

**BAHAN AJAR**

**ZAT PENGATUR TUMBUH GIBERELIN  
DAN SITOKININ**



**OLEH**

**IR. I WAYAN WIRAATMAJA,MP.**  
**NIP. 19590418 198601 1 001**

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

## KATA PENGANTAR

Berkat Asung Kertha Wara Nugraha Sang Hyang Widhi Wasa/Tuhan Yang Maha Esa, maka Bahan Ajar” ZAT PENGATUR TUMBUH GIBERELIN DAN SITOKININ” ini berhasil disusun. Materi Bahan Ajar ini merupakan sub bab dari mata kuliah Zat Pengatur Tumbuh Tanaman. Bahan Ajar ini disusun mengingat pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tentang konsep-konsep Zat Pengatur Tumbuh Tanaman.

Penyusun menyadari bahwa Bahan Ajar ini belum sempurna. Untuk itu penyusun senantiasa terbuka menerima kritik, saran dan masukan yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi pihak yang memerlukan.

Denpasar, Mei 2017  
Penyusun

## DAFTAR ISI

	Hal.
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
I. PENDAHULUAN.....	1
II. GIBERELIN.....	4
2.1. Jenis-Jenis Giberelin.....	4
2.2. Peranan Fisiologis Giberelin.....	9
2.3. Biosintesis dan Pengangkutan Giberelin.....	15
III. SITOKININ .....	28
3.1. Jenis-Jenis Sitokinin.....	28
3.2. Peranan Fisiologis Sitokinin.....	29
3.3. Biosintesis Sitokinin.....	34
3.4. Mekanisme Kerja Sitokinin.....	36
3.5. Aplikasi Sitokinin Dalam Bidang Pertanian.....	38
DAFTAR PUSTAKA.....	41

## I. PENDAHULUAN

Dewasa ini secara luas diakui bahwa zat pengatur tumbuh (ZPT) memiliki peran pengendalian yang sangat penting dalam dunia tumbuhan. Saat ini, ZPT tanaman dipergunakan secara luas di dunia pertanian dengan berbagai tujuan, di antaranya penundaan atau percepatan pematangan buah, perangsangan perakaran, peningkatan peluruhan daun atau pentil buah, pengendalian perkembangan buah, pemberantasan gulma, pengendalian ukuran organ, dan lain-lain.

Pada pertengahan 1800-an, ahli fisiologi tumbuhan bangsa Jerman yang terkenal, Julius von Sachs menduga bahwa bentuk tumbuhan disebabkan oleh adanya kegiatan senyawa-senyawa "pembentuk organ" yang bersifat spesifik, seperti senyawa "pembentuk daun", "pembentuk bunga", dan lain-lain (Heddy, 1996). Namun usaha untuk mengisolasi senyawa-senyawa semacam ini belum berhasil. Penelitian baru-baru ini menunjukkan bahwa tumbuhan mengandung senyawa-senyawa yang mendorong inisiasi proses-proses biokimia yang akhirnya menyebabkan pembentukan organ dan aspek-aspek tumbuhan lainnya. Secara keseluruhan senyawa-senyawa tersebut disebut *fitohormon*, yang mendorong inisiasi reaksi-reaksi biokimia dan perubahan –perubahan komposisi kimia dalam tumbuhan. Faktor lingkungan seperti cahaya dan suhu berinteraksi

dengan *fitohormon* dan beberapa proses biokimia selama tumbuh dan diferensiasi berlangsung.

Istilah hormon tumbuhan (fitohormon) diimbis oleh diketahuinya hormon pada hewan dan manusia, yaitu suatu senyawa yang disintesis pada bagian tubuh tertentu, dan dapat ditranspor melalui sistem aliran darah ke bagian tubuh yang lain untuk mengatur respon fisiologis di tempat itu. Hormon tumbuhan adalah senyawa organik yang disintesis di salah satu bagian tumbuhan dan dipindahkan ke bagian lain, dan pada konsentrasi yang sangat rendah mampu menimbulkan suatu respon fisiologis. Orang pertama yang memperkenalkan istilah hormon dalam fisiologi tumbuhan yaitu Fitting pada tahun 1910, dan sejak itu istilah hormon terus digunakan untuk memberi batasan senyawa organik khusus yang terdapat secara alami dengan fungsi pengaturan dalam tumbuhan.

Sampai sekarang ada lima kelompok hormon yang paling dikenal, walaupun masih banyak lagi yang sudah pasti akan ditemukan. Kelima kelompok yang sudah dikenal itu meliputi *auksin*, berbagai macam *giberelin*, beberapa *sitokinin*, asam *absisat* dan *etilen*. Ketika semakin banyak hormon yang dapat dicirikan dan efek serta konsentrasi endogennya dikaji dua hal menjadi jelas. Yang pertama, setiap hormon mempengaruhi respon pada banyak bagian tumbuhan.

Kedua, respon itu bergantung pada spesies, bagian tumbuhan, fase perkembangan, konsentrasi hormon, interaksi antar hormon yang diketahui, dan berbagai faktor lingkungan.

Istilah zat tumbuh mencakup hormon tumbuhan (alami) dan senyawa-senyawa buatan yang dapat mengubah tumbuh dan perkembangan tumbuhan. Nama senyawa tersebut dapat juga menyatakan kegiatan fisiologisnya, misalnya zat tumbuh daun, zat tumbuh akar, dan sebagainya.

## II. GIBERELIN

### 2.1. Jenis-jenis Giberelin

Giberelin adalah jenis hormon tumbuh yang mula-mula ditemukan di Jepang oleh Kurosawa pada tahun 1926. Sebelumnya, pada 1920-an para peneliti Jepang menyelidiki suatu penyakit cendawan pada padi yang disebabkan oleh *Giberelin fujikuroi*. Bila cendawan ini dikulturkan ternyata mengeluarkan suatu zat ke medium yang disebut giberelin A, yang dapat mendorong timbulnya gejala penyakit bila disemprotkan pada tanaman sehat, dan dapat mendorong pemanjangan batang pada sejumlah jenis tanaman lain. Pada tahun 1936 kristal giberelin A dapat diisolasi dari filtrate kultur cendawan ini. Baru setelah Perang Dunia II, para ahli dari Inggris dan Amerika Serikat menyadari pentingnya zat tumbuhan ini. Penelitian yang intensif yang dilakukan di ketiga negara tersebut memungkinkan, bahwa giberelin A sebenarnya adalah campuran dari sekurang-kurangnya 6 jenis giberelin yang disebut GA<sub>1</sub>, GA<sub>2</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub>, GA<sub>7</sub> dan GA<sub>9</sub>. Giberelin A<sub>3</sub> (asam giberelin) yang paling mudah didapat dan paling banyak digunakan dalam penelitian. Campuran GA<sub>3</sub> dan GA<sub>7</sub> tersedia secara komersial (Moore, 1979).

Dengan prosedur bioassay ternyata banyak ekstrak tumbuhan mengandung aktivitas senyawa sejenis giberelin, sebagian berstruktur sama dengan yang diisolasi dari cendawan tadi, sebagian lagi berstruktur molekul yang lain. Pada saat ini telah diketahui bahwa tumbuhan berhijau daun mengandung GA<sub>1</sub>, GA<sub>2</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>5</sub>, GA<sub>6</sub>, GA<sub>7</sub> dan GA<sub>8</sub>. Telah pula diketahui adanya sekitar 40 macam struktur dan mungkin masih akan ditemukan lagi struktur tambahan. Giberelin terdapat dalam berbagai organ seperti akar, batang, tunas, daun, tunas-tunas bunga, bintil akar, buah dan jaringan kalus.

Di alam telah ditemukan lebih dari sepuluh jenis giberelin. Menurut Weaver (1972), giberelin ada yang ditemukan dalam jamur *Gibberella Fujikuroi*, ada yang ditemukan pada tanaman tinggi dan ada juga yang ditemukan pada keduanya. Jenis giberelin yang ditemukan pada jamur yaitu GA1, GA2, GA3, GA4, GA7, GA9, s.d GA16, GA24, GA25, GA36. Sedangkan jenis giberelin yang ditemukan pada tanaman derajat tinggi yaitu GA1, s.d GA9, GA13, GA17, s.d GA23, GA26, s.d GA35. Dan yang terakhir yaitu giberelin yang ditemukan pada jamur dan tanaman derajat tinggi yaitu GA1, s.d GA4, GA7, GA9, dan GA13. Giberelin ; GA1 s.d GA5, GA7 s.d GA9, GA19, GA20, GA26, GA27, dan GA29 ditemukan pada *Pharbitis nil*, GA1, GA5, GA8, GA9, GA13, ditemukan pada umbi tulip, kemudian GA3, GA4, GA7, ditemukan pada anggur, GA18, GA19, GA20, ditemukan pada pucuk bambu, GA3, GA4, GA7, dijumpai pada biji apel, selanjutnya GA21, dan GA22, dijumpai pada sword bean. Pada tanaman lain yaitu : *Lipinus lutens* (GA18, GA23, GA28), pada pucuk tanaman jeruk dan biji mentimun ditemukan GA1, tebu (GA5), pisang (GA7), kacang, jagung, barley wheat ditemukan GA1. Adapun pada tanaman *Phaseolus coclirecus* ditemukan ; GA1, GA3 s.d GA6, GA8, GA13, GA17, dan GA20. Kemudian pada *Rudbeckia bicolor* ditemukan ; GA1, GA4, GA7, s.d GA9. Dan yang terakhir yaitu pada *Calonyction aculeatum* ditemukan GA30, GA31, GA33, dan GA34.

Sebagian besar GA yang diproduksi oleh tumbuhan adalah dalam bentuk inaktif, dan tampaknya memerlukan prekursor untuk menjadi bentuk aktif. Pada spesies tumbuhan dijumpai kurang lebih 15 macam GA. Disamping terdapat pada tumbuhan ditemukan juga pada alga, lumut dan paku, tetapi tidak pernah dijumpai pada bakteri. GA



ditransportasikan melalui xilem dan floem, tidak seperti auxin pergerakannya bersifat tidak polar.

Asetil-CoA, yang berperan penting pada proses respirasi berfungsi sebagai prekursor pada sintesis GA. Kemampuannya untuk meningkatkan pertumbuhan pada tanaman lebih kuat dibandingkan dengan pengaruh yang ditimbulkan oleh auxin apabila diberikan secara tunggal. Namun demikian auxin dalam jumlah yang sangat sedikit tetap dibutuhkan agar GA dapat memberikan efek yang maksimal.

Sebagian besar tumbuhan dikotil dan sebagian kecil tumbuhan monokotil akan tumbuh cepat jika diberi GA, tetapi tidak demikian halnya pada tumbuhan konifer misalnya pinus. Jika GA diberikan pada tanaman kubis tinggi tanamannya bisa mencapai 2 m. Banyak tanaman yang secara genetik kerdil akan tumbuh normal setelah diberi GA.

Efek giberelin tidak hanya mendorong perpanjangan batang, tetapi juga terlibat dalam proses regulasi perkembangan tumbuhan seperti halnya auxin. Pada beberapa tanaman pemberian GA bisa memacu pembungaan dan mematahkan dormansi tunas-tunas serta biji.

Disintesis pada ujung batang dan akar, giberelin menghasilkan pengaruh yang cukup luas. Salah satu efek utamanya adalah mendorong pemanjangan batang dan daun. Pengaruh GA umumnya meningkatkan kerja auxin, walaupun mekanisme interaksi kedua ZPT tersebut belum diketahui secara pasti. Demikian juga jika dikombinasikan dengan auxin, giberelin akan mempengaruhi perkembangan buah misalnya menyebabkan tanaman apel, anggur, dan terong menghasilkan buah walaupun tanpa fertilisasi. Diketahui juga bahwa giberelin digunakan secara luas untuk menghasilkan buah

anggur tanpa biji pada varietas Thompson. Giberelin menyebabkan ukuran buah anggur lebih besar dengan jarak antar buah yang lebih renggang di dalam satu gerombol. Giberelin juga berperan penting dalam perkecambahan biji pada banyak tanaman. Biji-biji yang membutuhkan kondisi lingkungan khusus untuk berkecambah seperti suhu rendah akan segera berkecambah apabila disemprot dengan giberelin. Diduga giberelin yang terdapat di dalam biji merupakan penghubung antara isyarat lingkungan dan proses metabolik yang menyebabkan pertumbuhan embrio. Sebagai contoh, air yang tersedia dalam jumlah cukup akan menyebabkan embrio pada biji rumput-rumputan mengeluarkan giberelin yang mendorong perkecambahan dengan memanfaatkan cadangan makanan yang terdapat di dalam biji. Pada beberapa tanaman, giberelin menunjukkan interaksi antagonis dengan ZPT lainnya misalnya dengan asam absisat yang menyebabkan dormansi biji.

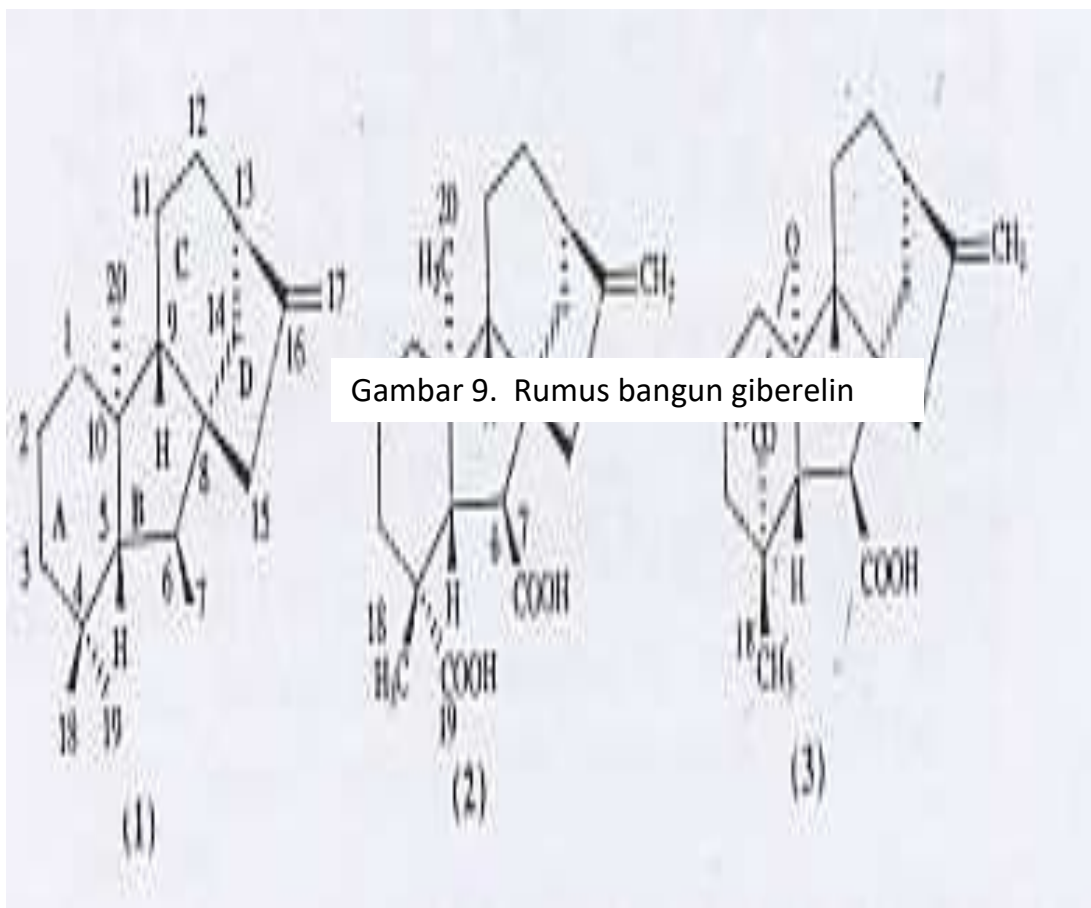
Giberelin (GAs) merupakan senyawa diterpenoid tetrasiklik dengan rangka *ent-gibberelene* yang disebut *ent-kaurene* (Gambar 9). Ada 2 tipe utama GAs yaitu yang mempertahankan kerangka *ent-kaurene* disebut C<sub>20</sub>-GAs atau punya atom carbon penuh yaitu 20 C dan yang kehilangan C<sub>20</sub> disebut *ent*<sub>20</sub> non-gibberelane (C<sub>19</sub>-GAs) atau atom carbon yang ke 20 hilang dalam metabolisme. Saat ini telah ditemukan 89 jenis GAs, diberi nomor dari GA<sub>1</sub>-GA<sub>89</sub>. Menurut Weaver (1972), perbedaan utama pada gibereline adalah : (a) pada beberapa gibereline mempunyai 19 buah atom karbon dan yang lainnya mempunyai 20 buah atom karbon ; (b) Grup hidroksil berada dalam posisi 3 dan 13 (*ent*- gibberellene numbering system). Semua gibereline dengan 19 atom karbon adalah monocarboxylic acid yang mengandung COOH grup pada posisi 7 dan mempunyai sebuah lactonering. Di alam, dijumpai pula beberapa senyawa yang di ekstrak dari tanaman.

Senyawa tersebut tidak mengandung gibereline atau gibberellane structure tetapi termasuk ke dalam gibereline. Tetapi ada pula senyawa lain yang ditemukan tanpa gibban skeleton yaitu "Steviol", namun aktivitasnya seperti gibereline.

Macam-macam giberelin ada yang endogen mulai dari :  $GA_1$  sampai dengan  $GA_{58}$  misalnya  $GA_1$  pada jagung, kacang tanah, pisang, tebu dan  $GA_7$  pada biji muda mentimun. Disamping itu ada pula sintetik umumnya adalah  $GA_3$ , tetapi ada juga  $GA_4$ ,  $GA_7$ ,  $GA_9$  sintetik.

Sifat-sifat struktur yang diperlukan untuk aktivitas kimia giberelin adalah :

1. Untuk aktivitas yang tinggi diperlukan adanya cincin A, B, C, D yang utuh dari ent-giberelin
2. Gugus karboksil (COOH) pada  $C_7$  diperlukan untuk aktivitas yang tinggi
3. Gas yang paling aktif adalah Gas yang mempunyai ikatan lakton (CO--O--C/CO pada  $C_{19}$  dan C pada  $C_{10}$ ) pada cincin A.



:  
A<sub>11</sub>,

2. Jumlah dan letak dari gugusan karboksil.
  - a. 1 gugus karboksil → pada C<sub>7</sub>
  - b. Lebih dari 1 gugus karboksil → C<sub>7</sub>, C<sub>18</sub>, C<sub>19</sub> dan C<sub>20</sub>
3. Letak ikatan tidak jenuh pada cincin A dan ini hanya untuk C<sub>19</sub>-GAS.  
Ikatan tak jenuh dapat terletak pada Δ 1,2 ; Δ 2,3 ; Δ 1,10.
4. Jumlah dan letak dari gugus hidroksil :
  - a. 1 gugus umumnya pada C<sub>3</sub>
  - b. > 1 gugus – C<sub>3</sub> dan C<sub>13</sub>, C<sub>3</sub> dan C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub> dan C<sub>16</sub>, C<sub>3</sub> dan C<sub>2</sub>

## 2.2. Peranan Fisiologi Giberelin

Giberelin sebagai hormon tumbuh pada tanaman sangat berpengaruh pada sifat genetik (*genetic dwarfism*), pembuangan, penyinaran, partohenocarpy, mobilisasi karbohidrat selama perkecambahan (*germination*) dan aspek fisiologi lainnya. Giberelin mempunyai peranan dalam mendukung perpanjangan sel (*cell elongation*), aktivitas kambium dan mendukung pembentukan RNA baru serta sintesa protein.

### a. Genetic dwarfism.

Giberelin dapat mengatasi gejala genetic dwarfism karena fungsi giberelin dalam pemanjangan sel, sehingga tanaman yang kerdil bisa menjadi lebih tinggi. Genetic dwarfism adalah suatu gejala kerdil yang disebabkan oleh adanya mutasi. Gejala ini terlihat dari memendeknya internodus (ruas batang). Terhadap Genetic dwarfism ini, Giberelin mampu merubah tanaman yang kerdil menjadi tinggi. Hal ini telah dibuktikan oleh Brian dan Hemming (1955, dalam Weaver, 1972). Dalam eksperimennya dilakukan penyemprotan gibberellic acid pada berbagai varietas kacang. Hasil dari eksperimen ini menunjukkan bahwa gibberellic acid berpengaruh terhadap tanaman kacang yang kerdil

menjadi tinggi. Mengenai hubungannya dengan cell elongation, dikemukakan bahwa giberelin mendukung pengembangan dinding sel. Penggunaan giberelin akan mendukung pembentukan enzim protolictic yang akan membebaskan tryptophan sebagai asal bentuk dari auxin. Hal ini berarti bahwa kehadiran giberelin tersebut akan meningkatkan kandungan auxin. Mekanisme lain menerangkan bahwa giberelin akan menstimulasi cell elongation, karena adanya hidrolisa pati yang dihasilkan dari giberelin, akan mendukung terbentuknya  $\alpha$ -amilase. Sebagai akibat dari proses tersebut, maka konsentrasi gula meningkat yang mengakibatkan tekanan osmotik di dalam sel menjadi naik, sehingga ada kecenderungan sel tersebut berkembang.

#### **b. Pembungaan (flowering)**

Giberelin sebagai salah satu hormon tumbuh pada tanaman, mempunyai peranan dalam pembungaan. Umumnya giberelin tinggi menyebabkan tanaman terhambat berbunga, sebaliknya tanaman terinduksi berbunga apabila kandungan giberelinnya menurun. Namun demikian, hal tersebut tidak berlaku umum untuk semua tanaman karena pada berbagai tanaman pembungaanya justru memerlukan kandungan giberelin tinggi.

#### **c. Parthenocarp dan fruit-set**

Giberelin dapat merangsang terbentuknya buah partenokarpi seperti anggur dan tomat, sebab GA dapat merangsang pembuahan tanpa melalui penyerbukan. Seperti auxin, giberelinpun berpengaruh terhadap parthenocarp. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gibberellic acid ( $GA_3$ ) lebih efektif dalam terjadinya parthenocarp dibanding dengan auxin yang dilakukan pada blueberry. Hasil

eksperimen lain menunjukkan pula bahwa GA<sub>3</sub> dapat meningkatkan tandan buah (fruit set) dan hasil.

#### **d. Peranan Giberelin dalam pematangan buah (fruit ripening)**

Pematangan (ripening) adalah suatu proses fisiologis, yaitu terjadinya perubahan dari kondisi yang tidak menguntungkan ke suatu kondisi yang menguntungkan, ditandai dengan perubahan tekstur, warna, rasa dan aroma. Dalam proses pematangan ini, giberelin mempunyai peran penting yaitu mampu mengundurkan pematangan (repening) dan pemasakan (maturing) suatu jenis buah. Dari hasil penelitian menunjukkan aplikasi giberelin pada buah tomat dapat memperlambat pematangan buah, sedangkan gibberellic acid yang diterapkan pada buah pisang matang, pemasakannya dapat ditunda.

#### **e. Mobilisasi bahan makanan selama fase perkecambahan (germination)**

Biji cerealia terdiri dari embrio dan endosperm. Didalam endosperm terdapat masa pati (starch) yang dikelilingi oleh suatu lapisan "aleurone". Sedangkan embrio itu sendiri merupakan suatu bagian hidup yang suatu saat akan menjadi dewasa. Pertumbuhan embrio selama perkecambahan bergantung pada persiapan bahan makanan yang berada di dalam endosperm. Untuk keperluan kelangsungan hidup embrio maka terjadilah penguraian secara enzimatik yaitu terjadi perubahan pati menjadi gula yang selanjutnya ditranslokasikan ke embrio sebagai sumber energi untuk pertumbuhannya. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa giberelin berperan penting dalam proses aktivitas amilase. Hal ini telah dibuktikan dengan menggunakan GA yang mengakibatkan aktivitas amilase meningkat. Aktivitas enzim  $\alpha$ -amilase dan protease di dalam

endosperm juga didukung oleh GA melalui de-novo synthesis. Hal ini ada hubungannya dengan terbentuknya DNA baru yang kemudian menghasilkan RNA.

#### **f. Stimulasi aktivitas cambium dan perkembangn xylem**

Giberelin mempunyai peranan dalam aktivitas kambium dan perkembangn xylem. Weaver (1972) menjelaskan bahwa aplikasi GA<sub>3</sub> dengan konsentrasi 100, 250, dan 500 ppm mendukung terjadinya diferensiasi xylem pada pucuk olive. Begitu pula dengan mengadakan aplikasi GA<sub>3</sub> + IAA dengan konsentrasi masing-masing 250 dan 500 ppm, maka terjadi pengaruh sinergis pada xylem. Sedangkan aplikasi auxin saja tidak memberi pengaruh pada tanaman.

#### **g. Pemecahan Dormansi**

Fungsi penting giberelin yang lain adalah dalam hal mematahkan dormansi/mempercepat perkecambahan, dengan cara GA yang dihasilkan di embrio masuk ke lapisan aleuron dan disana menghasilkan enzim amylase. Enzim ini kemudian masuk ke endosperm, disana merubah pati menjadi gula dan energi. Selain itu GA juga dapat menyebabkan kulit lebih permeabel terhadap air dan udara. Dormansi adalah masa istirahat bagi suatu organ tanaman atau biji. Bisa juga diartikan sebagai adalah kemampuan biji untuk mengundurkan fase perkecambahannya hingga saat dan tempat itu menguntungkan untuk tumbuh. Secara umum terjadinya dormansi adalah disebabkan oleh faktor luar dan faktor dalam. Faktor yang menyebabkan dormansi pada biji adalah: 1. tidak sempurnanya embrio (rudimentary embriyo); 2. embrio yang belum matang secara fisikologis (physiological immature embriyo); 3. kulit biji yang tebal (tahan terhadap gerakan mekanis);

4. kulit biji impermeable (impermeable seed coat); dan 5. adanya zat penghambat (inhibitor) untuk perkecambahan (presence of germination inhibitors). GA<sub>3</sub> dapat memecahkan dormansi karena menstimulasi terbentuknya  $\alpha$ -amilase dan enzim hidrolitik. Prosesnya adalah GAs di transfer ke aleuron, disana menstimulir terbentuknya  $\alpha$ -amilase dan enzim hidrolitik (Gambar 10). Enzim itu disekresikan ke endosperm mendorong hidrolisis cadangan makanan (pati menjadi gula). Jadi GAs mendorong pertumbuhan biji dengan meningkatkan plastisitas dinding sel diikuti hidrolisis pati menjadi gula. Proses-proses tersebut menyebabkan potensial air sel turun, air masuk ke sel dan akhirnya sel memanjang.



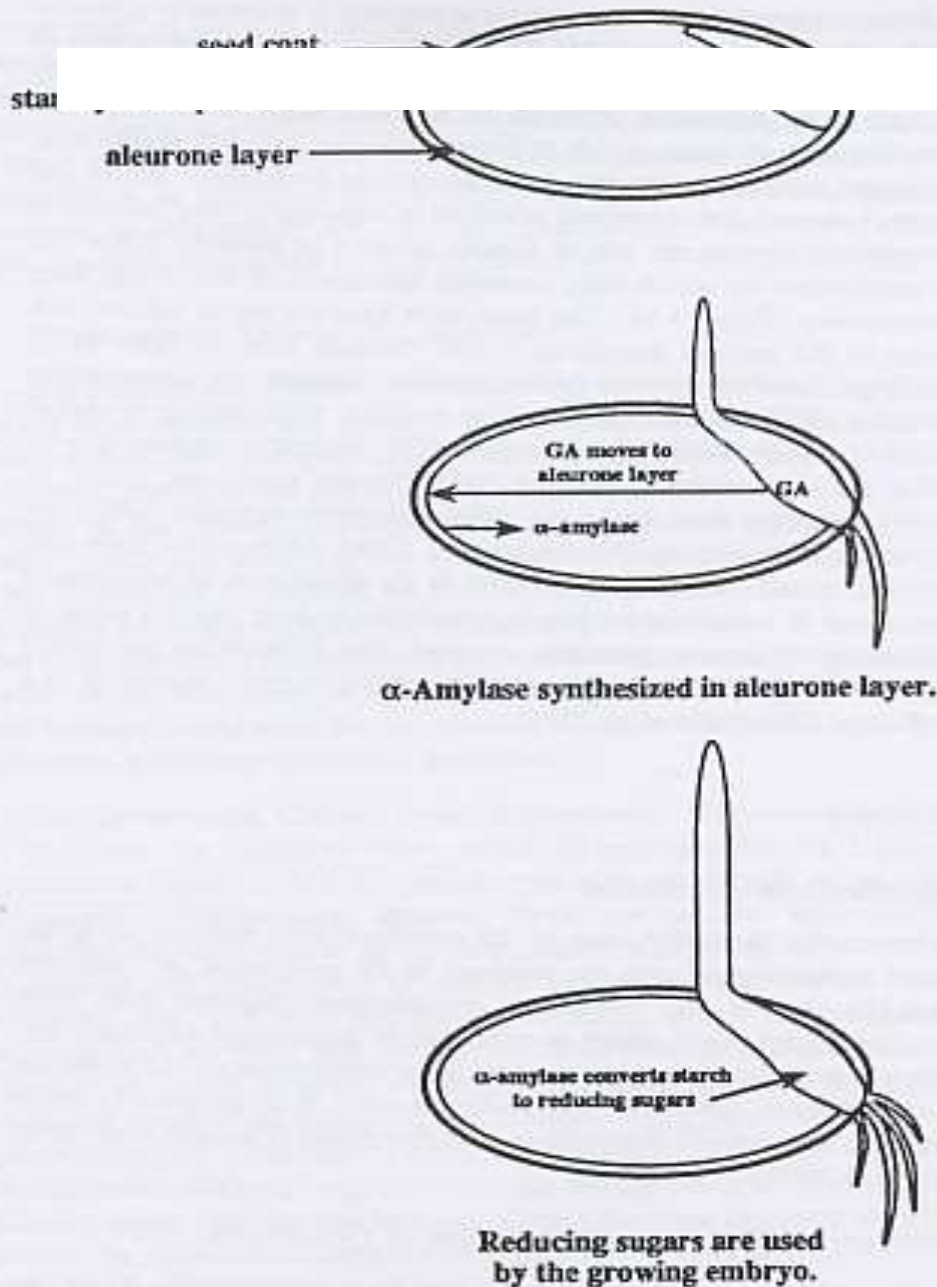
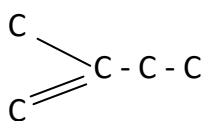


Figure 3.14. Schematic representation of the production of gibberellins in barley seeds and subsequent transport to the aleurone layer of cells, where it stimulates  $\alpha$ -amylase which causes the conversion of starch to sugar for energy to be used for growth.

Gambar 10. Skematis produksi giberelin pada biji barley dan transportnya ke lapisan sel aleuron, disana menstimulai  $\alpha$ -amilase yang menyebabkan terkonversinya pati menjadi gula untuk energi dalam perkecambahan

### 2.3. Biosintesis dan Pengangkutan Giberelin

Giberelin adalah zat kimia yang dikelompokkan kedalam terpinoid. Semua kelompok terpinoid terbentuk dari unit isoprene yang terdiri dari 5 atom karbon.



Unit Isoprene (5-C)

Unit-unit isoprene ini dapat bergabung sehingga menghasilkan monoterpena (C-10), sesquiterpena (C-15), diterpena (C-20) dan triterpena (C-30). Biosintesis gibereline yang terdapat dalam jamur *Gibberella Fujikuroi* berproses dari Mevalonic acid sampai menjadi giberelin.

Tempat sintesis adalah pada semua jaringan yang sedang tumbuh dan jaringan yang berdiferensiasi serta pada biji dan buah yang sedang berkembang.

Pengangkutan polar rupanya tidak berlaku untuk giberelin, sitokinin dan asam absisik. Fitohormon-fitohormon ini bergerak melalui jaringan-jaringan pembuluh floem dan xylem dan juga melalui system apoplas dan simplas. Banyak kenyataan yang menunjukkan bahwa giberelin dan sitokinin ditranslokasikan bukan dalam bentuk bebas. Eksudat-eksudat dari jaringan fluem bunga matahari, kacang kapri, anggur dan tanaman lainnya semuanya mengandung GA-glukosida. Bentuk GA-glukosida ini adalah bentuk GA cadangan maupun GA yang ditranslokasikan. Kenyataan-kenyataan yang sama pun didapat untuk sitokinin dan asam absisik. Eksudat-eksudat dari xylem maupun fluem mengandung kedua fitohormon ini dalam keadaan yang terikat.

Jalur biosintesis giberelin terdiri atas 4 lintasan, yaitu :

1. Jalur dari mevalonic acid (MVA) ke geranil-geranil pyrofosfat (GGPP)
2. Siklisasi GGPP menjadi Ent-kaurene
3. Ent-kaurene menjadi GA<sub>12</sub>-aldehida
4. Jalur dari GA<sub>12</sub>-aldehida ke GAs

Jalur dari mevalonic acid ke geranil-geranil pyrofosfat (GGPP) sampai menjadi GA<sub>12</sub>-aldehida (jalur nomor 1 –3 ) sama untuk semua tanaman tingkat tinggi. Karena begitu banyak GAs maka tidak ada satu jalur khusus baik bagi GAs yang terdapat pada fungi maupun yang terdapat pada tanaman. Walaupun demikian sebagian dari jalur biosintesa itu yaitu mulai dari MVA (C<sub>6</sub>) → ent-Kaurene → GA<sub>12</sub> aldehida adalah sama untuk fungi maupun tanaman.

Jalur dari MVA ke GPP ada beberapa langkah yaitu aktivasi dari MVA menjadi MVA-PP dengan enzim MVA Kinase, memerlukan ATP, Mg<sup>++</sup> atau Mn<sup>++</sup>, dilanjutkan dengan pembentukan GGPP dari IPP dan DMAP, enzimnya GGPP sintetase. Setelah itu terjadi pembentukan cincin (cyclization) ent-Kaurene dari GGPP. Pada tahap perubahan ent-kaurene menjadi GA<sub>12</sub>-aldehida

tidak terdapat hasil antara (intermediate) diantara kedua senyawa tersebut. Para ahli berpendapat bahwa proses itu terjadi dari kontraksi cincin B. Cincin B yang mula-mula terdiri dari 6 C berkontraksi menjadi cincin B dengan 5 C + C<sub>7</sub> diluar cincin tersebut. Pada jalur sesudah GA<sub>12</sub>-aldehida menjadi Gas (GA<sub>4</sub>) menurut Wareing dan Phillips (1981), melalui langkah-langkah berikut yaitu :

- (1) Oksidasi dari gugus 7 Beta aldehida
- (2) Hilangnya gugus 10 alpametil
- (3) Pembentukan ikatan lakton antara C<sub>19</sub> dan C<sub>10</sub>

Kemudian dari  $GA_4$  ada 4 jalur untuk membentuk  $GA_{16}$ ,  $GA_{17}$ ,  $GA_1$  dan  $GA_7$  dengan proses sebagai berikut :

(1)  $GA_4 \rightarrow$  hidroksilasi pada  $C_1 \rightarrow GA_{16}$

(2)  $GA_4 \rightarrow$  hidroksilasi pada  $C_2 \rightarrow GA_{17}$

(3)  $GA_4 \rightarrow$  hidroksilasi pada  $C_{13} \rightarrow GA_1$

(4)  $GA_4 \rightarrow$  membentuk ikatan rangkap antara  $C_1$  dan  $C_2$  ( $\Delta 1,2$ )  $\rightarrow$   
 $GA_7$

(5)  $GA_7 \rightarrow$  hidroksilasi  $\rightarrow GA_3$  pada  $C_{13}$

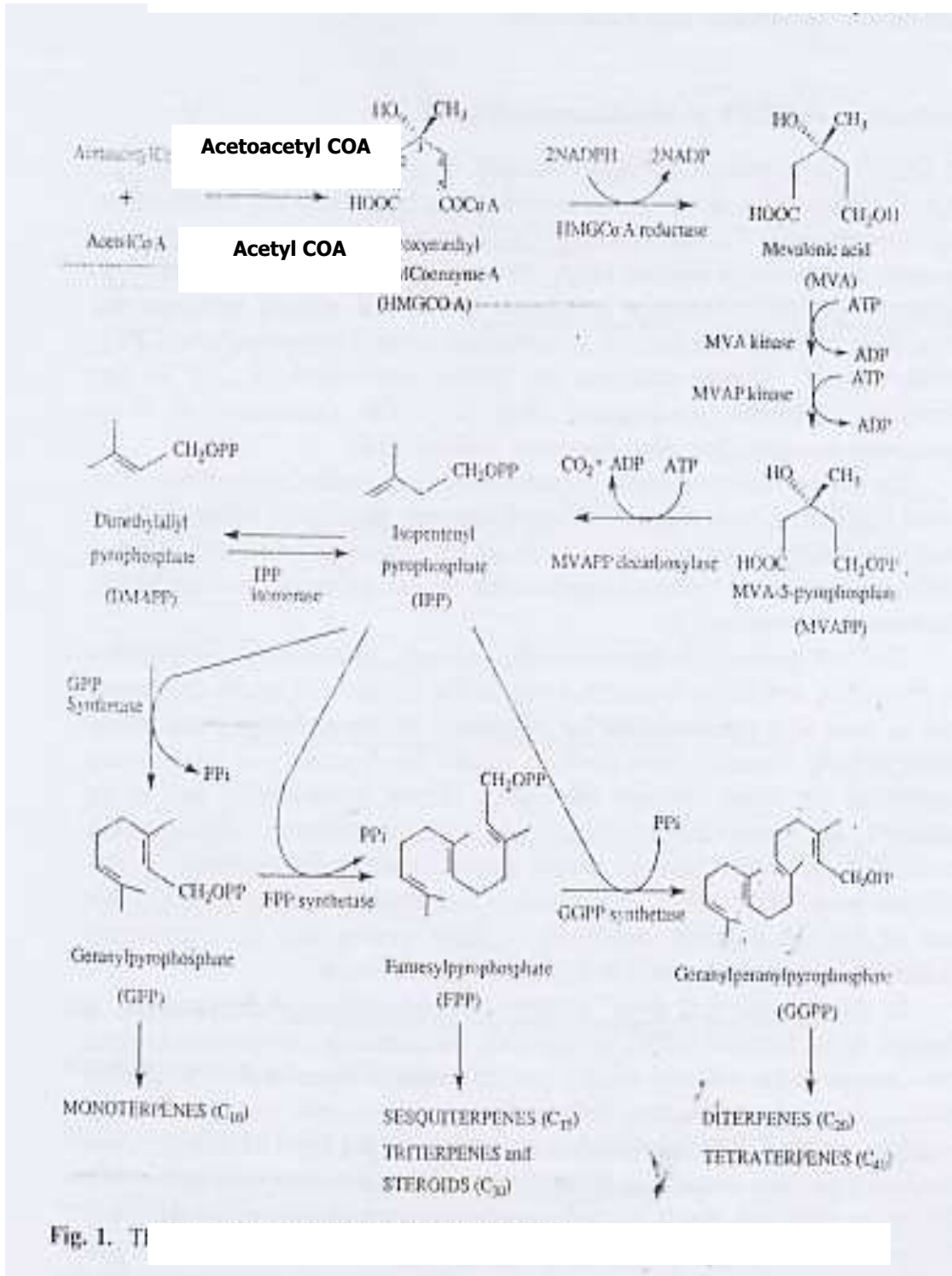
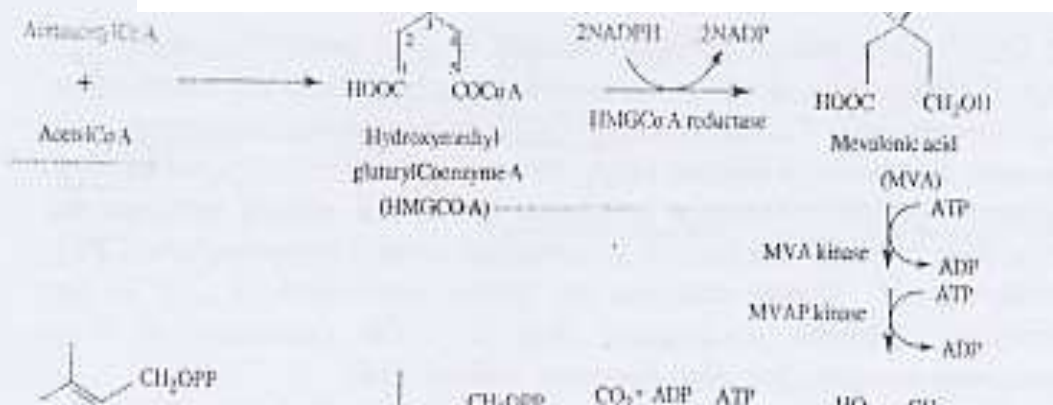


Fig. 1. Tl

Gambar 11. Jalur dari Mevalonic Acid menjadi geranyl-geranyl pyrophosphate (GGPP)



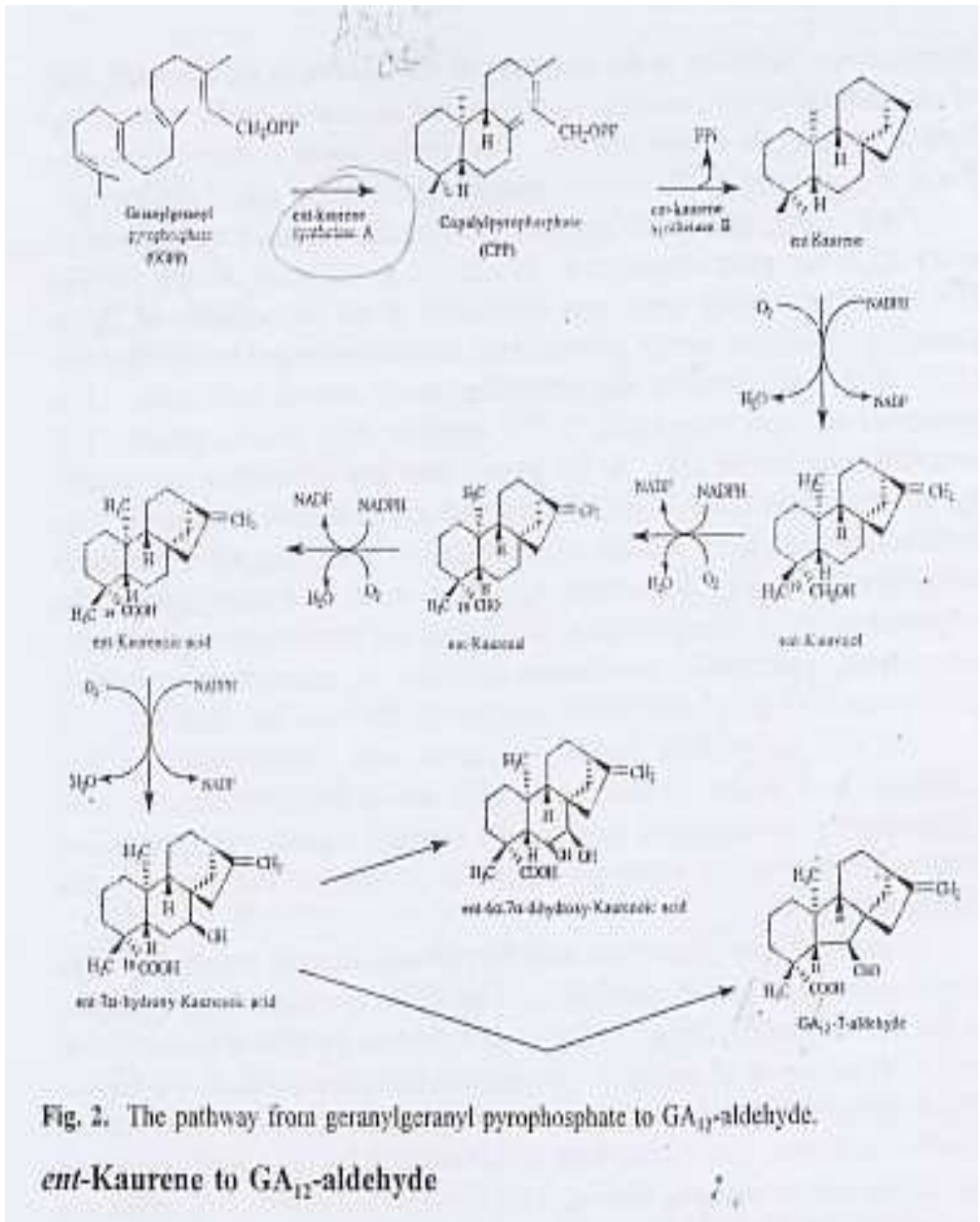
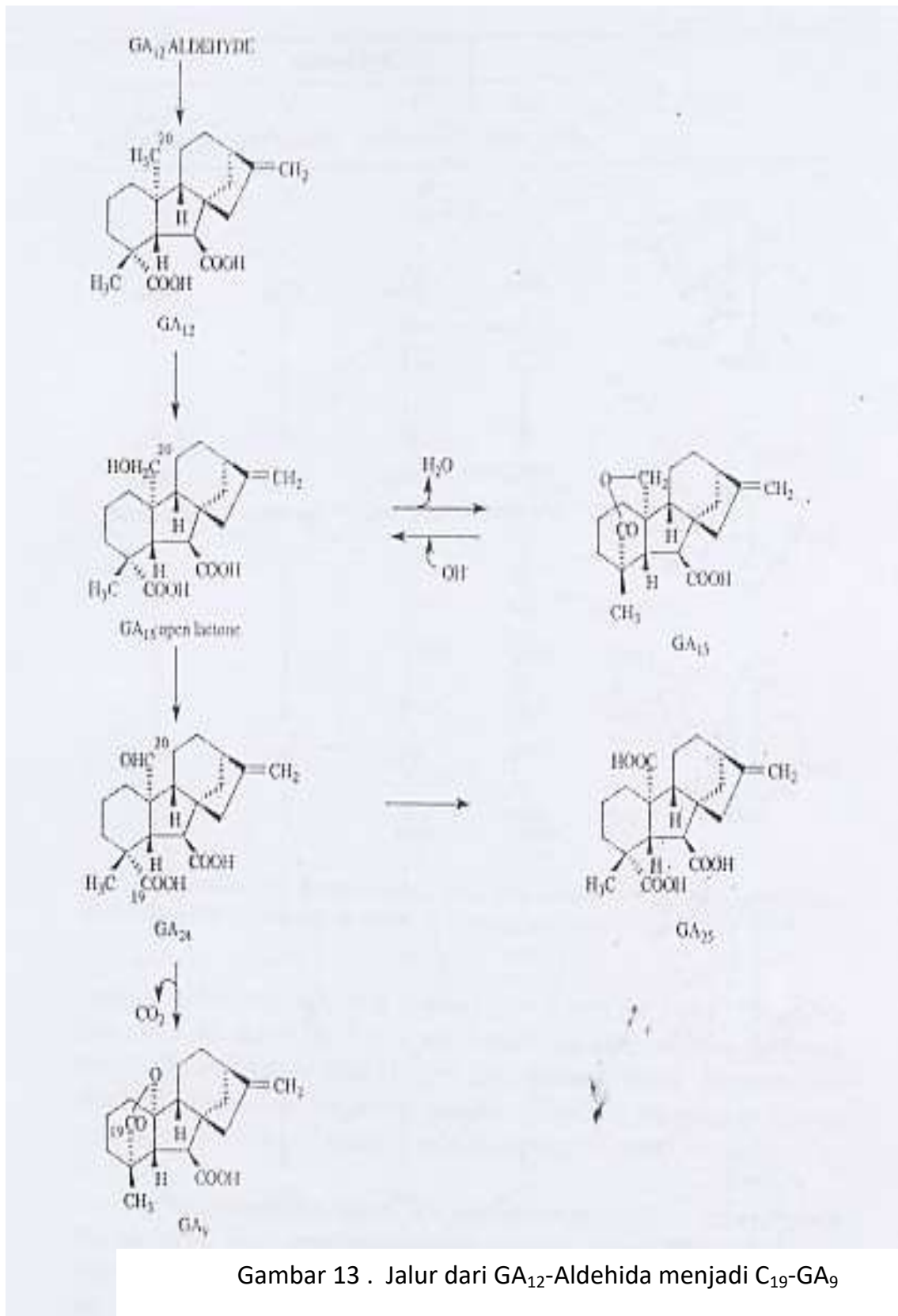


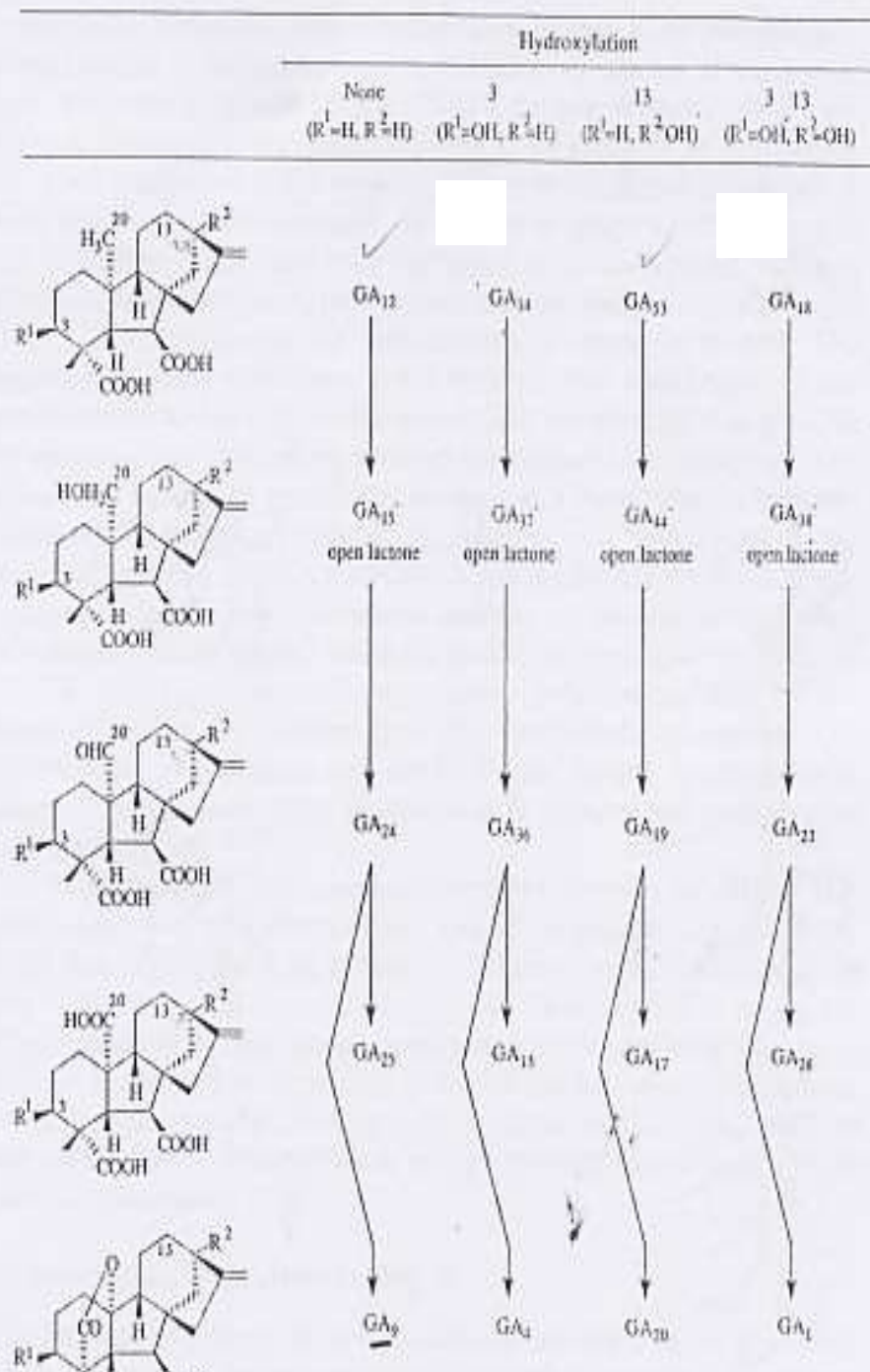
Fig. 2. The pathway from geranylgeranyl pyrophosphate to GA<sub>12</sub>-aldehyde.

**ent-Kaurene to GA<sub>12</sub>-aldehyde**

Gambar 12. Jalur dari GGPP menjadi GA<sub>12</sub>-aldehida



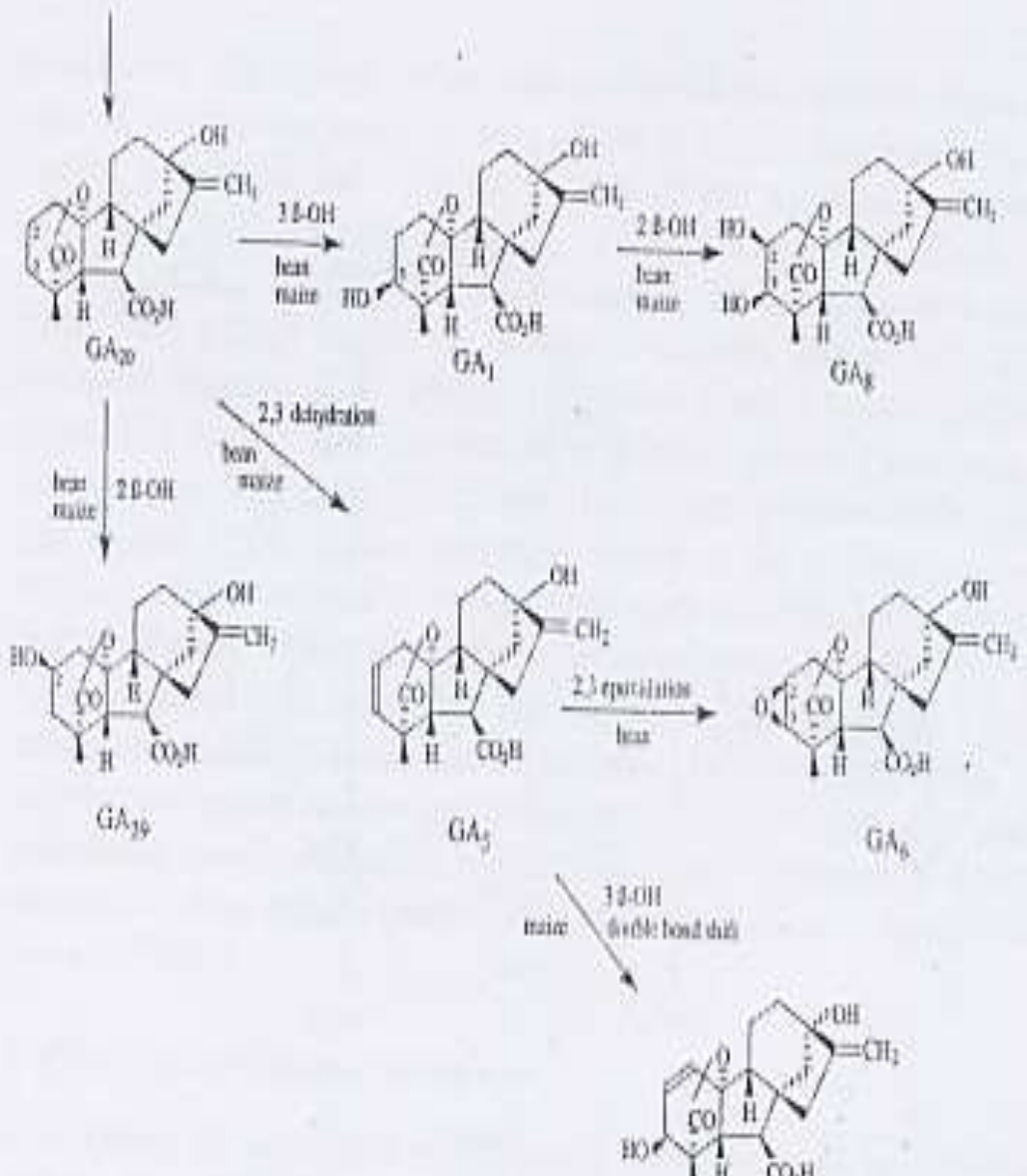
Gambar 13 . Jalur dari GA<sub>12</sub>-Aldehida menjadi C<sub>19</sub>-GA<sub>9</sub>



Gambar 14. Jalur metabolik menjadi C<sub>19</sub>-GAs



G



Gambar 15. Metabolisme GA<sub>20</sub> pada buncis dan jagung menjadi GA<sub>3</sub>

Fig. 9. The metabolism of GA<sub>20</sub> in *Phaseolus vulgaris* (bean) and *Zea mays* (maize).

Bentuk-bentuk Gas alamiah terdiri dari :

1. GAs bebas (free Gas) yaitu GAs yang tidak terikat pada glukosa dan larut dalam methanol, terdiri dari C<sub>19</sub>-GAs atau C<sub>20</sub>-GAs mono, di atau tri karboksilat.
2. GAS yang larut dalam air atau "bound GAS " (Water soluble GAS). Senyawa menyerupai GA, sangat polar dan larut dalam air. Terdapat pada buah, biji, umbi kentang, umbi tulip, kecambah tomat, ujung-ujung tunas tembakau. Bentuknya bermacam-macam terdiri dari sekurang-kurangnya dua atau lebih senyawa. Salah satu GAS yang sangat polar ini adalah GA bebas yang telah ditentukan struktur kiniannya. GA ini dikenal dengan nama GA<sub>32</sub> yang terdapat pada biji muda dari *Prunus armeniaca* (Davies, 1995).
3. Conjugated GAs. Pada conjugated GA, GAs ini terikat pada glukosa dalam bentuk glukosida dan glukosil ester. Glukosida merupakan pengikatan glukosa dengan GAs melalui gugus hidroksil dari GA (GA--O--glukosa). Sedangkan ester glukosil merupakan pengikatan glukosa dengan GAs melalui gugus karboksilat (COOH) dari GA (GA--COO--glukosa).
4. Inter Konversi. GAS berbeda di dalam palensinya dan GAS yang terdapat pada fase perkembangan tertentu dari tanaman atau organ tidak terdapat pada fase perkembangan berikutnya. Di dalam organ/tanaman terjadi interkonversi seperti : (a) Antara Free GA (GA<sub>6</sub> – GA<sub>3</sub> dan GA<sub>8</sub>), (b) Conjugated GAS → Free GAS, (c) Bound GAS → Free GAS.

Terdapat perbedaan antara GAs conjugated dengan auxin conjugated, karena pada GAs hanya terdapat dalam glukosida dan glukosil ester, sedangkan pada auxin terdapat dalam bentuk glukosida, glukosil ester dan peptida. Pada auxin istilah bound auxin adalah sinonim dengan conjugated auxin sedangkan pada pada GA tidak. Pada

GA yang disebut bound Giberelin adalah senyawa menyerupai GA (GA like substance) yang lebih polar dari GA bebas.

Metode yang digunakan untuk melacak tempat biosintesa dari GAS antara lain :

1. Pemotongan organ diikuti pemberian GAS eksogen. Dalam hal ini organ dipotong lalu diberi GAS eksogen, kemudian dibandingkan dengan tanaman yang tidak dipotong organnya.
2. Ekstraksi lalu dilakukan determinasi.
3. Difusi. Mula-mula dipergunakan untuk auxin tetapi dapat digunakan juga untuk GAs. Perbedaan antara ekstraksi dan difusi adalah bahwa pada ekstraksi diketahui kadar GA pada satu waktu tertentu. Sedangkan pada difusi mengetahui pembentukan kadar GA pada suatu selang waktu (periode).
4. Penggunaan inhibitor pada GA biosintesa. Penggunaan inhibitor dilakukan pada potongan organ kemudian dilanjutkan dengan mengukur jumlah GAs yang terbentuk pada suatu periode waktu dengan metode difusi.

Berdasarkan metode-metode tersebut didapatkan bahwa GAS dibuat : (1) di daun muda dari pucuk tunas, (2) ujung-ujung akar (3 -4 mm), dan (3) biji yang sedang berkembang (Davies, 1995).

Pengaturan kadar GA dalam tubuh tanaman dilakukan melalui mekanisme :

- a. Pengaturan sintesis in situ
- b. Pembentukan *Bound GAs* atau *Conjugated GAs*. Bound GAs dianggap sebagai GAs cadangan atau GAs simpanan, atau GAs dalam bentuk dapat ditransport. Dari bound GAs dapat dilepas GAs. Contohnya GA<sub>3</sub>-glukosida

c. Dengan interkonversi (Gambar 16). Adanya interkonversi menyebabkan kadar GAs pada jaringan atau organ pada suatu waktu tidak konstan.

Di dalam proses biosintesis telah ditemukan zat penghambat (growth retardant) di dalam aktivitas ini. Beberapa contoh growth retardant yang menghambat biosintesis gibereline pada tanaman antara lain Amo-1618 (2-isopropil-4-dimetil-kamine-5 metil phenil-4piperidine karboksilatmetil klorida) menghambat biosintesis gibereline pada tanaman mentimun liar (*Exhmoctis*

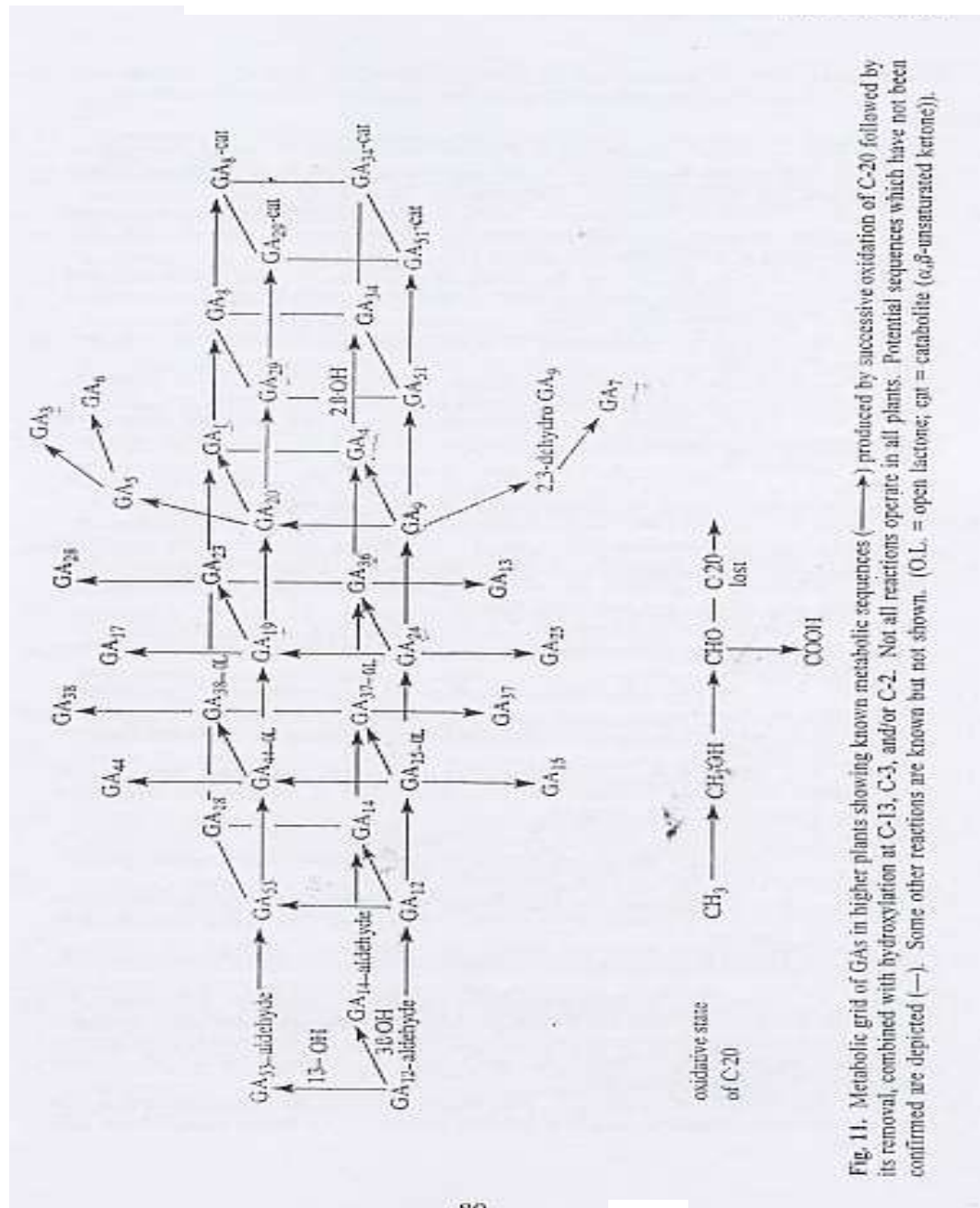
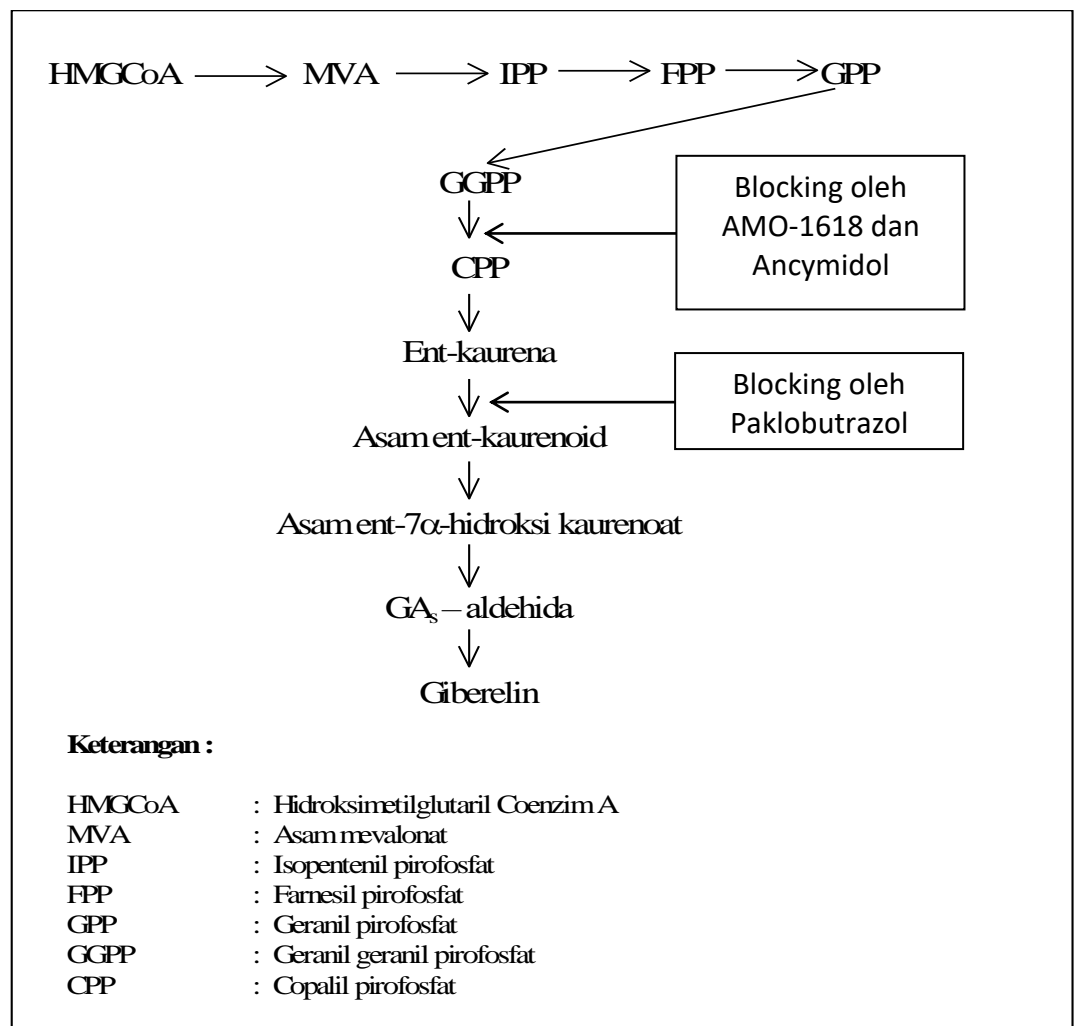


Fig. 11. Metabolic grid of GAs in higher plants showing known metabolic sequences (—) produced by successive oxidation of C-20 followed by its removal, combined with hydroxylation at C-13, C-3, and/or C-2. Not all reactions operate in all plants. Potential sequences which have not been confirmed are depicted (---). Some other reactions are known but not shown. (O.L. = open lactone; cat = catabolite (α,β-unsaturated ketone)).

Gambar 16. Interkonversi berbagai bentuk Gas pada tanaman tingkat tinggi (Davies, 1995)

macrocarpa). Amo-1618 menghambat dalam proses perubahan dari Geranylgeranyl pyrophosphat ke Kaurene. Begitu pula growth retardant CCC (2-chloroethyl) trimethyl (-amonium chloride) memperlihatkan aktivitas yang sama dengan Amo-1618. Biosintesis GAs dapat dihambat dengan menggunakan inhibitor sintetik, yaitu :

- AMO-1618 dan cycloesel, memblok biosintesis pada reaksi yang enzimnya ent-kaurene synthase.
- Paklobutrazol, anzimidol dan uniconazole, memblok reaksi ent-kaurene menjadi ent-kaurenol (Gambar 17)

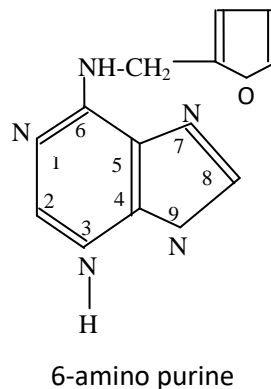


Gambar 17. Penghambatan *growth retardant* dalam biosintesis

### III. SITOKININ

#### 3.1. Jenis-Jenis Sitokinin

Sitokinin merupakan senyawa derivat adenin yang dicirikan oleh kemampuannya menginduksi pembelahan sel (cell division) pada jaringan (dengan adanya auxin). Bentuk dasar dari sitokinin adalah adenin (6-amino purine). Adenin merupakan bentuk dasar yang menentukan terhadap aktifitas sitokinin. Di dalam senyawa sitokinin, panjang rantai dan hadirnya suatu double bond dalam rantai tersebut akan meningkatkan aktifitas zat pengatur tumbuh ini. Sitokinin alami (endogen) adalah zeatin dan dihidrozatin, sedangkan sitokinin sintetik antara lain zeatin, BA, BAP, 2-iP, IPA, PA, Kinetin, dan thidiazuron.



Struktur dan Aktifitas sitokinin yang aktif :

1. Harus ada N<sup>6</sup> yang dapat disubstitusi
2. Aktifitas tergantung dari rantai samping dan cincin adenin.
3. Rantai samping, adanya penjumlahan ikatan rangkap bersifat menurunkan aktifitas. Perpindahan ikatan rangkap dari  $\Delta_{1,2}$  ke  $\Delta_{3,4}$  juga menurunkan aktifitas berkurang. Substitusi (adanya OH pada C<sub>4</sub> meningkatkan aktifitas, adanya OH pada C<sub>2</sub> C<sub>3</sub> atau C<sub>2</sub> dan C<sub>3</sub> mengurangi aktifitas, adanya > 1 OH menurunkan aktifitas.

Sitokinin yang aktif dapat dirubah menjadi tidak aktif (antagonist) dengan cara penjenuhan rantai samping, penukaran posisi C dan N, dan substitusi CH<sub>3</sub> pada 9-CH.

### **3.2. Peranan Fisiologi Sitokinin**

Sitokinin merupakan ZPT yang mendorong pembelahan (sitokinesis). Beberapa macam sitokinin merupakan sitokinin alami (misalnya kinetin, zeatin) dan beberapa lainnya merupakan sitokinin sintetik. Sitokinin alami dihasilkan pada jaringan yang tumbuh aktif terutama pada akar, embrio dan buah. Sitokinin yang diproduksi di akar selanjutnya diangkut oleh xilem menuju sel-sel target keseluruhan tanaman.

Peranan fisiologis sitokinin secara umum meliputi :

1. Pembelahan sel (*cell division*). Pemberian sitokinin eksogen menginduksi pembelahan sel dalam kultur jaringan bersama-sama dengan adanya auxin. Secara endogen juga terjadi pada tanaman yg mengalami tumor Crown Gall.
2. Morphogenesis. Dalam kultur jaringan dan Crown Gall, sitokinin menginduksi terbentuknya organ pucuk.
3. Pertumbuhan tunas lateral (growth of lateral buds). Pemberian sitokinin menyebabkan terbebasnya pucuk lateral dari pengaruh "Apical dominance"
4. Mendorong terbukanya stomata pada beberapa spesies, misalnya pada solanaceae.
5. Menghambat "leaf senescence"
6. Mendorong perluasan daun (leaf expansion), dihasilkan karena adanya pembesaran sel.



7. Mendorong perkembangan kloroplast. Aplikasi sitokinin eksogen menyebabkan terakumulasinya klorofil dan mendorong konversi etioplast menjadi kloroplast.

Ahli biologi tumbuhan juga menemukan bahwa sitokinin dapat meningkatkan pembelahan, pertumbuhan dan perkembangan kultur sel tanaman. Sitokinin juga menunda penuaan daun, bunga dan buah dengan cara mengontrol dengan baik proses kemunduran yang menyebabkan kematian sel-sel tanaman. Penuaan pada daun melibatkan penguraian klorofil dan protein-protein, kemudian produk tersebut diangkut oleh floem ke jaringan meristem atau bagian lain dari tanaman yang membutuhkannya. Daun kacang jogo (*Phaseolus vulgaris*) yang ditaruh dalam wadah berair dapat ditunda penuaannya beberapa hari apabila disemprot dengan sitokinin. Sitokinin juga dapat menghambat penuaan bunga dan buah. Penyemprotan sitokinin pada bunga potong dilakukan agar bunga tersebut tetap segar.

Pada tumbuhan, efek sitokinin sering dipengaruhi oleh keberadaan auxin. Sitokinin yang ditransportasikan dari akar ke batang ampu mengaktifkan pertumbuhan tunas-tunas samping sehingga tanaman memiliki cabang yang banyak dan menjadi rimbun. Pengetahuan tentang penggunaan sitokinin ini dimanfaatkan oleh petani yang memproduksi pohon natal untuk menghasilkan cabang-cabang yang menarik pada pohon tersebut.

Sebagian besar tumbuhan memiliki pola pertumbuhan yang kompleks yaitu tunas lateralnya tumbuh bersamaan dengan tunas terminalnya. Pola pertumbuhan ini merupakan hasil interaksi antara auxin dan sitokinin dengan perbandingan tertentu. Sitokinin diproduksi dari akar dan diangkut ke tajuk, sedangkan auxin dihasilkan di kuncup terminal kemudian diangkut ke bagian bawah tumbuhan. Auxin cenderung menghambat aktivitas meristem lateral yang letaknya

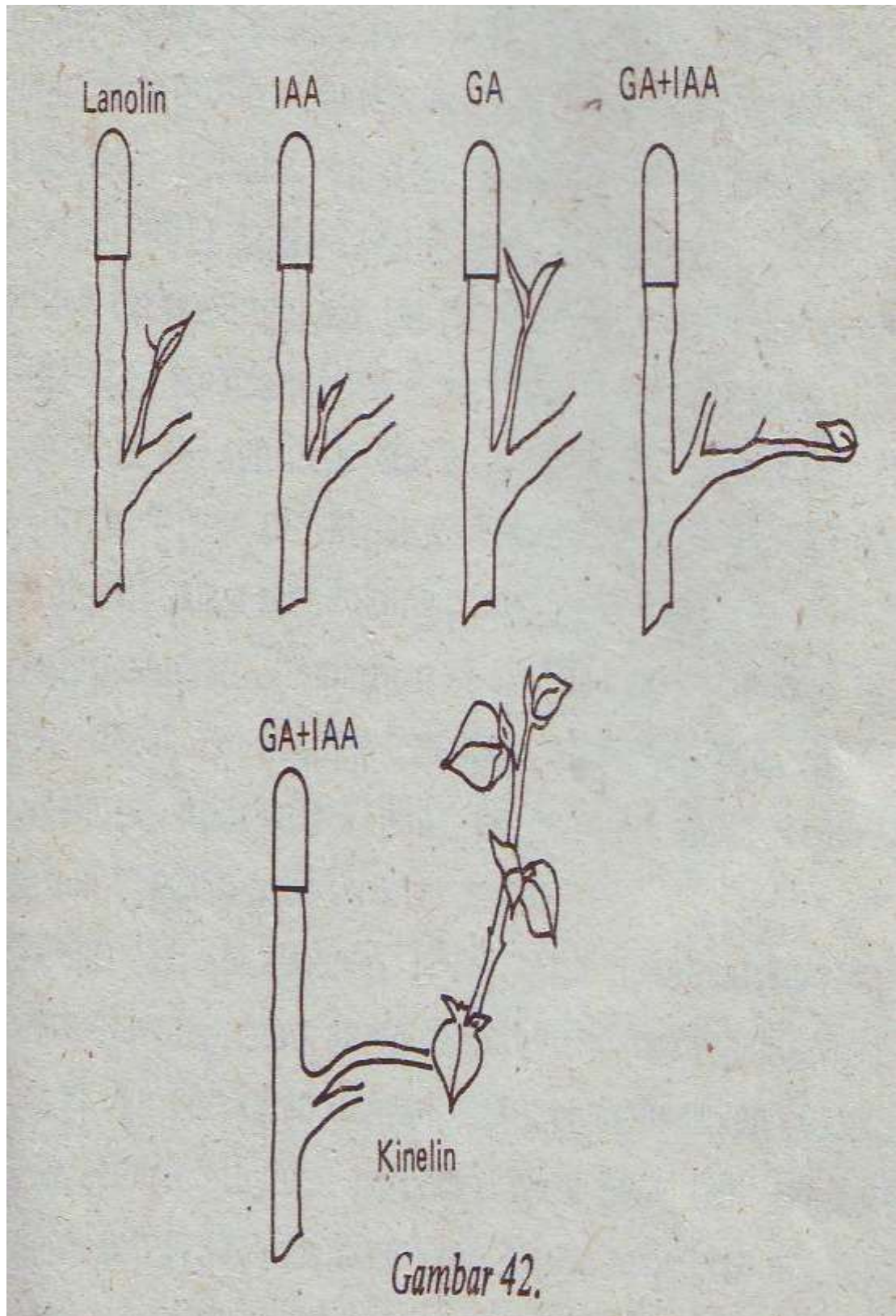
berdekatan dengan meristem apikal sehingga membatasi pembentukan tunas-tunas cabang dan fenomena ini disebut dominasi apikal. Kuncup aksilar yang terdapat di bagian bawah tajuk (daerah yang berdekatan dengan akar) biasanya akan tumbuh memanjang dibandingkan dengan tunas aksilar yang terdapat dekat dengan kuncup terminal. Hal ini menunjukkan ratio sitokinin terhadap auxin yang lebih tinggi pada bagian bawah tumbuhan.

Interaksi antagonis antara auxin dan sitokinin juga merupakan salah satu cara tumbuhan dalam mengatur derajat pertumbuhan akar dan tunas, misalnya jumlah akar yang banyak akan menghasilkan sitokinin dalam jumlah banyak. Peningkatan konsentrasi sitokinin ini akan menyebabkan sistem tunas membentuk cabang dalam jumlah yang lebih banyak. Interaksi antagonis ini umumnya juga terjadi di antara ZPT tumbuhan lainnya.

Penelitian pertumbuhan *pith tissue culture* dengan menggunakan sitokinin dan auxin dalam berbagai perbandingan telah dilakukan oleh Weier *et al* (1974, dalam Moore, 1979). Dihadirkan bahwa apabila dalam perbandingan sitokinin lebih besar dari auxin, maka hal ini akan memperlihatkan stimulasi pertumbuhan tunas dan daun. Sebaliknya apabila sitokinin lebih rendah dari auxin, maka ini akan mengakibatkan stimulasi pada pertumbuhan akar. Sedangkan apabila perbandingan sitokinin dan auxin berimbang, maka pertumbuhan tunas, daun dan akar akan berimbang pula. Tetapi apabila konsentrasi sitokinin itu sedang dan konsentrasi auxin rendah, maka keadaan pertumbuhan tobacco pith culture tersebut akan berbentuk callus. Sedangkan dalam pembelahan sel, dikemukakan bahwa IAA dan kinetin, apabila digunakan secara tersendiri akan menstimulasi sintesis DNA dalam tobacco pith culture. Dan menurut ahli tersebut, kehadiran

IAA dan kinetin ini diperlukan dalam proses mitosis walaupun IAA lebih dominan pada fase tersebut.

Dalam perkembangan tanaman telah diketahui bahwa terjadi interaksi antara sitokinin, giberelin dan auxin. Di alam, tidak satu unsurpun yang berdiri sendiri. Kesemuanya berinteraksi antara satu sama lainnya, sehingga merupakan suatu sistem. Begitu pula dengan zat pengatur tumbuh. Pada tanaman, zat pengatur tumbuh auxin, giberelin dan sitokinin bekerja tidak sendiri-sendiri, tetapi ketiga hormon tersebut bekerja secara berinteraksi yang dicirikan dalam perkembangan tanaman. Hasil penelitian Booth (1959, dalam Wareing dan Pjillips, 1970) menggunakan kentang liar (*Solanum andigena*) menunjukkan bahwa apabila pucuk yang tumbuh di atas permukaan tanah dipotong kemudian diberi lanolin pada batang yang dipotong tersebut, maka pada ketiak daun tumbuh pucuk. Perlakuan lain dilakukan dengan memotong pucuk-pucuk daun selanjutnya batang yang dipotong tersebut masing-masing diberi IAA, GA, GA + IAA, GA + IAA pada batang yang dipotong dan pada pucuk yang tumbuh di ketiak daun diberi kinetin (Gambar 18). Pada perlakuan yang diberi IAA pertumbuhan tunas mengalami hambatan, tetapi pada perlakuan GA, pertumbuhan tunas memperlihatkan adanya perpanjangan internodus pada tunas yang tumbuh di ketiak daun. Sedangkan pada perlakuan pemberian GA + IAA memperlihatkan pertumbuhan stolon secara horisontal. Pada perlakuan GA + IAA + pada batang yang terpotong kemudian diberi perlakuan kinetin pada pucuk yang tumbuh diketiak daun menunjukkan pertumbuhan yang normal.



Gambar 18. Interaksi antara GA, IAA DAN Kinetin pada perkembangan stolon tanaman kentang liar (*Solanum adigena*).

### 3.3. Biosintesis Sitokinin

Sitokinin alami disintesis di akar kemudian ditransport secara akropetal ke pucuk. Disamping itu, sitokinin juga dapat disintesis pada biji yang berkembang.

Informasi biosintesis sitokinin tidak selengkap biosintesis auxin atau giberelin, dan sampai saat ini masih terus diteliti oleh para pakar fitohormon. Prekursor biosintesis sitokinin adalah asam mevalonat dengan jalur biosintesis seperti pada Gambar 19.

Pengaturan kadarnya dalam tubuh tanaman dilakukan melalui :

1. Pengaturan sintesis in situ (free sitokinin/zeatin)
2. Pembentukan bound sitokinin, dengan cara :
  - a. Gugus hidroksil zeatin menangkap glukosa membentuk glukosida. Konjugat ini bisa sbg bentuk cadangan atau bentuk untuk transport dan sifatnya reversibel.
  - b. Membentuk konjugat alanin dengan menangkap 1 glukosa pada atom C 9. Cara ini termasuk mekanisme detoksifikasi, sifatnya ireversibel
3. Degradasi dengan enzim sitokinin oksidase. Enzim ini menghilangkan lima rantai carbon samping dengan melepas adenin bebas.

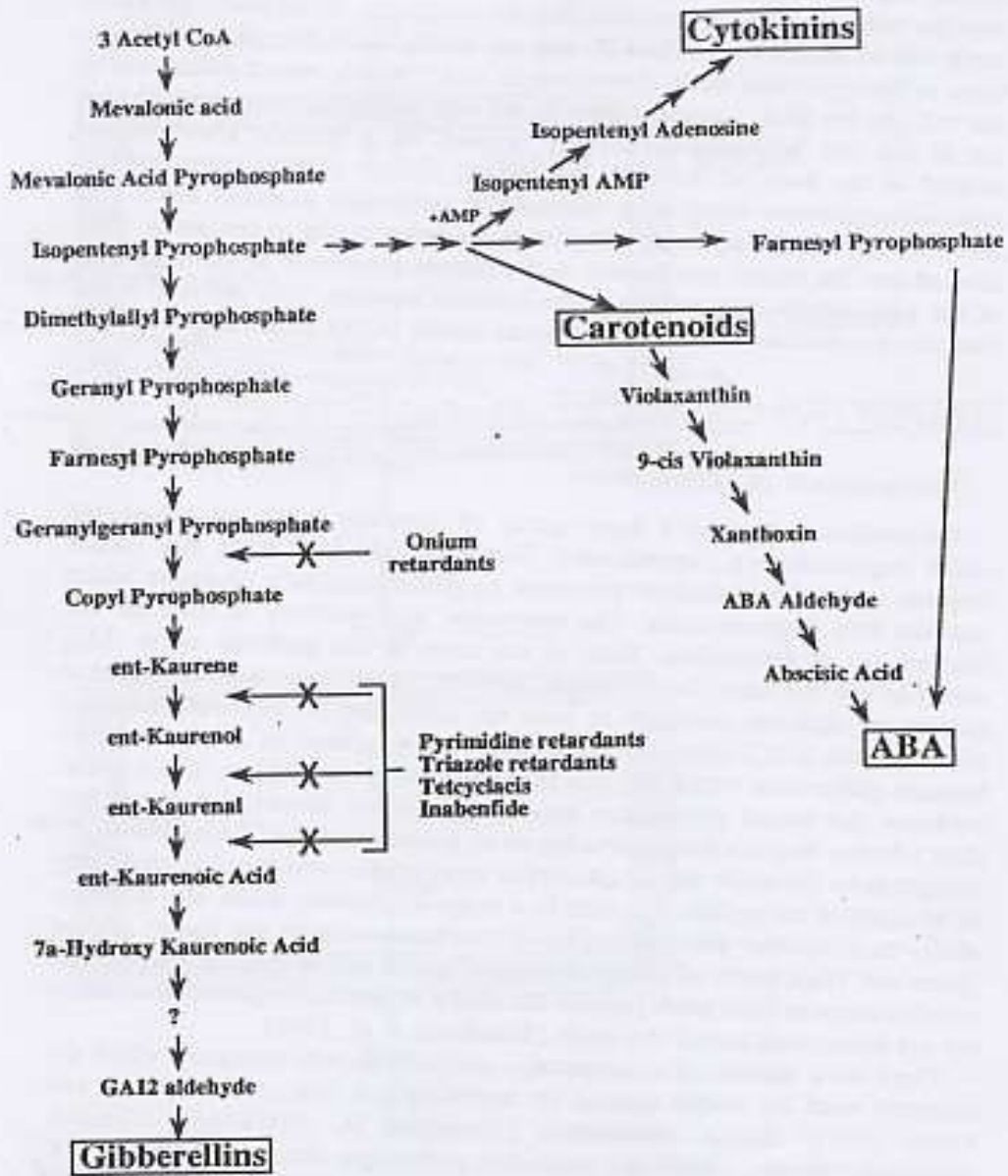


Figure 3.12 and abscisic

Gambar 19. Jalur asam mevalonat untuk biosintesis giberelin, sitokinin dan asam absisat (ABA)

### 3.4. Mekanisme Kerja Sitokinin

Pengaruh sitokinin dipengaruhi oleh konsentrasi auksin. Adanya meristem apikal, maka auksin menekan pertumbuhan tunas aksilar. Meristem apikal dibuang, konsentrasi sitokinin meningkat, merangsang pertumbuhan tunas aksilar. Sitokinin berperan dalam menghambat pertumbuhan akar melalui peningkatan konsentrasi etilen. Sitokinin menghambat pembentukan akar lateral melalui pengaruhnya pada sel periskel dan memblokir program pengembangan pembentukan akar lateral. Mekanisme kerja sitokinin:

#### a. Pengaturan Pembelahan Sel dan Differensiasi Sel

Bekerja bersama-sama dengan auksin, sitokinin menstimulasi pembelahan sel dan mempengaruhi lintasan differensiasi. Efek sitokinin terhadap pertumbuhan sel di dalam kultur jaringan, memberikan petunjuk tentang bagaimana jenis ZPT ini berfungsi di dalam tumbuhan. Ketika satu potongan jaringan parenkhim batang dikulturkan tanpa memakai sitokinin, maka sel tersebut tumbuh menjadi besar tetapi tidak membelah. Sitokinin secara mandiri tidak mempunyai efek, tetapi apabila sitokinin diberikan bersama-sama dengan auksin maka sel tersebut dapat membelah.

#### b. Pengaturan Dominansi Apikal

Sitokinin, auksin, dan faktor lainnya berinteraksi dalam mengontrol dominansi apikal. Hipotesis yang menerangkan regulasi hormonal pada dominansi apikal, yaitu penghambatan secara langsung, menyatakan bahwa sitokinin dan auksin bekerja secara antagonistis dalam mengatur pertumbuhan tunas aksilar. Sitokinin masuk melalui akar ke dalam sistem tajuk tanaman, akan melawan kerja auksin, dengan mengisyaratkan tunas aksilar untuk mulai tumbuh. Jadi rasio sitokinin dan auksin merupakan faktor kritis dalam mengontrol pertumbuhan tunas aksilar.

#### c. Efek Anti Penuaan

Sitokinin dapat menahan penuaan beberapa organ tumbuhan dengan menghambat pemecahan protein, dengan menstimulasi RNA dan sintesis protein, dengan memobilisasi nutrisi dari jaringan di sekitarnya. Proses penuaan terjadi karena penguraian protein menjadi asam amino oleh enzim protease, RNA-ase dan DNA-ase. Adanya sitokinin maka kerja enzim-enzim tersebut akan dihambat sehingga umur protein menjadi lebih panjang.



## Pengaruh Pemberian Sitokinin Terhadap Pertumbuhan Tanaman.

Selain itu, sitokinin mampu memperlambat penuaan daun dengan cara mempertahankan keutuhan membran tonoplas. Bila tidak, protease dari vakuola akan merembes ke sitoplasma dan menghidrolisis protein larut serta membran kloroplas dan mitokondria. Apabila daun yang dibuang dari suatu tumbuhan dicelupkan ke dalam larutan sitokinin, maka daun itu akan tetap hijau lebih lama daripada biasanya. Sitokinin juga memperlambat deteriorasi daun pada tumbuhan utuh.

### 3.5. Aplikasi Sitokinin Pada Bidang Pertanian

Pada metode kultur jaringan, penggunaan auksin dan sitokinin sudah banyak digunakan. Jika konsentrasi auksin lebih besar daripada sitokinin maka kalus akan tumbuh, dan bila konsentrasi sitokinin lebih besar dibandingkan auksin maka tunas akan tumbuh. Hasil penelitian menunjukkan sitokinin 2 ppm cenderung nyata meningkatkan jumlah pecah tunas, pertambahan tinggi dan jumlah daun, namun cenderung menghambat pertambahan luas daun. Sedangkan pada pertambahan diameter batang perlakuan tersebut tidak berpengaruh. Setelah berumur 4 tahun, tanaman yang diberikan sitokinin 2 ppm masih menunjukkan tinggi tanaman dan jumlah daun yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman lain. Penelitian embrio somatik kopi arabika menyebabkan hasil induksi terbaik untuk varietas Kartika-1

secara langsung dari kultur daun muda diperoleh pada media MS standar yang diberi 4 mg/l 2,4-D dan dikombinasikan dengan 0,1 mg/l kinetin yang dapat menginduksi seluruh eksplan dalam waktu empat minggu setelah kultur. Penggandaan embrio somatik kopi arabika terbaik diperoleh pada perlakuan 2 mg/l 2,4-D yang dikombinasikan dengan 0,1 mg/l kinetin yang dapat menghasilkan embrio somatik terbanyak dalam waktu enam minggu setelah subkultur. Menyatakan bahwa pada kultur invitro tanaman nilam yang diberikan sitokinin BAP 1 ppm pada media MS menunjukkan perkembangan yang baik yaitu bisa terbentuk planlet yang sempurna yang sudah memiliki akar, batang dan daun. Pada penelitian kultur invitro buah Makasar, pemberian sitokinin BAP dan auksin 2,4-D berpengaruh Terhadap Pertumbuhan Tanaman. Pada berbagai taraf konsentrasi telah memberikan respon yang berbeda terhadap pertumbuhan eksplan biji buah makasar. Semakin tinggi konsentrasi BAP maupun 2,4 D maka semakin tinggi pula prosentase pembentukan kalus. BAP 1,5 mg/l merupakan konsentrasi yang optimum dalam pertumbuhan biji buah makasar secara invitro untuk tujuan perbanyakan. Pada tanaman Pule pandak, pemberian pupuk organik 5 ton/ha meningkatkan pertumbuhan (jumlah daun), dan hasil (jumlah cabang akar dan diameter akar) dibanding kontrol. Pemberian sitokinin 100 ppm meningkatkan pertumbuhan (jumlah daun, luas daun, berat brangkasan, dan berat tanaman kering) dan hasil pule pandak.

Terjadi interaksi antara pupuk organik dan sitokinin terhadap berat brangkasan dan berat akar pule pandak untuk umur 90 HST. Kombinasi pupuk organik 10 ton/ha dan sitokinin 100 ppm memberikan berat basah tajuk dan berat basah akar tertinggi. Pemberian konsentrasi sitokinin BAP yang berbeda pada tunas pucuk jeruk kanci secara invitro, memberikan pengaruh yang berbeda terhadap prosentase eksplan yang mengalami multiplikasi dan saat muncul tunas. Perlakuan BAP pada konsentrasi 2,5 mg/l merupakan perlakuan terbaik terhadap prosentase eksplan yang mengalami multiplikasi saat muncul tunas. Terdapat interaksi yang nyata antara BAP 2,5 mg/l dengan NAA konsentrasi 0,5 dan 1,0 mg/l merupakan interaksi terbaik terhadap prosentase eksplan yang membentuk kalus. Penelitian mengenai pengaruh sitokinin kinetin terhadap tanaman bunga matahari telah menunjukkan pada kombinasi ZPT NAA 1 mg/l + kinetin 1 mg/l memberikan hasil terbaik dalam menginduksi terbentuknya kalus dari eksplan kotiledon tanaman *Helianthus annuus* L. yaitu dengan rata-rata berat basah kalus tertinggi sebesar  $0,76620 \pm 0,38226$  gram.

## DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Leopold, A.C., P.E. Kriedemann. 1975. *Plant growth and development*. Second edition. USA: Mcgraw-Hill Book Company. hlm. 271-336.
- Mehouachi, J., F.R. Tadeo, S. Zaragoza, e. Primo-Millo, M. Talon. 1996. Effects of gibberellic acid and paclobutrazol on growth and carbohydrate accumulation in shoots and roots of citrus rootstock seedlings. *Journal of Hort. Science* 71(5):747-754.
- 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* 4<sup>th</sup> 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*. 2<sup>th</sup> 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.