

BAHAN AJAR

**ZAT PENGATUR TUMBUH AUKSIN
DAN CARA PENGGUNAANNYA
DALAM BIDANG PERTANIAN**



OLEH

**IR. I WAYAN WIRAATMAJA,MP.
NIP. 19590418 1986011001**

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS UDAYANA
2017**

KATA PENGANTAR

Atas berkat rahmat Tuhan Yang Maha Esa/Ida Sang Hyang Widhi Waca, maka bahan Ajar **“ZAT PENGATUR TUMBUH AUKSIN DAN CARA PENGGUNAANNYA DALAM BIDANG PERTANIAN”** ini dapat diselesaikan sesuai dengan rencana. Bahan Ajar ini disusun berdasarkan atas pertimbangan bahwa selama ini mahasiswa merasa kesulitan mendapatkan bahan bacaan yang sifatnya mudah dicerna dan mudah dipahami, karena bahan bacaan tentang zat pengatur tumbuh Auksin yang tersedia sebagian besar berupa teks book yang isinya terkadang sangat kompleks dan umumnya dalam bahasa inggris, sehingga relatif sulit dipahami oleh mahasiswa S-1.

Kami menyampaikan terima kasih kepada semua pihak, terutama kepada rekan-rekan staf dosen Program Studi Agroekoteknologi dan Dekan Fakultas Pertanian Universitas Udayana atas segala bantuannya, baik moril maupun dorongan semangat sehingga penyusunan Bahan Ajar ini dapat diselesaikan dengan baik.

Denpasar, April 2017
Penyusun

DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
I. PENDAHULUAN.....	1-4
II. AUKSIN.....	5-36
III.CARA PENGGUNAANNYA DALAM BIDANG PERTANIAN.....	37-42
DAFTAR PUSTAKA.....	43

I. PENDAHULUAN

1.1 Pengertian Zat Pengatur Tumbuh

Istilah zat pengatur tumbuh tanaman sudah sangat populer dikalangan petani. Namun istilah zat pengatur tumbuh tanaman tersebut dikaburkan dengan istilah fitohormon, vitamin dan nutrisi, karena sesungguhnya terdapat perbedaan.

1. Zat Pengatur Tumbuh Tanaman (ZPT)/*plant growth substances* merupakan senyawa organik bukan nutrisi tanaman yang aktif dalam konsentrasi rendah (dapat < 1 mM) merangsang, menghambat atau merubah pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan secara kuantitatif maupun kualitatif. Bisa dihasilkan oleh tanaman (alami/endogen) atau sintetis (eksogen).
2. Hormon adalah senyawa-senyawa organik yang efektif dalam konsentrasi rendah, dibuat di dalam sel pada bagian tertentu dari organisme, diangkut ke bagian lain dari organisme tersebut, lalu menghasilkan proses fisiologi yang khusus.
3. Fitohormon adalah senyawa organik bukan nutrisi tanaman yang aktif dalam jumlah yang sangat kecil, diproduksi pada bagian tertentu dalam tumbuhan atau tanaman dan umumnya ditranslokasikan ke bagian lain. Zat tersebut menimbulkan tanggapan khusus secara biokimia, fisiologis atau morfologis.
4. Vitamin adalah senyawa organik yang diproduksi tumbuhan, aktif dalam jumlah kecil, umumnya tidak ditranslokasikan. Dengan kata lain daerah tempat produksi adalah daerah tempat kerjanya.
5. Nutrisi adalah unsur atau senyawa kimia yang diperlukan untuk metabolisme dan pertumbuhan.

Kriteria yang dapat dipakai untuk membedakan antara ZPT, Fitohormon, Vitamin dan nutrisi adalah : (1) dihasilkan oleh tanaman

sendiri, (2) ditranslokasikan, dan (3) aktif dalam jumlah yang sangat kecil. Syarat-syarat fitohormon meliputi : (1) senyawa organik yang dihasilkan oleh tanaman, (2) aktif dalam konsentrasi yang rendah (10^{-5} s/d 10^{-6} mm), (3) dapat ditranslokasikan, dan (4) tempat sintesis dan aktivitas pada umumnya berbeda.

Berdasarkan definisi-definisi di atas, istilah hormon tidak hanya terkait dengan tumbuhan/tanaman tetapi juga menyangkut organisme lain. Sedangkan zat pengatur tumbuh tanaman cakupannya lebih luas dari fitohormon, dimana fitohormon hanya merupakan hormon tanaman yang diproduksi di dalam tubuh tanaman (alami/endogen), sedangkan ZPT selain menyangkut hormon tanaman endogen juga meliputi hormon tanaman yang diproduksi secara sintetik (eksogen). Perbedaan hormone tumbuhan dengan hormone hewan adalah hormon tumbuhan : (1) dihasilkan oleh setiap sel yang aktif bermetabolisme dan (2) tempat sintesis, pengangkutan dan respon bisa terjadi dalam satu sel, artinya aktivitas terjadi pada sel tempat sintesis atau sel disekitarnya. Sebagai contoh etilen dapat memacu pemasakan semua sel yang membuatnya dan sel lain yang ada disekitarnya. Sedangkan hormon hewan : (1) dihasilkan oleh sekumpulan sel tertentu (jaringan atau kelenjar), dan (2) tempat sintesis dan sasaran terpisah, dan dihubungkan oleh saluran pengangkutan.

Disamping itu, dengan batasan-batasan tersebut di atas, vitamin dan nutrisi tidak termasuk dalam hormon tanaman. Gula dan vitamin tidak termasuk fitohormon, sebab gula aktif dalam konsentrasi tinggi 10^{-3} mM, sedangkan vitamin tidak bisa ditranslokasikan.

Vitamin merupakan bahan organik yang aktif dalam jumlah kecil, tetapi umumnya tidak ditranslokasikan. Tempat sintesa dan tempat kerja adalah sama, atau tempat sintesa berada pada bagian yang sama

dalam tubuh tanaman. Demikian pula halnya dengan nutrisi. Nutrisi aktif dalam jumlah kecil, tetapi tidak dihasilkan oleh tanaman sendiri.

Perkembangan tanaman selain dipengaruhi oleh kandungan nutrisi tanaman (karbohidrat, protein, dan lemak), juga dipengaruhi oleh kandungan hormonal yang terkandung didalamnya. Hormon ini berperan sebagai pengendali.

Setiap jenis fitohormon mempunyai pengaruh yang khas, namun didalam tubuh tanaman terdapat berbagai jenis fitohormon sehingga responnya nanti sangat kompleks. Selain itu, setiap fitohormon memberi respon terhadap berbagai organ tumbuhan dan respon itu tergantung dari spesies, bagian tumbuhan, fase perkembangan, konsentrasi, interaksi antara fitohormon, dan lingkungan. Oleh karena itu, efek hormon tidak berlaku secara umum terhadap pertumbuhan dan perkembangan suatu organ atau jaringan tumbuhan tertentu. Hal ini sesuai dengan konsep ahli fisiologi tumbuhan yaitu Sachs, yang menyatakan bahwa jaringan yang berbeda akan memberikan respon yang berbeda terhadap zat kimia yang sama.

Supaya fitohormon itu dapat bersifat aktif dan khas, harus ada tiga bagian utama pada sistem respon, yakni:

1. Harus ada dalam jumlah yang cukup di sel yang tepat menjadi sasaran.
2. Harus dapat diikat oleh sel yang menjadi sasaran target.
3. Protein pengikat yang ada di sel sasaran setelah bersatu dengan hormon harus dapat merubah metabolik sehingga nanti akan menimbulkan respons.

1.2. Macam-Macam Fitohormon

Hormon tumbuhan (*phytohormones*) secara fisiologi adalah penyampai pesan antar sel yang dibutuhkan untuk mengontrol seluruh

daur hidup tumbuhan, diantaranya perkecambahan, perakaran, pertumbuhan, pembungaan dan pembuahan. Sebagai tambahan, hormon tumbuhan dihasilkan sebagai respon terhadap berbagai faktor lingkungan kelebihan nutrisi, kondisi kekeringan, cahaya, suhu dan stres baik secara kimia maupun fisik. Oleh karena itu, ketersediaan hormon sangat dipengaruhi oleh musim dan lingkungan.

Pada umumnya dikenal ada lima kelompok hormon tumbuhan atau jenis fitohormon, yaitu : 1) auxin, 2) giberelin, 3) sitokinin, 4) etilen, dan 5) ABA. Berdasarkan aktivitas fisiologisnya fitohormon dibagi menjadi dua kelompok, yaitu: 1) memacu pertumbuhan (promoter) seperti auxin, giberelin, dan sitokinin, 2) menghambat pertumbuhan (inhibitor) seperti etilen dan ABA. Namun demikian menurut perkembangan riset terbaru ditemukan molekul aktif yang termasuk zat pengatur tumbuh dari golongan zat penghambat tumbuh (growth retardant) dan polyamin seperti [putrescine dan spermidine](#).

II. AUKSIN

2.1. Jenis-Jenis Auksin

Auxin adalah hormon tumbuhan pertama yang diketahui, yang merupakan salah satu hormon tumbuh yang tidak terlepas dari proses pertumbuhan dan perkembangan (*growth and development*) suatu tanaman. Pengaruh auxin telah dipelajari pada abad ke-19 oleh ahli biologi, Charles Darwin. Dia melihat bahwa ketika benih rumput-rumputan bertambah panjang, benih itu membelok kearah datangnya cahaya. Dengan mempergunakan penutup yang tak tembus sinar, Darwin berhasil menunjukkan bahwa tempat yang peka terhadap cahaya adalah ujung apikal dari benih dan bukan bagian bawah tempat pembengkokan terjadi. Penelitian-penelitian yang dilakukan kemudian yaitu pada benih rumput dan gandum menunjukkan bahwa substansi yang dihasilkan pada ujung benih haruslah berdifusi dan bergerak dari ujung apikal dari benih ke sel-sel yang sedang memanjang di sebelah bawah. Percobaan menunjukkan bahwa jika ujung benih dipotong dan antara ujung dan bekas potongan ditaruh selapis gelatin, pembelahan masih terjadi. Ini menunjukkan bahwa substansi tersebut larut dalam air dan dapat bergerak melewati gelatin. Tetapi lapisan yang dibuat dari bahan berminyak atau mika tidak akan bisa ditembus oleh substansi itu. Pada percobaan lain, ujung benih dipotong dalam ruangan gelap ternyata benih masih tumbuh membengkok tetapi

pembengkokan selalu terjadi pada bagian yang tidak berhubungan. Dengan demikian tumbuhan membengkok disebabkan oleh penyebaran substansi pendorong tumbuh yang tidak merata, dimana sisi yang menerima lebih banyak akan tumbuh lebih cepat. Jika ujung batang dipotong dan tidak dikembalikan maka penambahan panjang benih akan terhenti. Ini menunjukkan bahwa substansi yang mendorong pertumbuhan berfungsi seperti hormon. Hormon ini diisolasi pada 1928 dan diberi nama auxin.

Selanjutnya sejumlah ujung benih seedling ditaruh dalam blok-blok agar, dan agar ini bisa menunjukkan terkumpulnya semua auxin yang keluar dari ujung benih. Ujung benih kemudian dibuang dan blok agar ditaruh pada batang benih yang ujungnya telah dipotong, auxin yang terdapat dalam agar adalah efektif dalam mendorong bermacam-macam fenomena tumbuh, termasuk pertumbuhan memanjang dan pembengkokan benih.

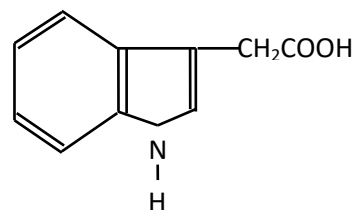
Di alam, stimulasi auxin pada pertumbuhan celeoptile ataupun pucuk suatu tanaman, merupakan suatu hal yang dapat dibuktikan. Praktek yang mudah dalam pembuktian kebenaran diatas dapat dilakukan dengan *bioassay method* yaitu dengan *the straight growth tests* dan *curvature test*.

Menurut Larsen (1944, dalam Arteca, 1996), indoleacetaldehyde diidentifikasi sebagai bahan auxin yang aktif dalam tanaman,

selanjutnya ia mengemukakan bahwa zat kimia tersebut aktif dalam menstimulasi pertumbuhan kemudian berubah menjadi IAA. Perubahan dari tryptophan menjadi IAA tryptamine sebagai salah satu zat organik, merupakan salah satu zat yang terbentuk dalam biosintesis IAA.

Auxin berasal dari bahasa Yunani *auxein*, yang berarti meningkatkan. Frits Went seorang mahasiswa pascasarjana di negeri Belanda pada tahun 1926 menemukan auxin jenis asam indoleasetat (IAA) pada ujung koleoptil *oat*. Namun beberapa ahli fisiologi menyatakan bahwa, tumbuhan juga mengandung tiga jenis auxin lain yang strukturnya mirip dengan IAA, yaitu:

- a. Asam 4 kloroindolasetat (4-kloro IAA), ditemukan pada biji muda berbagai jenis kacang-kacangan.
- b. Asam fenilasetat (PAA), ditemukan pada berbagai jenis tumbuhan.
- c. Asam indolbutirat (IBA), ditemukan pada daun jagung dan berbagai jenis tumbuhan dikotil.



Indole-3-acetic acid (IAA)

Berdasarkan bahan aktifnya, auxin dikelompokkan menjadi empat, yaitu, indole : IAA (Indole Acetic Acid), naftalen/NAA (Naftalena Acetic Acid), phenoksi/ 2,4 D (2,4 Dicloro phenoksi Acetic Acid), dan bensoat/TIBA (2,3,6 Tri Metil Bensoic Acetic Acid). Disamping itu, uksin dapat dibedakan menjadi auxin endogen (IAA) dan auxin sintetis, terdiri atas asam-asam indol (IAA, IBA), asam-asam naphtalen (NAA, NOA), asam-asam khlorophenoksi (2,4 D dan 2,4,5-T), asam-asam benzoic (Dicamba), dan asam-asam pikolinik (Tordon). Diantara berbagai jenis auxin sintetis tersebut, 2,4 D; 2,4,5-T, Dicamba dan Tordon adalah herbisida untuk gulma dikotil. Dalam konsentrasi tinggi senyawa-senyawa tersebut berfungsi sebagai herbisida, tetapi dalam konsentrasi rendah bersifat sebagai auxin.

Senyawa-senyawa yang aktif mempunyai fungsi sebagai auxin, syaratnya sebagai berikut :

1. Mengandung cincin.
2. Ada rantai samping.
3. Terjadi konfigurasi khusus antara rantai dan cincin.
4. Ada H bebas pada cincin dekat rantai samping.
5. Diperlukan ikatan tidak jenuh pada cincin.
6. Senyawa alamiah yang aktif adalah turunan Indol.
7. Adanya atom yang bermuatan negatif dan positif.
8. Jarak antara muatan positif dengan negatif adalah 5,5 AU.

Sedangkan hubungan antara struktur auxin dengan aktivitasnya adalah sebagai berikut :

1. Adanya gugusan OH pada rantai samping maupun pada cincin akan menurunkan aktivitas auxin, tetapi menaikkan kelarutannya dalam air.
2. Auxin harus mempunyai ikatan rangkap pada inti.
3. Aktivitasnya akan berkurang bila panjang rantai samping diperpendek.

2.2. Peranan Fisiologi Auxin

Auxin sebagai salah satu hormon tumbuh bagi tanaman mempunyai peranan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Secara umum dilihat dari segi fisiologi, hormon tumbuh ini berpengaruh terhadap :

- a. Pengembangan sel
- b. Phototropisme
- c. Geotropisme
- d. Apical dominansi
- e. Pertumbuhan akar (*root initiation*)
- f. Parthenocarpy
- g. Abisission

h. Pembentukan callus (*callus formation*) dan

i. Respirasi

a. Pengembangan Sel.

Pengembangan sel disebabkan oleh meningkatnya kadar gula dalam vakuola sel sehingga tekanan osmosisnya meningkat. Selain itu juga menyebabkan turunnya pH sel sehingga susunan dinding sel menjadi lebih teratur akibatnya dinding sel menjadi lebih elastis. Hal ini dapat dijelaskan melalui hipotesis pertumbuhan-asam, yaitu auxin akan mengeluarkan H^+ dan ion ini akan menurunkan pH sehingga terjadi pengenduran dinding sel. Dari hasil studi tentang pengaruh auxin terhadap perkembangan sel, menunjukkan bahwa terdapat indikasi yaitu auxin dapat menaikkan tekanan osmotik, meningkatkan permeabilitas sel terhadap air, menyebabkan pengurangan tekanan pada dinding sel, meningkatkan sintesis protein, meningkatkan plastisitas dan pengembangan dinding sel. Dalam hubungannya dengan permeabilitas sel, kehadiran auxin meningkatkan difusi masuknya air ke dalam sel. Hal ini terjadi karena auxin mendukung peningkatan permeabilitas masuknya air ke dalam sel.

b. Phototropisme

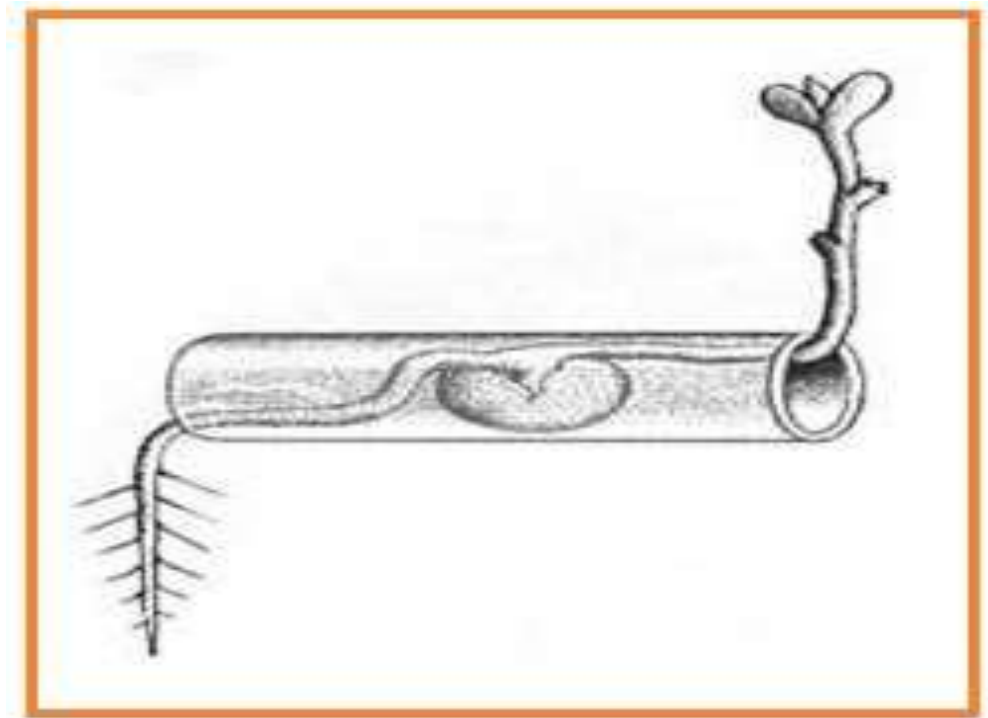
Fototropisme yaitu tumbuhnya tanaman ke arah datangnya sinar. Suatu tanaman apabila disinari suatu cahaya, maka tanaman tersebut akan membengkok ke arah datangnya sinar. Membengkoknya tanaman tersebut adalah karena terjadinya pemanjangan sel pada bagian sel yang tidak tersinari lebih besar dibanding dengan sel yang ada pada bagian tanaman yang tersinari. Perbedaan rangsangan (respon) tanaman terhadap penyinaran dinamakan phototropisme. Terjadinya phototropisme ini disebabkan karena tidak samanya penyebaran auxin di bagian tanaman yang tidak tersinari dengan bagian tanaman yang tersinari. Pada bagian tanaman yang tidak tersinari konsentrasi auxinnya lebih tinggi dibanding dengan bagian tanaman yang tersinari.



c. Geotropisme

Geotropisme yaitu tumbuhnya tanaman ke arah pusat gravitasi, atau pengaruh gravitasi bumi terhadap pertumbuhan organ tanaman. Bila organ tanaman yang tumbuh berlawanan dengan gravitasi bumi, maka keadaan tersebut dinamakan geotropisme negatif. Contohnya seperti pertumbuhan batang sebagai organ tanaman, tumbuhnya kearah atas. Sedangkan geotropisme positif adalah organ-organ tanaman yang tumbuh kearah bawah sesuai dengan gravitasi bumi. Contohnya tumbuhnya akar sebagai organ tanaman ke arah bawah. Keadaan auxin dalam proses geotropisme ini, apabila suatu tanaman (coleoptile) diletakkan secara horizontal, maka akumulasi auxin akan berada di bagian bawah. Hal ini menunjukkan adanya transportasi auxin ke arah bawah sebagai akibat dari pengaruh geotropisme. Untuk membuktikan pengaruh geotropisme terhadap akumulasi auxin, telah dibuktikan oleh Dolk pada (1936, dalam Wareing dan Phillips, 1970). Dari hasil eksperimennya diperoleh petunjuk bahwa auxin yang terkumpul di bagian bawah lebih banyak dibanding dengan bagian atas. Sel-sel tanaman terdiri dari berbagai komponen bahan cair dan bahan padat. Dengan adanya gravitasi maka letak bahan yang bersifat cair akan berada di atas, sedangkan bahan yang bersifat padat berada di bagian bawah. Bahan-bahan yang dipengaruhi gravitasi dinamakan

statolith (misalnya pati) dan sel yang terpengaruh oleh gravitasi dinamakan statocyste (termasuk statolith).



d. Apikal Dominansi.

Apikal dominansi auxin adalah pengaruh auxin dalam merangsang pertumbuhan tunas apikal. Sebagian besar spesies, pertumbuhan kuncup apikal akan menghambat kuncup samping. Di dalam pola pertumbuhan tanaman, pertumbuhan ujung batang yang dilengkapi dengan daun muda apabila mengalami hambatan, maka pertumbuhan tunas akan tumbuh ke arah samping yang dikenal dengan "tunas lateral" misalnya saja terjadi pemotongan pada ujung batang (pucuk), maka akan tumbuh tunas pada ketiak daun. Fenomena ini kita namakan "apical dominance". Hubungan antara auxin dengan apical

dominance pada suatu tanaman telah dibuktikan oleh Skoog dan Thimann (1975, dalam Weaver, 1972). Dalam eksperimennya, pucuk tanaman kacang (apical bud) dibuang, sebagai akibat treatment tersebut menyebabkan tumbuhnya tunas di ketiak daun. Dari ujung tanaman yang terpotong itu diletakan blok agar yang mengandung auxin. Dari perlakuan tersebut ternyata bahwa tidak terjadi pertumbuhan tunas pada ketiak daun. Hal ini membuktikan bahwa auxin yang ada di apical bud menghambat tumbuhnya tunas lateral.

e. Perpanjangan Akar

Dari hasil-hasil penelitian yang dilakukan para ahli, auxin berfungsi dalam perpanjanagan akar (root initiation) dalam hubungannya dengan pertumbuhan akar. Jenis auxin tersebut diantaranya NAA (Naphthalene acetic acid), IAA (Indole acetid acid) dan IAN (Indole-3-acetonitrile). Namun, pemberian konsentrasi IAA yang relatif tinggi pada akar, akan menyebabkan terhambatnya perpanjangan akar tetapi meningkatkan jumlah akar.

f. Pertumbuhan Batang

Di alam, hubungan antara auxin dengan pertumbuhan batang telah diketahui sangat erat sekali. Apabila ujung coleoptile dipotong, kemungkinan tanaman tersebut akan terhenti pertumbuhannya. Di dalam tanaman, jaringan-jaringan muda terdapat pada apical

meristem. Ada pendapat bahwa kandungan auxin yang paling tinggi terdapat pada pucuk yang paling rendah (basal).

g. Parthenocarp

Di alam sering kita menjumpai buah yang tidak berbiji seperti Anggur, Strawberry dan tanaman familia mentimun. Keadaan seperti ini disebabkan tidak dialaminya pembuahan pada perkembangan buah. Di dalam fisiologi, keadaan seperti ini dinamakan parthenocarp. Dalam proses parthenocarp, hormon auxin bertalian erat, dimana kandungan auxin pada ovary yang mengalami pembuahan (pollination) meningkat bila dibandingkan dengan ovary yang tidak mengalami pembengkakan dinding ovary. Parthenocarp dapat terjadi dengan menggunakan IAA yang dicampur dengan lanolin kemudian diberikan pada stigma.

h. Pertumbuhan Buah (fruit growth)

Peningkatan volume buah ada hubungannya dengan pertumbuhan buah. Keadaan ini akibat dari hasil pembelahan sel dan/atau pengembangan sel. Menurut Weaver (1972), fase pembelahan sel biasanya overlap dengan pengembangan sel (cell enlargement). Keadaan perkembangan ini selalu diikuti oleh peningkatan ukuran buah. Mengenai hubungannya dengan auxin,

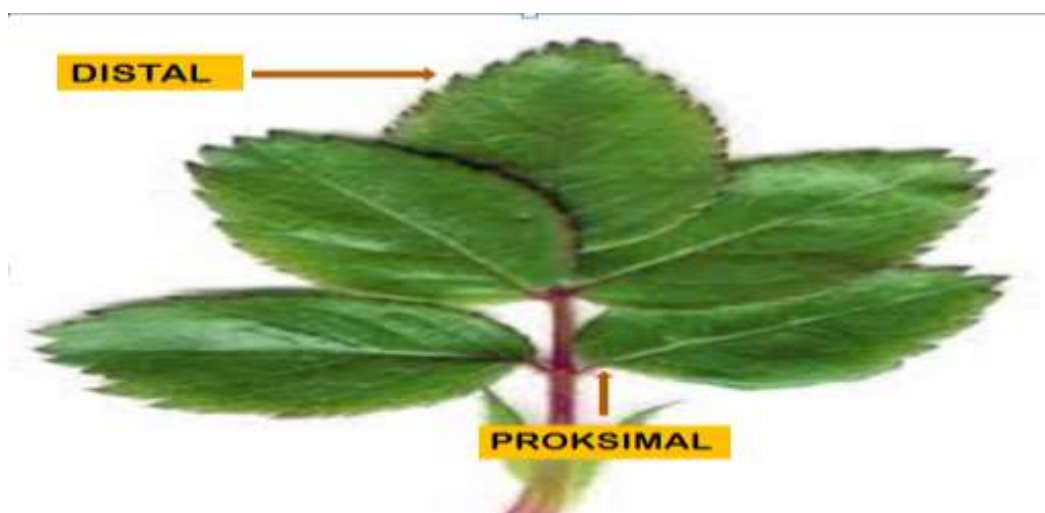
endosperma dan embrio di dalam biji menghasilkan auxin yang menstimulasi pertumbuhan endosperma. Suatu anggapan mengenai peranan auxin dalam pertumbuhan buah, telah dibuktikan oleh Crane dalam tahun 1949 dengan menggunakan 2,4, 5-T sebagai exogenous auxin yang diaplikasikan pada blak berry, anggur, strawberry dan jeruk. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pertumbuhan buah lebih cepat 60 hari dari fase normal rata-rata 120 hari.

i. Absisi

Absisi adalah suatu proses secara alami terjadinya pemisahan bagian/organ tanaman dari tanaman, seperti daun, bunga, buah atau batang.

Dalam proses absisi ini faktor alami seperti dingin, panas, kekeringan, akan berpengaruh terhadap absisi. Dalam hubungannya dengan hormon tumbuh, mungkin hormon ini akan mendukung atau menghambat proses tersebut. Di dalam proses absisi, akan terjadi perubahan-perubahan metabolisme dalam dinding sel dan perubahan secara kimia dari pectin dalam middle lamella. Pembentukan lapisan absisi (absisi layer), kadang-kadang diikuti oleh susunan cell division proximal. Disini sel-sel baru akan berdiferensiasi ke dalam periderm dan membentuk suatu lapisan pelindung (Weaver, 1972). Absisi akan terjadi apabila jumlah auxin yang ada di daerah proksimal (proximal

region) sama atau lebih dari jumlah auxin yang terdapat di daerah distal (distal region). Tetapi apabila jumlah auxin yang berada di daerah distal lebih besar dari daerah proximal, maka tidak akan terjadi absisi. Dengan kata lain proses absisi ini akan terlambat. Teori lain (Biggs dan Leopold, 1957 dalam Leopold dan Kriedemann, 1975) menerangkan bahwa pengaruh auxin terhadap absisi ditentukan oleh konsentrasi auxin itu sendiri. Konsentrasi auxin yang tinggi akan menghambat terjadinya absisi, sedangkan auxin dengan konsentrasi rendah akan mempercepat terjadinya absisi. Disebutkan bahwa respon absisi pada daun terhadap auxin dapat dibagi kedalam dua fase jika perlakuan auxin diberikan setelah daun terlepas. Fase pertama, auxin akan menghambat absisi, dan fase kedua auxin dengan konsentrasi yang sama akan mendukung terjadinya absisi.



j. Senescence

Menurut Alex Comport (1956, dalam Leopold dan Kriedemann, 1975) "senescence" adalah suatu penurunan kemampuan tumbuh (viability) disertai dengan kenaikan vulnerability suatu organisme. Namun di dalam tanaman, istilah ini diartikan menurunnya fase pertumbuhan (growth rate) dan kemampuan tumbuh (vigor) serta diikuti dengan kepekaan (susceptibility) terhadap tantangan lingkungan, penyakit atau perubahan fisik lainnya. Ciri dari fenomena ini selalu diikuti dengan kematian. Di alam, senescence terjadi pada daun, batang dan buah. Menurut Leopold dan Kriedemann (1975) ada empat bentuk senescence yang terjadi pada tanaman yaitu : (1) semua organ tumbuh mengalami senescence (over-all senescence); (2) senescence yang terjadi pada bagian atas (top senescence); (3) senescence yang terjadi seluruh bagian daun dan buah (deciduous senescence); dan (4) senescence berkembang dari daun paling bawah menuju kearah atas (progresive senescence). Ciri-ciri terjadinya senescence dapat ditemukan pada morfologi dan perubahan di dalam organ atau seluruh tubuh tanaman. Keadaan seperti ini diikuti oleh meningkatnya absisi serta daun dan buah berguguran dari batang pokok. Begitu pula pertumbuhan dan pigmentasi warna hijau berubah

menjadi warna kuning, yang akhirnya buah dan daun terlepas dari batang pokok.

Disamping fungsi fisiologis di atas, auxin juga dapat berfungsi sebagai herbisida. Auxin yang dapat digunakan sebagai herbisida adalah: 2,4-D (2,4 diklorofenoksiasetat); 2,4,5-T (2,4,5 triklorofenoksiasetat); MCPA (2 metil 4 klorofenoksiasetat). Zat ini bersifat: (1) fitotoksitasnya tinggi; (2) mengganggu transkripsi DNA dan translasi RNA sehingga dapat mengganggu enzim yang mempengaruhi pertumbuhan; dan (3) baik untuk mencegah pertumbuhan gulma daun lebar/dikotil, karena dapat diserap dalam jumlah yang banyak. Oleh karena itu zat ini banyak dipakai pada lapangan rumput atau tempat penggembala.

2.3. Biosintesis dan Pengangkutan Auxin

Dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman, terdapat suatu mekanisme kerja dalam tubuh tanaman yang berfungsi untuk mengatur kadar hormon tanaman pada tingkat yang efektif pada jaringan-jaringan tertentu dari tanaman. Pengaturan itu melalui proses biosintesa, pengangkutan, degradasi, inaktivasi dan lokalisasi atau kompartemensi. Dari proses-proses tersebut proses biosintesa adalah yang paling penting. Biosintesa berarti membuat hormon tanaman (senyawa-senyawa yang lebih kompleks) dari senyawa-

senyawa sederhana yang merupakan hasil-hasil intermediate dari proses-proses metabolisme. Dengan istilah yang lebih sederhana, yang dimaksud dengan biosintesis hormon adalah terbentuknya hormon tanaman melalui perubahan bahan dasar (precursor) menjadi senyawa intermediet (senyawa antara) kemudian menjadi hormon (senyawa kompleks). Senyawa sederhana tersebut merupakan senyawa-senyawa penting untuk pembuatan bahan-bahan primer penyusun tanaman (sakarida, lipid, asam-asam amino, asam nukleat) maupun untuk pembuatan alkaloid, terpenes, fenolik dan fitohormon. Senyawa-senyawa intermediate yang penting adalah asetil koensima, triosa fosfat, senyawa-senyawa hasil glikolisa dan Siklus Krebs (TCA).

Biosintesis merupakan salah satu mekanisme kerja hormon dalam tanaman untuk mengatur kadar hormon pada tingkat efektif. Pengaturan itu melalui biosintesis, pengangkutan, degradasi, inaktivasi dan lokalisasi (kompartementasi) (Davies, 1995). Dalam biosintesis hormone tumbuhan, hal penting yang harus diketahui adalah nama/jenis precursornya (bahan dasarnya), bentuk senyawa antaranya, tempat sintesisnya, proses reaksinya, dan mekanisme pengaturan kadarnya.

Ada dua mekanisme biosintesis IAA, dan keduanya meliputi pengusiran gugus asam amino dan gugus karboksil dari cincin samping triptofan. Lintasan yang lebih banyak terjadi pada sebagian besar

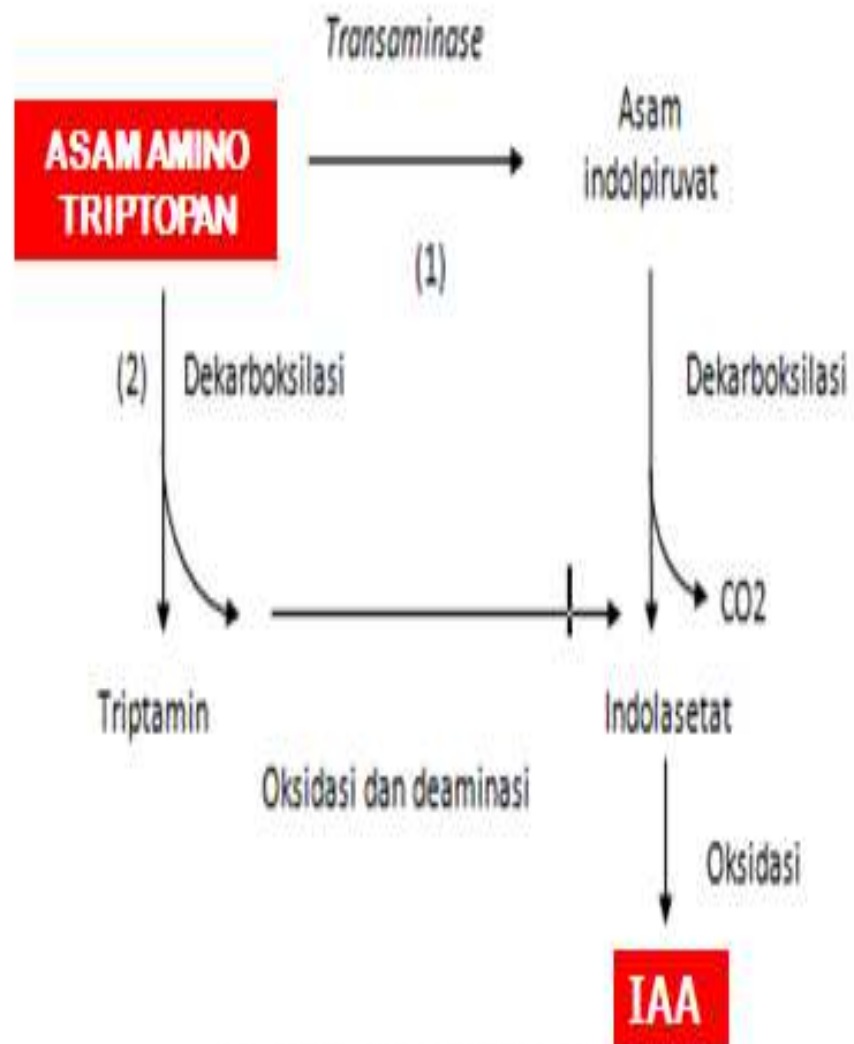
spesies yang mencangkup tahapan seperti Gambar 1. Asam amino triptofan dalam bentuk D-triptofan melalui reaksi transaminasi menjadi asam indolpiruvat, kemudian mengalami dekarboksilasi membentuk indolasetaldehida, akhirnya indolasetaldehida dioksidasi menjadi IAA.

IAA sangat peka terhadap *ensim oksidase* sehingga bisa menyebabkan IAA mengalami kerusakan, oleh karena itu untuk menghindari hal tersebut IAA berkonyugasi dengan glukosa, asam aspartat, dan asam glutamat sehingga membentuk konyugat auxin atau auxin dalam keadaan tidak aktif dengan cara gugus karboksil IAA bergabung dengan molekul lain. Umumnya, tumbuhan dapat melepaskan IAA dari konyugat dengan bantuan *ensim hidrolase*.

Asam-asam amino aromatic triptofan termasuk dalam jalur utama biosintesa dari IAA. Hasil-hasil intermediate yang terdapat antara triptofan dan IAA adalah : asam indol purivat, triptoamin dan indol asetaldehida. Triptofan sendiri terbentuk dari PEP (fosfo enol purivat) dan eritrosa-4-fosfat. Jalur biosintesa IAA mulai dari PEP sampai dengan triptofan juga merupakan jalur biosintesa dari senyawa-senyawa fenolik. IAA juga dapat dibentuk secara langsung dari asam amino serine dengan indol. Jalur mana yang penting tergantung dari lingkungan dan spesies tanaman. Pembentukan asam amino triptofan terutamavdiperuntukan dalam pembuatan protein-protein sel. Jika

triptofan harus tersedia untuk sintesa-sintesa IAA, protein sel harus mengalami autolisis suatu proses yang berhubungan dengan penuaan (senescence). Sheldake, ahli biokimia tanaman yang berasal dari Inggris mengatakan bahwa asam amino triptofan untuk biosintesa IAA berasal dari proses autolisis sel. Autolisis sel terjadi pada waktu pembentukan jaringan xylem dan floem. Pada waktu pembentukan xylem dan floem, sel-sel meristematis ini mengalami autolisis dan hasil autolisis menjadi tersedia untuk bahan-bahan metabolisme selanjutnya untuk sel-sel sekitarnya. Menurut teori ini, daerah pembentukan IAA bukan saja di daerah meristematis tetapi juga di daerah-daerah dimana terjadi diferensiasi sel untuk pembentukan jaringan xylem dan floem. Hasil-hasil lain dari autolisis sel itu adalah asam nukleat (untuk sintesa sitokinin) dan asam-asam amino lainnya (metionin untuk sintesa etilen, fenil alanin dan tirosin untuk sintesa senyawa fenolik). Tidak ada kesepakatan antara ahli fisiologi bahwa hasil autolisis sel memegang peranan penting dalam biosintesa hormon tanaman. Ini hanya merupakan suatu contoh bagaimana sukarnya untuk menunjukkan dengan tepat, pusat-pusat pembuatan zat tumbuh tanaman itu.

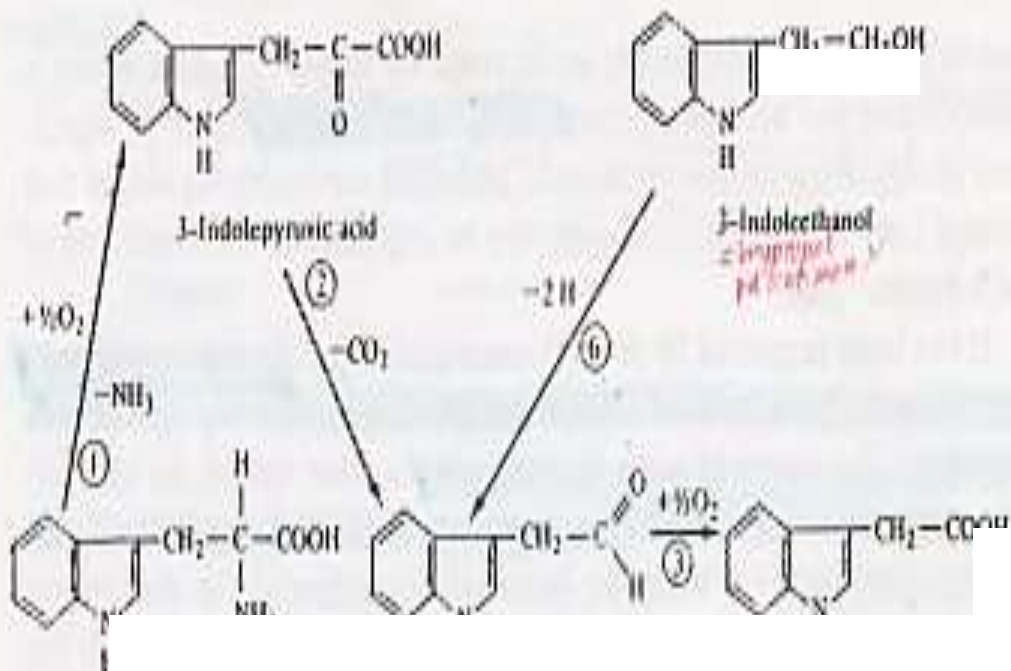
Tempat sintesis IAA terjadi di meristem pucuk dan meristem akar, precursornya adalah triptofan, sedangkan skema biosintesisnya seperti pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Skematis biosintesis IAA.

1. Umum terjadi pada tanaman
2. Terjadi familia Brassicaceae (kol, lobak dll)

Gambar 1. Skematis biosintesis IAA.



Gambar 2. Jalur biosintesis auxin menurut (Moore, 1979)

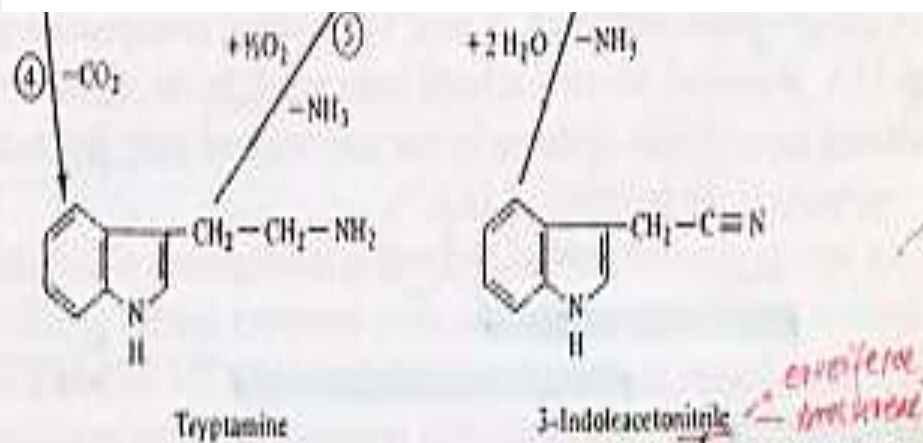


Figure 2-8. Pathways of auxin biosynthesis. Enzymes: 1, tryptophan transaminase; 2, indolepyruvate decarboxylase; 3, indoleacetaldehyde dehydrogenase; 4, tryptophan decarboxylase; 5, amine oxidase; 6, indoleethanol oxidase; and 7, nitrifase.

tanaman sama pada bagian tanaman berbeda bisa berbeda, atau pada bagian tanaman yang sama jalurnya berbeda pada stadia pertumbuhan berbeda.

Bakteri azospirillum selain dapat menambat Nitrogen , juga bisa memproduksi IAA dengan tryptophan sebagai prekursor melalui jalur Indole-3-pyruvate (1) dan Tryptamine (2). Sintesis IAA oleh Azospirillum melibatkan gen ipdC.

Faktor yg mempengaruhi terbentuknya IAA.

1. Produksi IAA meningkat dalam kondisi pH media yang rendah.
2. Pemberian nitrogen dapat meningkatkan produksi IAA.
3. Lingkungan aerobik mengakibatkan produksi IAA menjadi lebih rendah.
4. Semakin lama masa inkubasi bakteri tsb, maka auksin yang dihasilkan semakin berkurang.

Tabel 1. Pengaruh inokulasi *Azospirillum* terhadap produksi IAA pada tanaman padi varietas IR64 (Lestari *et.al.*, 2007)

Inokulasi	Kandungan IAA ($\mu\text{g/ml}$)	
	7 hari	12 hari
Tanpa inokulasi	1.07b	0.81c
<i>Azospirillum</i> Az15	2.94a	1.48b
<i>Azospirillum</i> Az44	3.26a	1.42b
<i>Azospirillum</i> Az7	3.16a	1.97a

BAGIAN TANAMAN YANG MENGHASILKAN FITOHORMON.

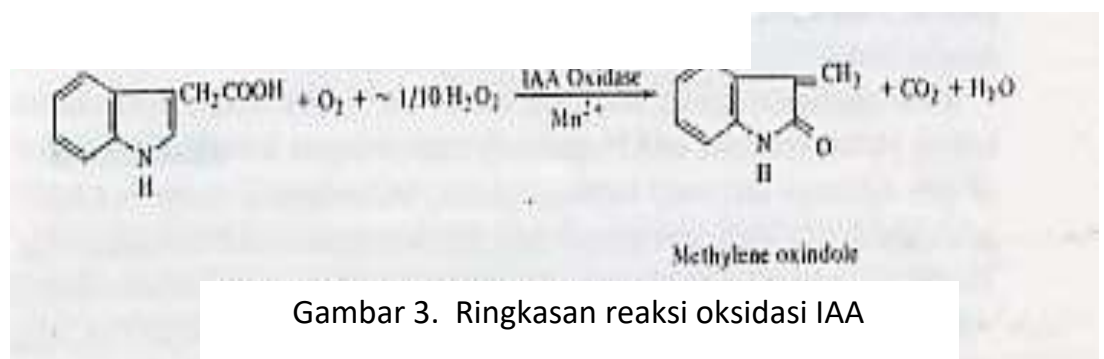
BAGIAN TANAMAN	IAA	GA	SITOKININ	ABA
Ujung Tunas Apikal	+++	+++	+++	+
Daun Muda	+++	+++	+++	+
Daun Tua	+	+	+	+++
Batang	+	+	+	+
Ujung Akar	+	+	+++	+

interaksi GA dengan Sitokinin Serta ABA.

GA	SITOKININ	ABA	KETERANGAN
+	+	+	Berkecambah
+	+	-	Berkecambah
+	-	+	Berkecambah
+	-	-	Berkecambah
-	-	+	Dorman
-	-	-	Dorman
-	+	+	Dorman
-	+	-	Dorman

Pengaturan kadar auxin dapat terjadi pada tanaman melalui 3 cara :

1. Pengaturan sintesis *in situ*. Dalam biosintesis diatur berapa banyak terbentuk auxin bebas (*free auxin*), yaitu IAA
2. Pembentukan auxin terikat (*bound auxin*) yang reversibel (*bentuk cadangan*) dan ireversibel (*bentuk detoksifikasi*). Bound auxin dalam bentuk cadangan, secara reversibel dapat dilepas sebagai IAA kembali, contohnya thioglukosida. Sedangkan bound auxin dalam bentuk detoksifikasi, IAA yang terbentuk berlebih diubah menjadi bentuk lain agar tidak bersifat toksik (detoksifikasi). contohnya IAA-peptida (IAA aspartat dan IAA glutamat).
3. Degradasi menjadi senyawa tidak aktif melalui proses : (a) destruksi enzimatik dan (b) destruksi fotooksidatif. Destruksi enzimatik dikatalisis oleh enzim IAA-oksidadase, dibutuhkan O_2 (mutlak) dan H_2O_2 (independen) dan dihasilkan metilen oxindole, sedangkan Destruksi fotooksidatif dikatalisis oleh riboflavin, β -caroten dan eosin dengan dosis cahaya yang tinggi. Reaksinya sama sama seperti destruksi enzimatik.



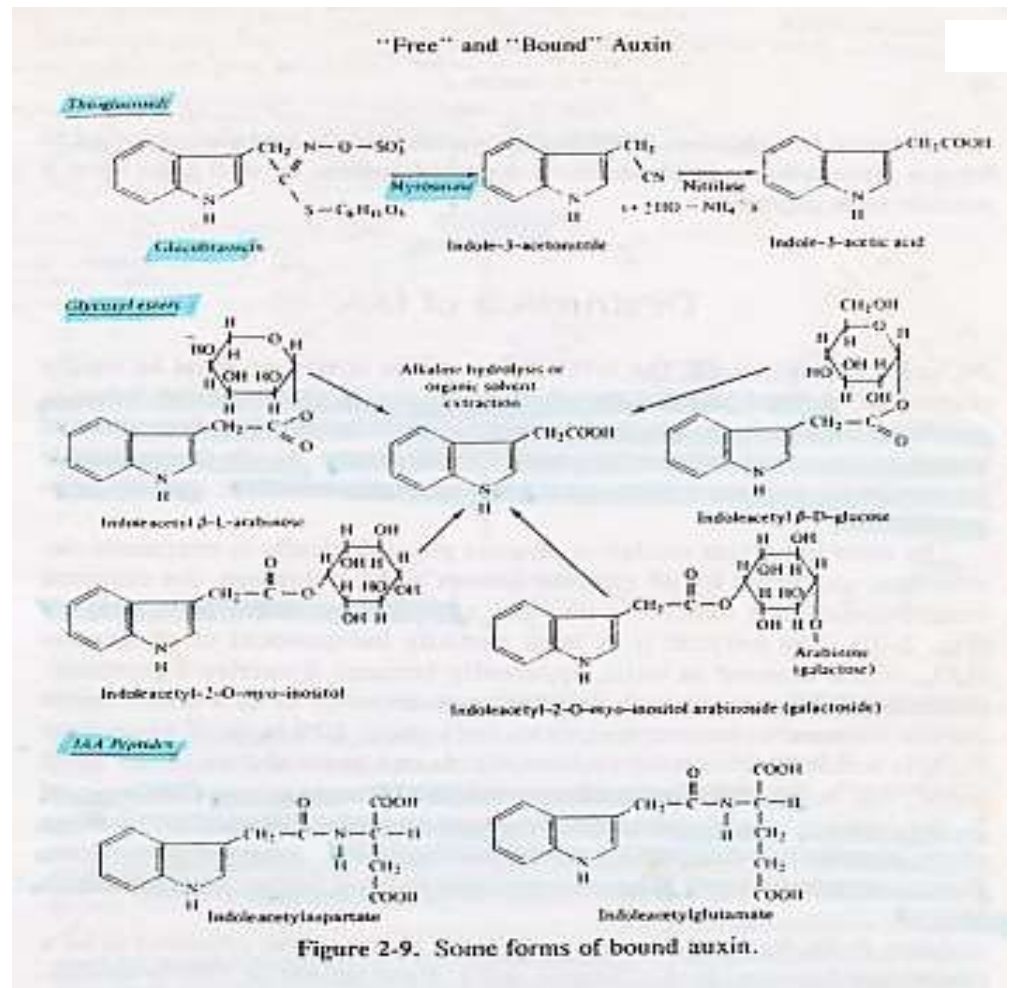
Gambar 3. Ringkasan reaksi oksidasi IAA

Kerusakan IAA disebabkan oleh: (a) oksidasi O_2 dan hilangnya gugus karboksil sebagai CO_2 dengan bantuan enzim IAA oksidase; dan (b) gugus karboksil IAA tidak hilang tetapi karbon 2 pada cincin heterosiklik teroksidasi membentuk asam oksindol 3 asetat.

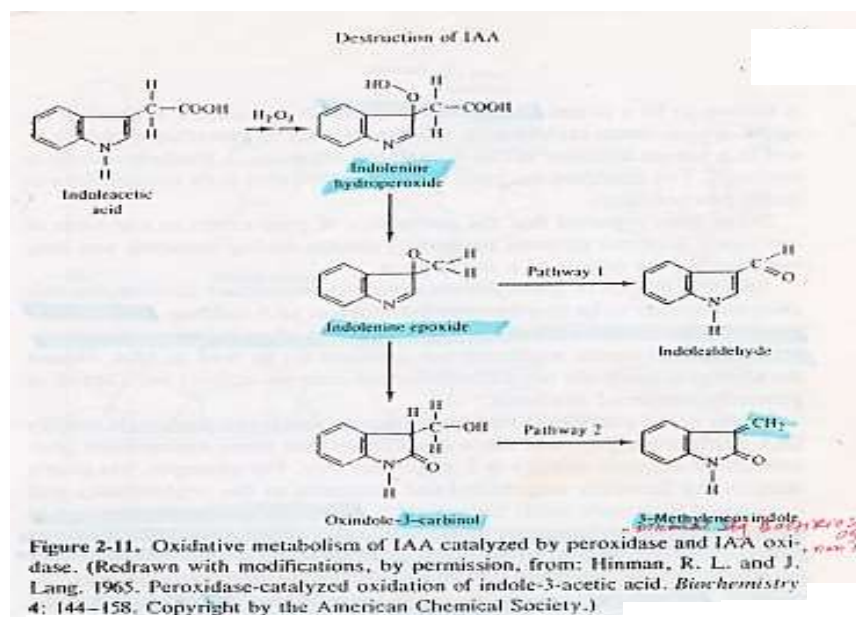
Pengangkutan/transport hormon merupakan pergerakan hormon dari tempat sintesis ke sel/jaringan target (tempat hormon digunakan). Cara transport bisa terjadi secara :

- Basipetal = dari atas (pucuk) ke bagian bawah, umumnya cara ini sifatnya polar yaitu perlu energi yang berasal dari proses metabolisme
- Acropetal = pergerakan dr bawah ke atas, secara non metabolik shg tak perlu energi, yaitu melalui difusi.

Fitohormon dapat bergerak di dalam sel antara organela dan antara sel melalui jalur simplas, opoplas atau melalui jaringan xylem dan floem. Pengangkutan IAA dari pucuk tanaman menuju pangkal batang tergolong pengangkutan polar (bukan difusi biasa). Pengangkutan polar tidak berlaku untuk GAs, sitokinin dan ABA. Hormon itu bergerak melalui pembuluh xylem dan floem serta melalui sistem apoplas dan simplas. Etilen sebagai hormon berbentuk gas, pergerakannya melalui difusi.



Gambar 4. Beberapa bentuk "bound auxin"



Gambar 5. Metabolisme oksidasi IAA dikatalisis oleh peroxidase dan IAA-oksidas

IAA biasanya tidak dipindahkan melalui phloem atau xilem, tetapi melalui sel parenkima yang bersinggungan dengan berkas pembuluh.

Secara garis besar pengangkutan IAA dilakukan secara:

- a. Polar. Pada batang arahnya ke basipetal (mencari dasar) dan tidak tergantung dasar tersebut pada posisi normal atau terbalik. Sedangkan pada akar arahnya akropetal (mencari apeks). Hanya terjadi pada sel yang aktif dengan kecepatan rendah (1 cm per jam di akar dan batang)
- b. Non polar, yaitu pergerakannya ke segala arah. Terjadi pada sel yang mengalami senescence dengan kecepatan tinggi.

Zat yang dapat menghambat pergerakan auxin disebut antiauxin, seperti asam 2,3,5 triiodobenzoat (TIBA) dan asam naftilalamat (NPA).

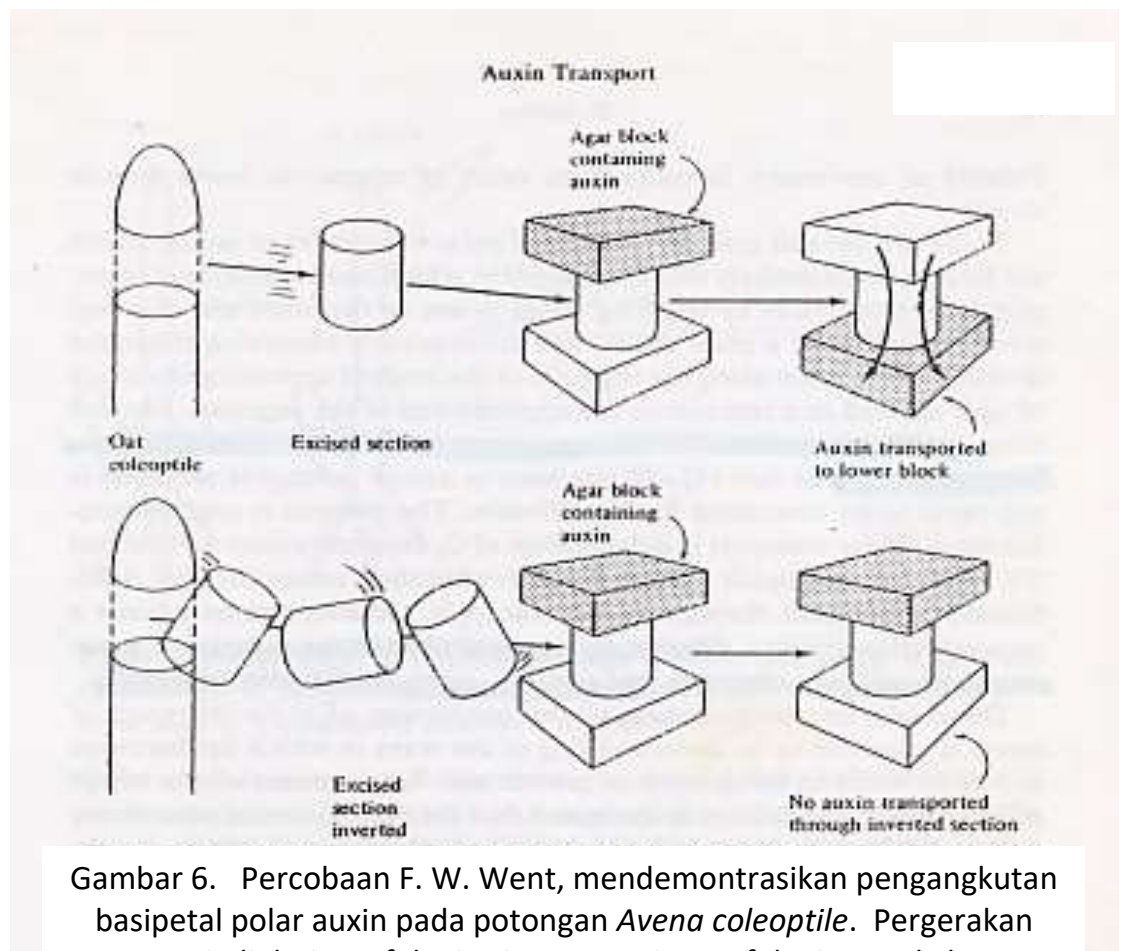
Fitohormon dapat bergerak di dalam sel antara organela dan antara sel melalui jalur simplas, apoplas atau melalui jaringan xilem dan fluem. IAA adalah fitohormon yang banyak dipelajari tentang system pengangkutannya di dalam tanaman. Transport IAA secara basipetal polar dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada kecambah monokotil, IAA yang terbanyak terdapat pada koleoptil dan makin berkurang ke arah akar. Penyebaran yang demikian hanya terjadi jika IAA dari ujung koleoptil diangkut ke lain bagian. Dalam perjalanan IAA dari ujung koleoptil ke bagian lain, IAA itu dapat dipergunakan dalam proses pertumbuhan, dimobilisasi oleh

ikatan-ikatan kompleks atau dinaktifkan dan dirombak oleh reaksi-reaksi enzimatik. IAA pada ujung koleoptil berasal dari IAA konjugata/cadangan (IAA–inositol, IAA–glukosa atau IAA-asam-asam amino). Dalam proses pematangan biji IAA dibuat oleh embrio yang sedang berkembang dan di samping sebagai IAA-konjugata dalam jaringan endosperm. Pada waktu perkecambahn biji IAA-konjugata itu bergerak ke koleoptil dan dihidrolisa secara enzimatik menjadi IAA bebas dan diangkut ke bagian lain dari kecambah tersebut. Meristem akar mensintesa IAA dalam jumlah yang kecil, sehingga kebutuhan IAA di akar itu sebagian besar berasal dari ujung koleoptil.

Cara penyebaran IAA pada bibit tanaman dikotil agak kompleks tetapi yang jelas bahwa IAA itu dibuat pada daerah-daerah meristematik dari tunas-tunas pucuk daun dan tunas-tunas samping. Proses-proses pengangkutan imobilisasi dan prombakan dari IAA itu menyebabkan konsentrasi yang berbeda dalam tanaman tersebut.

Penyebaran IAA dalam tanaman terutama diatur oleh pengangkutan IAA ke arah menjauhi pucuk tanaman. Pengangkutan auxin dari pucuk tanaman menuju pangkal batang disebut pengangkutan polar. Pergerakan polar ini bukan suatu proses difusi biasa dari konsentrasi auxin yang tinggi ke konsentrasi auxin yang rendah, tetapi termasuk juga aktivitas dari sel-sel yang hidup. Sifat-sifat pergerakan polar itu dapat dilihat pada percobaan pada Gambar 6.



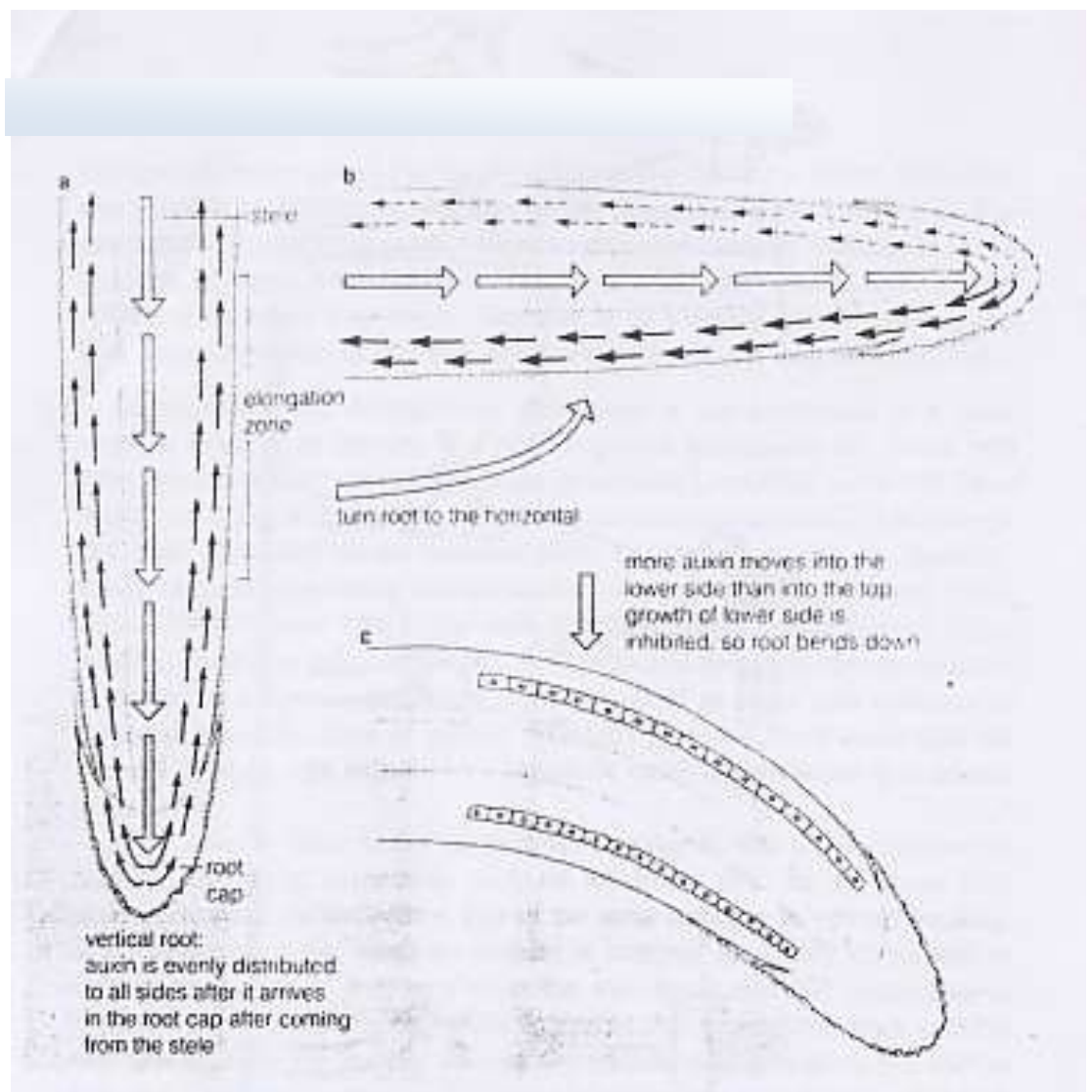
Gambar 6. Percobaan F. W. Went, mendemonstrasikan pengangkutan basipetal polar auxin pada potongan *Avena coleoptile*. Pergerakan terjadi dari morfologis ujung menuju morfologis pangkal.

Percobaan lain dapat dilakukan dengan pengaturan letak blok agar donor (agar + IAA) dan blok agar aseptor (agar tanpa IAA) pada potongan batang bibit yang dapat diletakkan pada posisi biasa dan posisi terbalik. Hasil percobaan-percobaan itu adalah sebagai berikut :

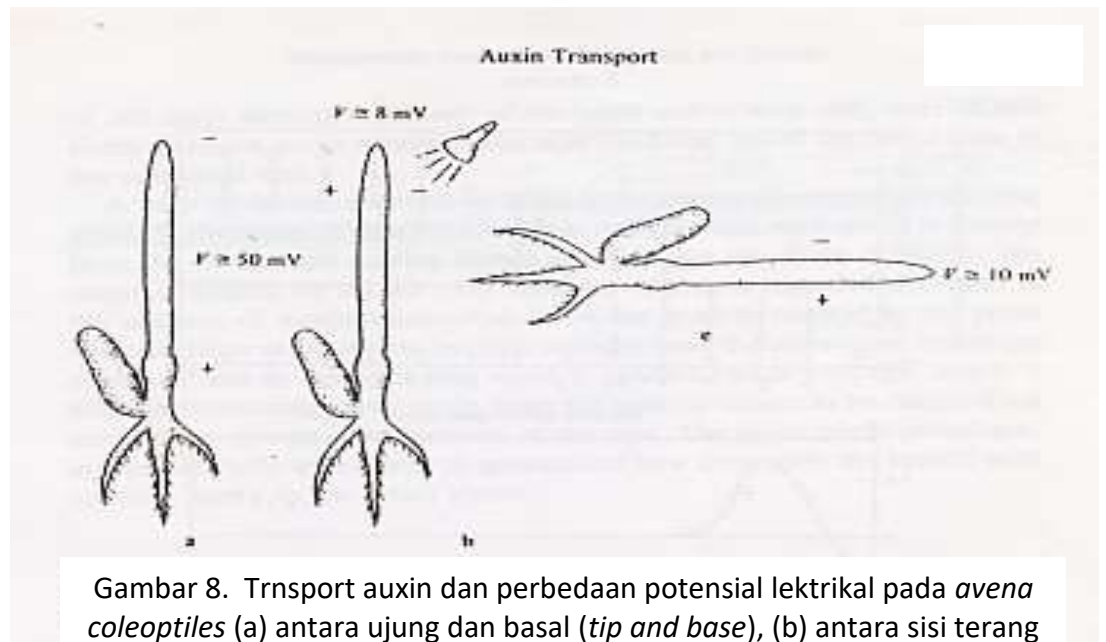
- (1) Donor diletakkan di atas, aseptor di bawah potongan batang pada posisi biasa. IAA akan bergerak dari donor ke aseptor.
- (2) Seperti pada (1) tetapi posisi batang terbalik. IAA tidak bergerak dari donor ke aseptor.

- (3) Donor diletakkan di sebelah bawah dan aseptor di sebelah atas, posisi batang biasa. IAA tidak bergerak dari donor ke aseptor.
- (4) Seperti pada (3) tetapi posisi batang terbalik. IAA akan bergerak dari donor ke aseptor .

Percobaan tersebut menunjukkan bahwa auxin bergerak dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah melalui morfologis ujung ke morfologis pangkal batang. Polar transport ini juga dihambat oleh keadaan anaerobic dan zat-zat penghambat respirasi.



Gambar 7. Pergerakan auxin dan pola pertumbuhan akar akibat pengaruh gravitasi (Salisbury dan Ross, 1992)



Gambar 8. Transport auxin dan perbedaan potensial listrik pada *avena coleoptiles* (a) antara ujung dan basal (*tip and base*), (b) antara sisi terang dan sisi gelap (*illuminated and dark side*), (c) antara bagian atas dan bagian bawah pada psois horisontal

metabolisme, perkembangan tanaman (vegetatif/reproduktif), pelukaan dan factor-faktor lingkungan. Dasar-dasar fisiologis dari pergerakan polar sampai saat ini belum diketahui dengan jelas. Pengangkutan polar merupakan suatu hasil kerjasama sel-sel yang hidup sehingga beralasan jika dikatakan bahwa fenomena polaritas itu berada di dalam sel. Polaritas ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti : (1) distribusi yang asimetrik dari organela-organela (mitokondria, spherosoma, ribosoma, plastid); (2) membran yang asimetrik (plasma, tonoplas, endoplasmic retikula); (3) distribusi enzim yang asimetrik di dalam sel; (4) perbedaan distribusi daripada ion-ion anorganik dan molekul yang kecil di dalam sel.

III. CARA PENGGUNAANNYA DALAM BIDANG PERTANIAN

Pertumbuhan, perkembangan, dan pergerakan tumbuhan dikendalikan oleh beberapa golongan zat yang secara umum dikenal sebagai hormon tumbuhan atau fitohormon. Penggunaan istilah “hormon” sendiri menggunakan analogi fungsi hormon pada hewan. Sebagaimana pada hewan, hormon juga dihasilkan dalam jumlah yang sangat sedikit di dalam sel. Beberapa ahli berkeberatan dengan istilah ini karena fungsi beberapa hormon tertentu tumbuhan (hormon endogen, dihasilkan sendiri oleh individu yang bersangkutan) dapat diganti dengan pemberian zat-zat tertentu dari luar, misalnya dengan penyemprotan (hormon eksogen, diberikan dari luar sistem individu). Mereka lebih suka menggunakan istilah zat pengatur tumbuh (bahasa Inggris *plant growth regulator*).

Hormon tumbuhan merupakan bagian dari proses regulasi genetik dan berfungsi sebagai prekursor. Rangsangan lingkungan memicu terbentuknya hormon tumbuhan. Bila konsentrasi hormon telah mencapai tingkat tertentu, sejumlah gen yang semula tidak aktif akan mulai melakukan ekspresi. Dari sudut pandang evolusi, hormon tumbuhan merupakan bagian dari proses adaptasi dan pertahanan diri tumbuh-tumbuhan untuk mempertahankan kelangsungan hidup jenisnya.

Pemahaman terhadap fitohormon pada masa kini telah membantu peningkatan hasil pertanian dengan ditemukannya berbagai macam zat sintesis yang memiliki pengaruh yang sama dengan fitohormon alami. Aplikasi zat pengatur tumbuh dalam pertanian modern mencakup pengamanan hasil (seperti penggunaan *cycocel* untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap lingkungan

yang kurang mendukung), memperbesar ukuran dan meningkatkan kualitas produk (misalnya dalam teknologi semangka tanpa biji), atau menyeragamkan waktu berbunga (misalnya dalam aplikasi etilen untuk penyeragaman pembungaan tanaman buah musiman), dan sebagainya

Aplikasi ZPT dalam bidang pertanian sangatlah luas, mulai dari pembibitan tanaman secara konvensional, perbanyak tanaman melalui kultur jaringan, perangsangan pertumbuhan vegetatif, merangsang pembungaan dan pembuahan, pengaturan pematangan buah, memperpanjang masa simpan produk, dan sebagainya.

Seperti yang telah dibahas di muka, ZPT sintetis sangat banyak digunakan pada pertanian modern. Tanpa ZPT sintetis untuk mengendalikan gulma, atau untuk mengendalikan pertumbuhan dan pengawetan buah-buahan, maka produksi bahan makanan akan berkurang sehingga harganya akan menjadi mahal. Disamping itu, muncul keprihatinan bahwa penggunaan senyawa sintetis secara berlebihan pada produksi pangan akan menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan serius. Sebagai contoh misalnya dioksin. Senyawa kimia sampingan dari sintesis 2, 4-D tersebut digunakan sebagai herbisida selektif untuk memusnahkan gulma berdaun lebar dari tumbuhan dikotil. Walaupun 2, 4-D tidak beracun terhadap mamalia, namun dioksin dapat menyebabkan cacat lahir, penyakit hati, dan leukimia pada hewan dan manusia. Terkait dengan hal tersebut, untuk mendapatkan respon optimal dalam rangka untuk meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman di satu pihak, dan di lain pihak untuk keamanan pangan dan kelestarian lingkungan, maka dalam penggunaan ZPT perlu diperhatikan cara kerja ZPT tersebut.

Cara kerja ZPT tergantung dari:

1. Struktur bahan kimia yang mempengaruhi absorpsi, translokasi dan aktivasi.

2. Sistem carrier. Apakah ZPT tersebut diformulasikan dalam bentuk EC (Emulsion concentrated) atau garam.
3. Jenis tanaman (morfologi dan fisiologis masing-masing tanaman berbeda).
4. Faktor lingkungan pada waktu pemberian ZPT (suhu, kelembaban, intensitas cahaya) mempengaruhi absorpsi, translokasi dan inaktivasi.
5. Waktu pemberian (pagi, sore).
6. Fase pertumbuhan tanaman (vegetatif, reproduktif, saat trubus atau dorman).
7. Konsentrasi yang efektif.

Beberapa anjuran dalam penggunaan zat pengatur tumbuh tanaman yang perlu diperhatikan dengan baik adalah :

1. Perhatikan 5 tepat (tepat ZPT, tepat tanaman, tepat waktu, tepat lingkungan dan tepat konsentrasi).
2. Pemberian ZPT harus merata.
3. Kadang-kadang pemberian melalui akar (soil drenching) lebih baik dibandingkan melalui daun (foliar spray). Sebagai contoh, CCC dan ancymidol untuk mengkerdikan tanaman, paklobutrazol untuk merangsang pembungaan lebih baik melalui soil drenching.
4. Pemberian beberapa kali lebih baik dari sekaligus. Misalnya, 2 x $\frac{1}{2}$ dosis lebih baik dibandingkan 1 x 1 dosis.
5. Kombinasi ZPT dengan kelompok yang sama lebih baik dibandingkan secara tunggal. Misalnya, pemberian IBA dan NAA secara simultan lebih baik dari pada IBA saja atau NAA saja.
6. Baca label pemakaian yang tertera pada kemasan dengan baik.
7. Waktu pemberian ZPT harus dalam keadaan tanaman sehat.

Dalam kultur jaringan, ada dua golongan zat pengatur tumbuh yang sangat penting yaitu sitokinin dan auxin. Zat pengatur tumbuh ini

mempengaruhi pertumbuhan dan morfogenesis dalam kultur sel, jaringan dan organ. Interaksi dan perimbangan antara zat pengatur tumbuh yang diberikan dalam media dan yang diproduksi oleh sel secara endogen, menentukan arah perkembangan suatu kultur. Penambahan auxin atau sitokinin eksogen, mengubah level zat pengatur tumbuh endogen sel. Level zat pengatur tumbuh endogen ini kemudian merupakan *trigerring factor* untuk proses-proses yang tumbuh dan morfogenesis. Selain auxin dan sitokinin, giberelin dan persenyawaan-persenyawaan lain juga diperlukan dalam kultur jaringan sehingga perlu ditambahkan ke media dalam kasus-kasus tertentu.

Auxin digunakan secara luas dalam kultur jaringan untuk merangsang kalus, suspensi sel dan organ. Pemilihan jenis auxin dan konsentrasi, tergantung dari : (1) tipe pertumbuhan yang dikehendaki, (2) level auxin endogen, (3) kemampuan jaringan mensintesa auxin, dan (4) golongan zat tumbuh lain yang ditambahkan. Pengaruh auxin terhadap pertumbuhan jaringan tanaman diduga melalui cara :

1. Menginduksi sekresi ion H^+ keluar sel melalui dinding sel. Pengasaman dinding sel menyebabkan K^+ diambil dan pengambilan ini mengurangi potensial air sel. Akibatnya air masuk ke dalam sel dan sel membesar.
2. Mempengaruhi metabolisme RNA yang berarti metabolisme protein, mungkin melalui transkripsi molekul RNA. Auxin sintetik yang sering digunakan dalam kultur jaringan tercantum pada Tabel 3.
3. Memacu terjadinya dominansi apikal.
4. Dalam jumlah sedikit memacu pertumbuhan akar.

Golongan sitokinin sangat penting dalam pengaturan pembelahan sel dan morfogenesis pada perbanyakan dengan kultur jaringan.

Penggunaan sitokinin dalam kultur jaringan sangat luas. Beberapa contoh jenis sitokinin dan hormon lain yang biasa digunakan dalam kultur jaringan tercantum didalam tabel di bawah.

Tabel 3. Jenis-jenis ZPT yang sering digunakan dalam kultur jaringan

No	Rumus Kimia	Nama senyawa	Singkatan	Berat molekul	mg/ 100 ml (1mM)
1	$C_8H_6O_3Cl_2$	2,4 Dichlorophenoxy acetic acid	2,4 D	221,04	22,10
2	$C_{10}H_9NO_2$	Indole-3 acetic acid	IAA	175,2	17,5
3	-	IAA-L-alanine	IAA conjugate		
4	-	IAA-Glycine			
5	$C_{12}H_{13}NO_2$	Indole-3 butyric acid	IBA	203,24	20,32
6	$C_{12}H_{10}O_2$	α -Naphthalene acetic acid	NAA	186,2	18,62
7	$C_{12}H_{10}O_3$	β -Naphthoxy acetic acid	NOA	202,3	20,23
8	$C_8H_7O_3 Cl$	p-Chlorophenoxy acetic acid	pCPA	186,62	18,66
9	-	4-Amino-3,5,6,-Trichloro Ficlinic Acid (Picloram)	PIC	241,2	24,12
10	-	4-Chlorophenoxy Acetic Acid	4-CPA	166,60	16,66
11	-	2,4,5-Trichloro Acetic Acid	2,4-5,T,	255,49	25,55
12	-	3,6-Dichloro Acetic Acid	Dicamba	221,04	22,1
1	$C_5H_5N_5.3H_2O$	Adenine	Ade	189,1	18,91
2	$(C_5H_5N_5)_2. H_2SO_4.2H_2O$	Adenine sulphate			
3	$C_{12}H_{11}N_5$	Benzyl adenine atau Benzyl amino purine	BA atau BAP	225,26	22,52
4	$C_{10}H_{13}N_5$	N-isopentenylamino	2-iP	203,21	20,33
5	$C_{10}H_9N_5 O$	Kinetin	KIN	215,25	21,52
6	$C_{10}H_{13}N_5 O$	Zeatin	ZEA	219,25	21,92
7		6(-benzylamino)-9-(2-tetrahydro pyranil)-9H-purine	PBA (SD 8339)	309,37	
8		N (2-chloro-4 pyridyl)-n'-phenylurea	2C 1-4 PU		
9		N (2,6-dichloro-4 pyridyl)-N'-phenylurea,	2,6-c 1-4 PU	282,13	
10		N-phenyl-N'-1,2,3-thiadiazol-5-yl-urea	Thidiazurin	220,25	
1	$C_{19}H_{22}O_6$	Gibberellic	GA3	346,4	34,64
2	$C_{15}H_{20}O_4$	Abscisic acid	ABA	264,3	26,43
3	$C_{22}H_{22}NO_6$	Colchicine	Col	399,4	39,94
4	$C_{19}H_{19}NO_6$	Folic acid		441,4	44,14

Penggunaan giberilin dalam kultur jaringan tanaman, kadang-kadang membantu morfogenesis. Tetapi dalam kultur kalus dimana pertumbuhan sudah cepat hanya dengan auxin dan sitokinin, maka

penambahan giberelin sering menghambat. Pada umumnya giberelin terutama GA₃ menghambat perakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Arteca, R.N. 1996. Plant growth substances. Principles and applications. New York: Champan & Hall. 332 hlm.
- Chaitrakulsub, S., S. Subhadrabandhu, T. Powsung, Ogata, R.H. Gemma. 1992. Effect of paclobutrazol on vegetative growth, flowering, fruit-set, fruit drop, fruit quality and yield of lychee cv. Hong Huay. *Acta Hort.* 321:291-299.
- Davies, P.J. 1995. The plant hormone concept: concentration, sensitivity and transport. p.13-38. *In*. Davies PJ. (Eds.). Plant hormones. Physiology, biochemistry and molecular biology. 2th edition. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 833 hlm.
- Leopold, A.C., P.E. Kriedemann. 1975. Plant growth and development. Second edition. USA: Mcgraw-Hill Book Company. hlm. 271-336.
- Moore, T.C. 1979. Biochemistry and physiology of plant hormones. New York: Springer-Verlag Inc. 274 hlm.
- Salisbury, F.,B., C.W. Ross. 1992. Plant Physiology 4th Edition. Terjemahan Lukman DR, Sumaryono. Fisiologi tumbuhan. Jidid III. Perkembangan tumbuhan dan fisiologi lingkungan. Bandung: Penerbit ITB Bandung. 343 hlm.
- Sponsel, V.M. 1995. The Biosynthesis and metabolism of gibberellins in higher plants. p.66-92. *In*. Davies PJ. (Eds.). Plant hormones. Physiology, biochemistry and molecular biology. 2th edition. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 833 hlm.
- Voon, C.H., N. Hongshanich, C. Pitakpaivan, A.J. Rowley. 1992. Culture development in tropical fruits; an overview. *Acta Hort.* 321(1):270-281.
- Wareing, P.F., I.D.J. Phillips. 1970. The control of growth and differentiation in plants. New York:Pergaman Press. 302 hlm.
- Wattimena. G.A. 1987. Zat pengatur tumbuh tanaman. Bogor: Laboratorium Kultur Jaringan Tanaman, PAU Bioteknologi IPB & Ditjen Dikti Departemen Pendidikan dan Kebudayaan
- Weaver, R.J. 1972. Plant growth substances in agriculture. San Francisco: W. H. Freeman and Company. 594 hlm.