamin Q (ubiquinone). Sedangkan kelompok vitamin yang larut dalam air diantaranya vitamin B mencakup vitamin B1 (thiamine), vitamin B2 (Riboflavin), vitamin B6 (pyrodoxine) dan vitamin B12 (kobalamin); biotin, asam folat, asam pentanoat dan nicotinamide.

Vitamin B merupakan golongan dari vitamin yang bertugas menjadi koenzim dalam proses metabolisme sel, contohnya enzim karboksilase yang tersusun dari thiamin pirofosfat sebagai bahan aktifnya, NAD dan NADP yang tersusun atas nicotinamide serta koenzim A yang tersusun dari asam pantothenat. Vitamin K memiliki peran penting pada saat transpor elektron ketika tanaman melakukan fotosintesis. Jumlah vitamin yang sedikit pada tumbuhan disebabkan karena vitamin berperan sebagai ko-faktor dalam reaksi enzimatik.

3. Cyclitols

Air kelapa yang telah banyak dipergunakan oleh masyarakat sebagai ZPT karena mengandung hormon sitokinin (dominan), auksin serta sedikit giberelin ternyata juga mengandung senyawa cyclitols. Jenis cyclitols yang dikandungnya adalah suelonositol dan myoinositol yang jumlahnya cukup tinggi. Salah satu jenis senyawa cyclitols yang terkenal adalah inositol. Perpaduan antara fraksi yang terdapat didalam air kelapa dengan inositol

mampu mendorong pertumbuhan kalus dari wortel dan beberapa spesies tanaman lain. Selain bekerjasama dengan fraksi yang terdapat didalam air kelapa. Inositol juga dapat bekerjasama dengan fitohormon lain seperti auksin, siotkinin (jenis kinetin) dalam menginduksi kalus tanaman.

Selain itu, inositol juga memiliki perann dalam proses seperti dalam hal pembelahan sitokinesis. Inositol juga dapat mengubah glukosa menjadi asam galakturonat dan glukaronat. Dimana dinding sel primer pada tanaman disusun oleh kedua jenis asam tersebut.

4. Triacontanal (TRIA)

S.K. Ries yang berasal dari Michigan State University pada tahun 1977 melalui penelitiannya berhasil mengetahui bahwa bubuk dari daun alfalfa yang diberikan ke tanah dapat mempercepat pertumbuhan dan meningkatkan produksi dari tanaman padi, gadung, jagung, wortel, kedelai dan tomat. Pada peneltian selanjutnya Ries bersama dengan temannya berhasil menemukan senyawa alkohol alifatik yang berantai panjang yakni 1-hidroksi triacontane dalam daun alfalfa tersebut.

5. Bassinolide

John W. Mitchell seorang peneliti dari Amerika berhasil menemukan pada tepung sari bunga rape (*B. napus*) yang mampu mendorong pertumbuhan dari suatu tanaman. Hal tersebut dibuktikan dari pemberian ekstrak dari bunga rape yang dapat mendorong pertumbuhan dari kecambah buncis, lobak, ketang dan selada. Senyawa tersebut dikenal dengan nama bassinolide yang dapat aktif bekerja dalam konsentrasi rendah.

6. Hormon Bunga

Seorang ahli fisiologi dari Uni Soviet yang bernama M.Kh. Chailakan memberikan nama pada zat pendorong dan pengontrol pembungaan yang ditranslokasikan ke dalam tanama dengan nama florigen. Para peneliti mendapatkan bahwa ternyata florigen tersebut dapat mendorong pembungaan. Sangat disayangkan ternyata peneliti tersebut belum menemukan cara untuk mengisolasi serta identifikasi pada zat tersebut. Uji coba dengan menggunakan ekstrak suatu tanaman belum dapat membuktikan jumlah florigen endogen yang terkandung dalam tanaman. Hal ini menyebabkan florigen dianggap sebagai hal yang tentative hingga saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamwoski, M. Dan Friml, J. 2015. PIN-dependent auxin transport : action, regulation and evolution. *The Plant Cells*. 27(1): 20-32.
- Adnan., Boy. R.J. dan Muhammad, Z. 2017. Pengaruh Konsentrasi dan Lama Perendaman dalam ZPT Auksin terhadap Viabilitas Benih Semangka (*Citruillus lunatus*) Kadaluarsa. *Jurnal penelitian Agrosamudra*. 4(1): 45-57.
- Ali, A. dan Nisyawati. 2016. Viabilitas Biji Belimbing (*Averrhoa carambola* L.) Kultivar Dewa Baru Asal Kecamatan Cimanggis Depok pada Berbagai Suhu Penyimpanan. *Jurnal Pro-Life*. 3(3): 195-211.
- Asif, M. 2012. Phyico-chemical properties and toxic effect of fruit-ripening agen calcium carbide. *Annals of Tropical Medicine and Public Health*. 5(3): 150.
- Asra, R. 2014. Pengaruh Hormon Giberelin (GA3) Terhadap Daya Kecambah dan Vigoritas *Calopogonium caeruleum*. *Jurnal Biospecies*. 7(1): 29-33.
- Asra, R dan Ubaidillah. 2012. Pengaruh Konsentrasi Giberelin (GA3) terhadap Nilai Nutrisi *Clapogonium caeruleum*. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan*. 15(2): 81-85.
- Arnita,R. 2008. Pengaruh Konsentrasi Sitokinin dan Takaran Pupuk Ogranik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Pule Pandak (*Rauwolfia mangostana* L.) Benth. Ex Kurz. *Skripsi*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Asmano, S.L., V.K. Sari dan R. Wardana. 2017. Respons Pertumbuhan Tunas Mikro Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) Secara *In Vitro* pada

- Beberapa Jenis Sitokinin Dan Konsentrasi Air Kelapa. *Jurnal Agrin*. 21(2) : 116-124.
- Azwar. 2008. Artikel : Air Kelapa Pemacu Pertumbuhan Anggrek. <http://www.azwar.web.ac.id>. Diakses tanggal 21 Mei 2018.
- Campbell, N. A. & J. B. Reece. 2008. *Biologi Edisi Kedelapan Jilid 3*. Terjemahan: Damaring Tyas Wulandari. Jakarta: Erlangga.
- Elfadhila. 2013. *Air Kelapa*. Artikel. Diakses tanggal 23 Maret 2018.
- Ergun, N., Topcuoglu, S.F. dan Yildiz, A. 2002. Auxin (indole-3-acetic acid), Gibberellic acid (GA3), Abscisic acid (ABA) and cytokinin (Zeatin) Productio by Some Species of Mosses and Lichens. *Turkish Journal of Botany*. 26(1): 13-18.
- Davies, P.J. 2004. *Plants Hormones : Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. USA : Kluwer Academia Publishers.
- Devi, L.R.L. 2013. Pematihan Dormansi dan Perkecambahan Biji Kopi Liberika (*Coffea liberica* L.) dengan Asam Sulfat (H₂SO₄) dan Gibberelin (GA₃). *Jurnal Probiot*. 5(1): 1-8.
- Dewi, I.R. 2008. Peran dan Fungsi Hormon Bagi Pertumbuhan Tanaman. *Artikel*. Bandung: Universitas Padjajaran.
- Febriyanti, N.P.K. 2016. Induksi Pertumbuhan Tunas dari Eksplan Anggrek (*Dendrobium heterocarpum* Lindl.) dengan Pemberian Hormon Zeatin dan NAA. *Skripsi*. Bali : Universitas Udayana.
- George, E.F. dan Sherrington, P.D. 1984. *Plant propagation by tissue culture*. Inggris : Springer.

- Hastuti, E.D. 2002. Fitohormon : Laboratorium Biologi Struktur dan Fungsi Tumbuhan. *Handbook*. Semarang : Biologi MIPA UNDIP.
- Hopkins, W.G. 2008. *Introduction to Plant Physiology*. Singapura : John Willey and Sons, Inc.
- Hismarto, B. 2015. Pengaruh Pemberian Auksin Sintetik Asam Naftelan Asetat terhadap Pertumbuhan Mikroalga (*Nannochloropsis oculata*). *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 3(2): 179-186.
- Intan, R. D. A. 2008. *Peranan dan Fungsi fitohormon Bagi Pertumbuhan Tanaman*. Bandung : Universitas Padjajaran.
- Karimah, A., S. Purwanti dan R.Rogomulyo. 2013. Kajian Perendaman Rimpang Temulawak (*Curcuma xanthoriza* Roxb.) dalam Urin Sapi dan Air Kelapa Untuk Mempercepat Pertunasan. *Jurnal Vegetalika*. 2(2) : 3-4.
- Kimia Indonesia. 2011. Redaksi Kimia Indonesia *Fitohormon : sitokinin* kimia indonesia. [25 April 2018].
- Kristina, N.N. dan S.F. Syahid. 2012. Pengaruh Air Kelapa Terhadap Multiplikasi Tunas *In Vitro*, Produksi Rimpang dan Kandungan Xanthorrhizol Temulawak di Lapangan. *Jurnal Littri*. 18(3) : 125-134.
- Kukreja, K., Suneja, S., Goyal, S. and Narula, N. 2004. Phytohormone production by azotobacter- a review. *Agric. Rev.*, 25 (1) : 70 - 75, 2004.
- Liu, F. 2012. Plant hormonal and growth response to soil compaction. *Paper presentatation on Plante Kongres*. www.plantekongres.dk.

- Mahfudza, Erika., Mukarlina dan R. Linda. 2018. Perbanyak Tunas Pisang Cavendish (*Musa acuminata* L.) Secara *In Vitro* dengan Penambahan *Napthaeene Acetic Acid* (NAA) dan Air Kelapa. *Jurnal Probiot.* 7(1) : 78-79.
- Mahdi, I., Wan, S. dan Suci, A. 2015. Kultur Jaringan Jeruk Kasturi (*Citrus microcarpa*) dengan Menggunakan Hormon Kinetin dan Naftalena Acetil Acid (NAA). *Jurnal Dinamika Pertanian* . 30(1): 37-44.
- Manurung,D.E.B., Y.B.S. Heddy dan D. Hariyono. 2017. Pengaruh Pemberian Air Kelapa pada Beberapa Batang Atas terhadap Pertumbuhan Bibit Karet (*Havea brasiliensis* Muell.Arg.) Hasil Okulasi. *Jurnal Produksi Tanaman.* 5(4) : 686-694.
- Murtadha, A., Elisa, J., dan Ismed, S. 2012. Pengaruh Jenis Pemacu Pematangan terhadap Mutu Buah Pisang Barangan (*Musa paradisiaca* L.). *Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian.* 1(1): 37-56.
- Mulyawati, E., Anggarwulan, E., dan Pitoyo, A. 2016. Pengaruh Asam Absisat terhadap Viabilitas Biji Sintesis *Grammatophyllum scriptum* (Orchidaceae) Selama Masa Penyimpanan Kering. *Jurnal Bioteknologi.* 13(1): 1-8.
- Nasamir. 2013. Efek Pemberian Kombinasi Garam Dapur dan Pupuk Nitrogen terhadap Pertumbuhan Bibit Karet (*Hevea brasilliensis* Muell.Arg.) di Polibag. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi.* 13(4): 74-80.

- Nour, I.A.M and Abu, B. 2010. Effect of Ethrel in Aqueous Solution and Ethylene Release From Ethrel on Guava Fruit Ripening. *Agriculture and Bioogy Journal of North America*. 1(3): 232-237.
- Patma, U., Lollie A.P.P & Luthfi A.M.S. 2013. Respon Media Tanam dan Pemberian Auksin Asam Asetat pada Pembibitan Aren (*Arenga pinnata* Merr.) *Jurnal Online Agroektoreknologi*. 1(2): 286-295.
- Pertiwi, P., Agustiansyah & Y. Nurmiati. 2014. Pengaruh Giberelin (GA3) terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.). *Jurnal Agroteknologi Tropika*. 2(2): 267-281.
- Purdyaningsih, E. 2013. *Kajian Pengaruh Pemberian Air Kelapa dan Urine Sapi Terhadap Pertumbuhan Stek Nilam*. Balai besar Perbenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan.
- Rachamn, S.D., Zakiyah, M. dan Ukun, M.S.S. 2017. Alga Merah (*Gracilaria coronopifolia*) Sebagai Sumber Fitohormon Sitokinin yang Potensial. *Chimica et Natura Acta*. 5(3): 124-131.
- Ramadhani, N., Purwanto, Y.A dan Poerwanto, R. 2015. Pengaruh Durasi Pemaparan Etilen dan Suhu *Degreening* Untuk Membentuk Warna Jingga Jeruk Siam Banyuwangi. *Jurnal Holtikultura*. 25(3): 277-286.
- Rostiana, O dan Deliah, S. 2007. Pengaruh *Indole Butyric Acid* dan *Naphthaleine Acetic Acid* terhadap Induksi Perakaran Tunas Piretrum [(*Chrysanthemum cinerariifolium* (Trevir.)Vis.] Klon Prau 6 Secara *In Vitro*. *Bul Litro*. 18(1): 39-48.
- Rivai, R.R dan Hendra, H. 2015. Induksi Kalus *Chrysanthemum indicum* Untuk Meningkatkan Keragaman Genetik dari Sel Somatik. *Proseding Seminar Nasiosal Biodiversitas Indonesia*. 1(1): 167-170.

- Sakakibara H. 2005. Cytokinins Biosynthesis and Regulation. *Vitamins and Hormones*, vol. 72. doi:10.101650083-6729(05)72008-2.
- Sauer, M., Robert, S., & Klein, V.J. 2013. *Auxin : Simply Complicated*. Departement of Forest and Plant Physiology, Agricultral. Swedish University.
- Smith, R. H. 2013. *Plant tissue culture: techniques and experiments*. Academic press. Texas.
- Sujina dan Ali, M. 2016. Mekanisme Respon Tanaman Padi terhadap Cekaman Kekeringan dan Varietas Toleran. *Jurnal IPTEK tanaman Pangan*. 11(1) : 1-8
- Singal, S., M. Kumud dan S. Thakral. 2012. Application of Apple as Ripening Agent for Banana. *Indian Journal of Natural Product and Resources*. 3(1): 61-64.
- Tan,S.N., J.W.H. Yoong and L.Ge. 2014. Analyses of phytohormones in cocounat (*Cocus nucifera* L.) water using capillary electrophoresistandem mass spectrometry. *Chromatography*. 1(4) : 211-216.
- Tahta, K. Dan Enny, Z. 2015. Potensi *Azetobacter* sebagai Penghasil Hormon IAA (*Indole-3-acetic-acid*). *Artikel*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Taiz, L. & E. Zeiger. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc, Sunderland: xxvi + 764 hlm.
- Untari, R. 2006. Pengaruh Jenis Media Organik dan NAA Terhadap Pertumbuhan Anggrek Hitam (*Coelogyne pandrata Lindl.*) dalam Kultur In Vitro. *Skripsi*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.

Wiraatmaja, I. 2017. Zat Pengatur Tumbuh Auksin dan Cara Penggunaannya dalam Bidang Pertanian. *Bahan Ajar*. Bali : Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Udayana.

EPIOLOG

Hormon berasal dari salah satu kosakata bahasa Yunani (bahasa Gerika) yakni *Hormein* yang berarti menggerakkan. Tumbuhan menghasilkan hormon dalam jumlah yang sedikit namun dapat memberikan kerja yang efektif bagi sel target. Hormon tumbuhan (fitohormon) merupakan senyawa organik (non-nutrisi) yang disintesis pada bagian tertentu disuatu tumbuhan kemudian ditranslokasikan ke bagian lain pada tumbuhan. Bagian tumbuhan yang ditranslokasikan tersebut akan memberikan respon baik secara fisiologis, morfologis maupun biokimia. Berdasarkan fungsinya hormon pada tumbuhan terbagi menjadi 2 jenis, yaitu hormon yang berperan dalam memacu pertumbuhan (misalnya: auksin, sitokinin, giberelin dan etilen) dan hormon yang berperan dalam menghambat pertumbuhan (misalnya : asam abisat).

Buku ini lebih memfokuskan pada setiap jenis hormon yang terdapat pada tumbuhan meliputi sejarah penemuan, macam-macam hormon alami dan sintetik, proses biosintesis, proses pengangkutan, fungsi dan aktivitas serta faktor-faktor yang mempengaruhi kerja dari setiap hormon tumbuhan. Buku ini juga dilengkapi oleh beberapa contoh pengaplikasian hormon dalam penelitian. Selain mengkaji hormon, buku ini juga membahas beberapa senyawa organik pada tumbuhan yang memiliki aktivitas biologis seperti fitohormon. Semoga buku ini memberikan manfaat yang berlimpah bagi para pembaca.

GLOSARI

A

Absisi	Kejadian alamiah pada suatu tumbuhan yang ditandai dengan lepasnya bagian tertentu dari tumbuhan.
Asam absisat	molekul seskuiterpenoid (molekul dengan jumlah atom karbonnya 15) yang memiliki peran utama dalam proses absisi
Akar Adventif	Bentuk dari modifikasi akar dalam merespon stimulus eksternal; akar yang berkembang dari bagian tertentu pada suatu tanaman (non-akar).
Akropetal	Pengangkutan yang arah angkutnya dari bagian bawah menuju bagian atas dan tidak memerlukan energi (non-metabolik) contohnya difusi.
Auksin	Senyawa kimia pada tumbuhan yang berepran dalam mendorong terjadinya pemanjangan pada kuncup dari suatu koleoptil.
Autolisis	Mekanisme hancurnya sel yang berujung pada kematian sel dengan menggunakan enzim yang terdapat dalam sel itu sendiri.

B

<i>Balting</i>	Inisiasi awal dari proses pembungaan pada suatu tanaman.
Basipetal	Pengangkutan yang arah angkutnya dari bagian atas (pucuk) menuju ke bagian bawah dan cara ini bersifat polar (memerlukan energi yang berasal dari metabolisme).

Biosintesis Proses pembentukan hormon pada tumbuhan dari senyawa-senyawa sederhana maupun dari hasil intermediate dari proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh tumbuhan.

D

Degreening Proses perubahan warna pada buah menjadi kuning akibat dari rusaknya/ dirombaknya klorofil (zat hijau daun) pada tumbuhan.

Diferensiasi Sel Perubahan sel dari yang kurang spesifik menjadi lebih spesifik akibat dari adanya ekspresi gen pada sel tersebut.

Dormansi Suatu keadaan dimana organisme hidup berhenti tumbuh (istirahat) akibat dari adanya kondisi yang tidak mendukung untuk pertumbuhan.

E

Eksplan Bagian dari suatu tanaman yang dipotong dan dipergunakan dalam kultur jaringan sebagai bahan inokulasi/ induksi/ inisiasi.

Embriogenesis Tahapan pembentukan serta perkembangan dari embrio yang terjadi setelah sel dibuahi (terjadinya fertilisasi).

Epinasti Gerakan pada tangkai daun yang berupa bengkokan kearah bawah sehingga mengakibatkan ujung daun juga ikut membengkok ke arah tanah

Etilen Senyawa hasil dari reaksi pembakaran tidak sempurna dari senyawa yang memiliki banyak ikatan karbon seperti minyak bumi, gas alam maupun batu bara yang

berwujud gas dan berperan dalam proses pematangan buah.

Etiolasi

Pertumbuhan yang terjadi sangat cepat pada tanaman yang ditanam ditempat gelap (tanpa cahaya) akan tetapi kondisi tanaman akan menjadi lemah, daun berukuran kecil dan berwarna coklat serta batang menjadi lemah (tidak kokoh).

F

Fitohormon

Senyawa organik non-nutrisi yang diproduksi pada bagian tertentu dari tanaman, ditranslokasikan ke bagian lain kemudian dapat memberikan respon khusus baik itu respon fisiologis, biokimia maupun morfologis.

Fototropisme

Salah satu bentuk gerak pada tumbuhan yang gerakannya menuju ke arah datangnya cahaya atau sinar

G

Giberelin

Senyawa yang tergolong kedalam diterpenoid tetrasiklik yang memiliki rangka *ent-gibberalene* yang disebut *ent-kaurene* berpengaruh dalam proses perkembangan dan perkecambahan pada suatu tanaman saat bekerjasama dengan matahari

Geotropisme

Gerakan tumbuhan yang arah geraknya menuju ke arah pusat gravitasi bumi.

H

Herbisida

Bahan yang dipergunakan untuk menekan serta membasmi gulma (tumbuhan penyebab terjadinya penurunan hasil).

Hidrolisis Reaksi kimia yang berupa reaksi pemecahan molekul air (H_2O) menjadi hidrogen (H^+) dan hidroksida (OH^-) dan terjadi secara bertahap.

Hormon Senyawa organik non-nutrisi yang diproduksi oleh suatu bagian tubuh dalam konsentrasi kecil dan diangkut kebagian lain yang nantinya dapat mempengaruhi sel ataupun organ target sebagai bentuk dari respon fisiologis.

I

Inhibitor Senyawa organik yang dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dan tidak mampu mendorong pertumbuhan koltanaman pada konsentrasi berapapun

Imbibisi Peristiwa masuknya air ke dalam benih melalui pori-pori guna mematahkan dormansi dan memacu terjadinya perkecambahan.

K

Kalus Kumpulan dari sel-sel amorphpus (sel yang belum mengalami diferensiasi) yang terbentuk karne adanya pembelahan sel yang terus menerus secara *in vitro*.

Konjugat Bagian yang menempel dengan enzim dalam suatu reaksi, biasanya berupa antigen atau antibodi.

Koleoptil Selaput pada tumbuhan yang berperan dalam menyelubungi jaringan di bagian ujung/ pangkal daun pertama pada embrio tumbuhan yang berasal dari suku *Germinae*

Katalisator Suatu zat yang membantu dalam mempercepat laju reasi kimia tanpa ikut terlibat dalam reaksi tersebut.

M

Morfogenesis Proses dari pertumbuhan serta diferensiasi pada masing-masing sel hingga menjadi jaringan lalu menjadi organ dan berujung menjadi organisme yang kompleks.

Meristem Jaringan pada tumbuhan yang tersusun atas sel-sel yang aktif dalam melakukan pembelahan.

Metabolisme Reaksi-reaksi kimia yang terjadi didalam tubuh makhluk hidup baik itu reaksi pembentukan maupun reaksi perombakan suatu senyawa.

Morfogenetik Rangkaian peristiwa dalam proses pembentukan sesuatu.

N

Nutrisi Unsur senyawa kimia yang diperlukan oleh tumbuhan untuk proses dan pertumbuhan.

O

Oksidasi Peristiwa berupa penggabungan suatu senyawa atau suatu zat dengan O₂ (Oksigen) yang ditandai dengan terjadinya pelepasan elektron.

Organogenesis Proses dalam pembentukan organ pada makhluk hidup yang diawali dengan terbentuknya embrio kemudian terjadi transformasi dan diferensiasi hingga menjadi fetus.

P

Poliploidi Kelainan pada sel yang dicirikan dengan inti sel yang lebih dari satu (banyak)

Partenokarpi	Proses pembentukan buah yang terjadi tanpa adanya proses penyerbukan sehingga tidak ada pembuahan
Parenkim	Salah satu jaringan dasar yang terdapat pada tumbuhan dan memiliki fungsi sebagai penyimpan cadangan makanan.
Proliferasi	Fase diaman sel akan mengalami pengulangan dalam siklus selnya tanpa mengalami gangguan maupun hambatan oleh inhibit.
Pertumbuhan	Perubahan secara fisiologis pada makhluk hidup yang bersifat kuantitatif (dapat diukur) dan bersifat sementara.
Perkembangan	Perubahan pada suatu individu yang bersifat kontinyu (berkesinambungan) dan progresif sejak individu tersebut lahir hingga mengalami kematian.
Perkecambahan	Tahapan awal dalam rangkaian pertumbuhan individu pada suatu tumbuhan yang dicirikan dengan keluarnya radikuel pada benih.
Prekursor	Bahan utama atau bahan dasar dalam proses biosintesis.
R	
Regulator	Pengatur dalam rangkaian proses regulasi.
Respon	Tanggapan/ simulasi/ jawaban terhadap sitmulus yang diberikan.

S

Senesen Tahapan akhir dari rangkaian perkembangan tumbuhan dari dewasa hingga hilangnya fungsi serta pengorganisasian yang mengarah pada kematian organ maupun organisme.

Sitokinin Hormon yang terdapat pada tumbuhan dan berperan besar dalam memacu terjadinya pembelahan pada sel (sitokinesis).

Sitokinesis Proses pembelahan yang terjadi pada sel.

Statolit Berbagai komponen bahan cair maupun bahan padat yang terpengaruhi oleh gravitasi bumi.

Statosit Berbagai komponen bahan cair maupun bahan padat yang tidak terpengaruhi oleh gravitasi bumi.

V

Viabilitas Kemampuan hidup yang dimiliki oleh sebuah benih yang ditunjukkan melalui gejala tumbuh ataupun metabolisme.

Vitamin Senyawa organik yang diproduksi pada bagian tertentu oleh suatu tumbuhan dan aktif bekerja pada bagian tersebut juga (tidak terjadi translokasi) dalam jumlah yang kecil.

INDEKS

**Skematis Produksi Giberlin pada Biji Berley dan
Mekanismenya dalam Memecahkan Dormansi Biji**

A

Absisi	35, 88, 93, 99, 114
Air kelapa	45, 46, 55, 56, 107
Akar Adventif	114
Akropetal	21, 114
Asam absisat	93, 94, 97, 98, 99, 100, 103, 104, 114
Auksin 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 21, 22, 24, 27, 28, 29,30, 32, 33, 35,36, 37, 53, 54, 59, 77, 109, 110, 112, 113, 114	
Autolisis	114

B

<i>Balting</i>	72, 114
Basipetal	21, 22, 114
Bassinolide	107
Biosintesis	14, 16, 21, 47, 48, 66, 69, 70, 82, 84, 94, 96, 114
Bunga	33, 45, 108

C

Cyclitols	107
-----------	-----

D

<i>Degreening</i>	88, 112, 114
diferensiasi	3, 4, 6, 7, 14, 17, 45, 52, 55, 66, 70, 75, 77, 116,117
Diferensiasi Sel	54, 114
Dominansi Apikal	6, 56
Dormansi	74, 97, 110, 114

E

Eksplan	31, 110, 115
Embriogenesis	115
Epinasti	90, 115
Etilen	5, 7, 12, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 90, 112, 115
Etiolasi	115

F

Fenolik	106
Fitohormon	2, 6, 21, 110, 111, 112, 115
Fototropisme	35, 115

G

Geotropisme	6, 35, 115
Giberelin	5, 7, 33, 63, 64, 65, 66, 69, 70, 71, 73, 74, 76, 77, 98, 109, 110, 112, 115

H

Herbisida	115
Hidrolisis	116
Hormon	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 16, 21, 24, 27, 30, 36, 39, 40, 41, 42, 45, 47, 51, 52, 63, 64, 66, 70, 71, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 90, 92, 94, 97, 108, 109, 110, 111, 113, 116, 118

I

Imbibisi	116
Inhibitor	1, 116

K

Kalus	52, 112, 116
Katalisator	116
koleoptil	8, 9, 10, 11, 23, 26, 28, 35, 37, 90, 114

Koleoptil	8, 22, 37, 116
Konjugat	20, 51, 116

M

Marisetem	116
Maristem apikal	6, 7
Metabolisme	116
Morfogenesis	54, 116
Morfogenetik	116

N

Nutrisi	2, 109, 117
---------	-------------

O

Oksidasi	19, 117
Organogenesis	53, 117

P

Parenkim	117
Partenokarpi	33, 73, 117
Perkecambahan	76, 110, 117
Perkembangan	28, 59, 75, 77, 99, 117
Pertumbuhan	2, 3, 12, 27, 28, 32, 59, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 117
Prekursor	117
Proliferasi	117

R

Regulator	2, 117
Respon	4, 6, 11, 27, 34, 42, 71, 78, 112, 113, 117

S

Senesen	118
---------	-----

Sitokinesis	118
Sitokinin	5, 6, 21, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 51, 52, 54, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 66, 109, 112, 118
Statolit	118
Statosit	118

T

Tiacontanal	107
-------------	-----

V

Viabilitas	109, 111, 118
Vitamin	2, 106, 107, 118



Revis Asra, lahir di Sei. Pakning (Riau) pada tanggal 23 Januari 1973. Menyelesaikan Sekolah Dasar di Yayasan Pendidikan Putri Tujuh (YPP-7) Pertamina UP 2 Sei. Pakning yang saat ini sekolah tersebut sudah berganti nama menjadi SD YKPP (Yayasan Kesejahteraan Pegawai Pertamina) pada tahun 1985 selanjutnya SMP YPP-7 tamat tahun 1988 dan SMA Negeri 2 Padang tahun 1991. Pendidikan Strata 1 ditempuh di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Andalas, Padang pada tahun 1996. Selama menempuh pendidikan S1, penulis juga aktif di organisasi mahasiswa sebagai Bendahara Umum Senat Mahasiswa FMIPA, Universitas Andalas. Pada tahun 1997-1999 Program Magister (S2) di Jurusan Biologi FMIPA, Institut Teknologi Bandung (ITB) melalui beasiswa Karyasiswa, Program Development Undergraduate Education (DUE) Project DIKTI. Program Doktor (S3) diikuti pada tahun 2009-2012 di Prodi Biologi, Pascasarjana Universitas Andalas, melalui beasiswa dari Kementerian Pendidikan Tinggi (DIKTI).

Pada tahun 2000-2018 menjadi tenaga pendidik di Fakultas Peternakan Universitas Jambi dan sejak tahun 2018-sekarang telah pindah ke Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi. Beberapa amanah tugas tambahan yang diberikan kepada penulis diantaranya:

1. Ketua Laboratorium Biologi, Unit Pelayanan MIPA (UP MIPA) Universitas Jambi, tahun 2006-2009.
2. Ketua Pusat Studi Pendidikan Masyarakat, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Jambi, 2016-2017.
3. Sekretaris Program Doktor (S3) Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (PMIPA), 2018.
4. Wakil Dekan Bidang Umum, Perencanaan dan Keuangan (BUPK), Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, 2018-sekarang.

Beberapa prestasi yang pernah penulis raih, diantaranya:

1. Juara 2 peserta kursus Analisa Dampak Lingkungan (AMDAL) Tipe A (2002).
2. Lulusan terbaik Program Doktor (S3) Program Pascasarjana Universitas Andalas (2013).

3. Presentasi terbaik pada Seminar Hasil Penelitian Pengabdian Masyarakat, Program Ipteks bagi Masyarakat (IbM), Kemenristekdikti (2016).
4. The best paper pada The 3rd International Conference on Science and Technology di Universitas Riau (2018)

Beberapa mata kuliah yang penulis ampu pada Prodi S1 Biologi antara lain: Fitohormon, Fisiologi Tumbuhan, Morfologi Tumbuhan, Struktur Perkembangan Tumbuhan, Sistematika Tumbuhan Tingkat Tinggi, Etnobotani dan Sistematika Tumbuhan Rendah. Program Studi S2 Pendidikan IPA mata kuliah yang diampu diantaranya: Biologi Lanjut 1 dan Pembelajaran serta Biologi Lanjut 2 dan Pembelajaran. Sementara pada Program Studi S3 Pendidikan MIPA, mata kuliah yang diampu: Etnosains. Penulis telah mempublikasi beberapa karya ilmiah diberbagai jurnal internasional bereputasi, internasional, jurnal nasional terakreditasi dan nasional. Aktif mengikuti berbagai konferensi Biologi baik tingkat internasional, nasional dan lokal. Serta menjadi reviewer pada beberapa jurnal internasional dan nasional.



Lahir di Desa Bah Raja Sibisa, pada tanggal 26 September 1972. Menamatkan SD Inpres Sibisa (1985), SMP Negeri 1 Panei Tengah (1988), SMANegeri 1 Pematang Siantar (1991), Program Sarjana di Prodi Pendidikan Biologi, FPMIPA, Universitas Negeri Medan pada tahun 1996. Pada tahun 1996-1997 mengikuti Program Pra-Magister di Institut Teknologi Bandung. Mengikuti Program Magsiter (S2) di Jurusan Biologi, FMIPA, Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 1997-1999. Program Doktor (S3) diikuti pada tahun 2010-2014 di

Prodi Biologi, FMIPA, Universitas Indonesia.

Pada tahun 2000-sekarang menjadi tenaga pendidik di Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP), Universitas Kristen Indonesia (UKI), Jakarta. Beberapa mata kuliah yang diampu antara lain: Morfologi dan Sistemika Tumbuhan, Anatomi dan Fisiologi Tumbuhan, Etnobotani, Seminar Biologi, dan Metode Penelitian. Telah memublikasi beberapa karya ilmiah diberbagai jurnal internasional bereputasi, internasional, nasional dan nasional terakreditasi. Aktif mengikuti berbagi konferensi Biologi baik tingkat internasional, nasional dan lokal. Sebagai wujud tanggung jawab dalam pengembangan ilmu dalam bidang Biologi juga menjadi Pimpinan Redaksi Jurnal Pro-life. Fokus penelitiannya pada bidang etnobotani dan etnomedisin pada etnis Batak Sumatera Utara.



Ririn Ananda Samarlina, lahir di Jambi pada tanggal 11 Desember 1997. Penulis merupakan seorang mahasiswa Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi angkatan 2015. Penulis merupakan penerima Djarum Beasiswa Plus angkatan 33 (tahun 2017/2018), merupakan mahasiswa berprestasi utama (MAWAPRES I) Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi pada tahun 2018, Penulis pernah menjadi finalis 5 besar *writing competition* kategori sains dan teknologi se-Sumatera, Jabodetabek, dan Kalimantan bagian Timur tahun 2018, top 10 dalam *vlog competition YouTubber summit* se-Indonesia tahun 2018 dan penerima dana dalam kegiatan *community empowerment* se-Indonesia untuk Provinsi Jambi yang diberikan oleh Djarum Beasiswa Plus 2018. Aktif dalam kegiatan organisasi kampus (seperti BEM Universitas, himpunan mahasiswa) maupun organisasi luar kampus (*voluntreer* nasional di cinta buku dotcom), aktif sebagai asisten dalam sejumlah praktikum di prodi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi serta aktif dalam kepanatian diacara kampus (seperti Pengenakan Kehidupan Kampus di tingkat Universitas, Fakultas dan kegiatan Jambi Ramadhan Expo).

ISBN 978-623-7256-45-8

