

# Mekanisme Fisiologi Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman

[Artikel](#), [Berita](#), [Institusi](#) - **Senin, Agustus 20, 2012**

<http://biogen.litbang.deptan.go.id/index.php/2012/08/mekanisme-fisiologi-pertumbuhan-dan-perkembangan-tanaman/>

Materi kuliah umum yang disampaikan oleh Prof. Riset Dr. Ika Mariska ini sengaja dipilih karena sering muncul permasalahan dalam regenerasi tanaman baik untuk seleksi *in vitro* maupun rekayasa genetik. Para peneliti masih banyak yang belum memiliki pemahaman yang mendalam mengenai prinsip-prinsip dasar fisiologi tanaman. Kita ketahui, bahwa fisiologi tumbuhan sangatlah memegang peranan penting di dalam proses regenerasi tanaman.

Materi Kuliah Umum terdiri dari 3 bagian, yaitu (1) Fotosintesis pada tanaman C3, C4, dan CAM, (2) Meningkatkan peluang keberhasilan transformasi genetik tanaman, dan (3) Pengembangan lahan Marjinal/Suboptimal. Adapun isi materi Kuliah Umum secara detail adalah sebagai berikut:

## Fotosintesis Tanaman C3, C4, dan CAM

Pertumbuhan adalah penambahan volume yang meliputi pembelahan dan pemanjangan sel serta proses awal dari diferensiasi, sedangkan perkembangan adalah spesialisasi struktur dan fungsi dari sel membentuk jaringan dan organ tanaman. Berbagai penelitian yang dilakukan oleh para peneliti bertujuan untuk meningkatkan efisiensi fotosintesis dengan menurunkan respirasi tanaman.

Saat ini pemanasan global telah menjadi isu dunia, di mana Indonesia telah merasakan adanya peningkatan suhu bumi. Kondisi ini disebabkan oleh industrialisasi yang menyebabkan peningkatan CO<sub>2</sub> di muka bumi. Peningkatan CO<sub>2</sub> dari 300 ppm menjadi 340 ppm diharapkan dapat meningkatkan laju fotosintesis yang merupakan proses penangkapan energi cahaya matahari oleh kloroplas untuk membentuk senyawa organik yang sangat dibutuhkan bagi kelangsungan hidup umat manusia di mukabumi. Namun demikian, kenyataannya peningkatan suhu bumi tidak secara nyata meningkatkan fotosintesis, tetapi meningkatkan laju fotorespirasi. Fotorespirasi merupakan proses perombakan komponen organik menjadi energi yang dibutuhkan untuk proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Untuk itu saat ini tengah dibicarakan bagaimana cara meningkatkan (1) efisiensi fotosintesis, (2) menurunkan laju fotorespirasi, dan (3) pengoptimalan lahan suboptimal.

Secara umum fotosintesis terjadi melalui 2 tahap reaksi, yaitu :

1. Reaksi terang, yaitu proses konversi [energi](#) cahaya menjadi energi kimia dan menghasilkan [oksigen](#) (O<sub>2</sub>)
2. Reaksi gelap, yaitu terjadinya seri reaksi [siklik](#) yang membentuk gula dari bahan dasar CO<sub>2</sub> dan energi ([ATP](#) dan [NADPH](#)) dengan bantuan enzim Rubisco (pada tanaman C3). Energi yang digunakan dalam reaksi gelap ini diperoleh dari reaksi terang.. Dalam reaksi gelap terjadi Siklus Calvin yang membentuk senyawa antara, yaitu 3PGA.

Terdapat 3 tipe fotosintesis, yaitu:

1. C3: Hasil pertama dari fotosintesis adalah molekul yang mempunyai 3 atom karbon, yaitu 3 PGA (*Phospho gliseric acid*). Pada tanaman C3 fiksasi CO<sub>2</sub> terjadi melalui siklus calvin. Contoh tanaman C3 adalah gandum, kentang, kedelai, dan lain-lain.
2. C4: Hasil dari fotosintesis adalah molekul dengan 4 atom karbon, yaitu malat. Contoh tanaman C4: jagung, tebu, sorgum.
3. CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*). Seperti halnya tanaman C4, pada tanaman CAM molekul pertama dari fotosintesis adalah malat. Tanaman CAM mempunyai keistimewaan, yaitu dapat dorman pada keadaan ekstrim tanpa merusak sel, dan akan tumbuh kembali pada keadaan normal. Contoh tanaman CAM adalah kaktus, *stone crop*.

### Tanaman C3

Tanaman C3 mempunyai efisiensi fotosintesis yang rendah karena enzim Rubisco mempunyai peran ganda, yaitu (a) untuk pengikatan CO<sub>2</sub>, dan (b) pengaktifan oksigenase dalam Fotorespirasi. Pada tanaman C3, pemanfaatan CO<sub>2</sub> hanya sebesar 50% karena adanya fotorespirasi, sehingga efisiensi fotosintesis rendah.

### Tanaman C4:

1. Mempunyai 2 tipe sel fotosintesis, yaitu mesofil dan *bundle-sheath*, sehingga CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari siklus Calvin di Bundel Sheath ditangkap kembali dan dipergunakan di mesofil.
2. Fiksasi CO<sub>2</sub> dilakukan oleh enzim PEPC yang afinitas terhadap CO<sub>2</sub> lebih tinggi dibandingkan pada tanaman C3, yaitu enzim Rubisco. Substrat pada tanaman C4 adalah CA (*Carbonic Anhydrose*).
3. Ada pemisahan tempat antara: reduksi NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub> dan reduksi CO<sub>2</sub>
4. Tidak ada fotorespirasi yang terukur.

**Tabel 1. Perbedaan antara tanaman C3 dan C4**

<b>C3</b>	<b>C4</b>
Tidak mempunyai seludang pembuluh ( <i>bundle sheath</i> )	Mempunyai kloroplas dalam seludang pembuluh ( <i>bundle sheath</i> ).
CO <sub>2</sub> difiksasi Rubisco à siklus Calvin (dalam mesofil)	CO <sub>2</sub> difiksasi PEP membentuk asam berantai C4, ditranslokasi di seludang pembuluh
Rubisco daya ikat lebih rendah	PEPC daya ikat kuat
Tidak mempunyai PEPC	Mempunyai Rubisco (<< C3) ± 10%
Adaptasi: panas + lembab	Adaptasi: panas, kering, lembab
Fotorespirasi (dari sampingan siklus Calvin)	Tidak ada fotorespirasi yang terukur
Laju fotosintesis lebih rendah	Laju fotosintesis tinggi

Peningkatan efisiensi fotosintesis tanaman C3 menjadi tanaman C4 dapat dilakukan dengan cara mengintroduksi gen-gen yang terlibat dalam fotosintesis pada tanaman C4, yaitu :

1. PEPC (fiksasi CO<sub>2</sub> + karboksilasi PEP --- OAA)
2. PEPCK (dekarboksilasi OAA --- PEP)
3. PPDK (fosforilasi piruvat --- PEP)

### **Cara Meningkatkan Peluang Keberhasilan Transformasi Genetik Tanaman**

Keberhasilan proses transformasi tanaman ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain bahan tanaman yang digunakan (eksplan). Transformasi sebaiknya dilakukan pada sel yang muda atau sel meristem, karena bersifat embriogenik. Ciri-ciri sel muda atau sel meristem antara lain mempunyai sitoplasma yang padat, vacuola kecil tersebar di sitoplasma, nukleus (inti sel) besar dan berada di tengah, ukuran sel relatif kecil, dinding sel tipis, dan fleksibel, banyak mengandung ribosom dan amiloplas, plastid kurang berkembang, dan sel bersifat embriogenik. Keberhasilan regenerasi tanaman hasil transformasi genetik juga ditentukan oleh metode regenerasi yang digunakan dan media tumbuh. Regenerasi tanaman/eksplan pasca transformasi dapat dilakukan melalui metode Somatik Embriogenesis (SE) langsung atau SE tidak langsung. SE langsung umumnya lebih cepat, sederhana, dan tingkat variasi somaklonal rendah. Metode ini lebih sesuai untuk regenerasi tanaman yang tergolong rekalsitran. Sedangkan metode SE tidak langsung dapat diterapkan pada banyak jenis tanaman, namun mudah terjadi variasi somaklonal. Metode ini akan lebih cepat dan efektif untuk regenerasi tanaman hasil transformasi yang menggunakan eksplan populasi sel embriogenik primer.

### **Pengembangan Pertanian Lahan Suboptimal**

Peningkatan produksi pertanian dapat dilakukan dengan memanfaatkan lahan marjinal/suboptimal yang banyak terdapat di Indonesia. Toleransi tanaman terhadap lahan marjinal tersebut tergantung kepada mekanisme fisiologis tanaman untuk beradaptasi pada lingkungan yang suboptimal (marjinal), antara lain:

#### **1. 1. Lahan masam dengan Al tinggi**

Eksternal melalui eksklusi Al dan lain-lain, Internal melalui imobilisasi Al pada dinding sel, peningkatan pH pada rizosfer, akumulasi protein spesifik, membran selektif, produksi asam organik yang dapat mengikat Al (asam sitrat, asam suksinat, asam oksalat dan asam malat), atau kompartementasi Al dalam vakuola.

#### **1. 2. Intensitas cahaya rendah**

Menghindar dengan cara modifikasi secara anatomi dan morfologi daun, atau toleransi terhadap cahaya, insersi gen ATHBII JJ3, dan ratio klorofil a yang lebih besar terhadap klorofil b. Mekanisme menghindar seperti warna daun yang lebih hijau, daun yang lebih tipis dan luas. Mekanisme toleransi seperti penurunan titik kompensasi cahaya dan penurunan fotorespirasi.

#### **1. 3. Cekaman salinitas**

- Mekanisme adaptasi secara eksklusi seperti mencegah masuknya NaCl ke dalam sel yang toleransi, dengan kandungan NaCl yang rendah pada tajuk tanaman.

- Mekanisme inklusi dicirikan dengan kandungan NaCl yang tinggi pada bagian tajuk tanaman.

- Di samping itu sama dengan mekanisme toleransi terhadap kekeringan, tanaman akan menghasilkan senyawa *osmotic adjustment* seperti prolin, glisin betain, asam absisik, gula, dan manitol. Di samping itu lignifikasi akar dan menurunkan ukuran dan jumlah daun serta meningkatkan sintesis ABA.

#### 1. 4. Cekaman kekeringan

Mekanisme toleransi sama dengan toleransi terhadap salinitas, seperti produksi senyawa *osmotic adjustment* (prolin, glisin betain, poliol, poliamin, trihalose, fruktan). Disamping itu mempercepat siklus hidup dengan mempercepat pembungaan. Mengurangi ukuran sel, jumlah stomata dan melakukan pengguguran daun.

### Peningkatan Efisiensi Fotosintesis

Dengan adanya berbagai isu pemanasan global atau efek rumah kaca, maka para pakar fisiologi melakukan pendekatan yang dapat diimplementasikan di lapang. Banyak penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi fotosintesis. Pendekatan ini harus berkolaborasi dengan para pakar pemulia tanaman maupun biologi molekuler agar dapat mempercepat keberhasilan seperti yang diharapkan.

#### Peningkatan efisiensi fotosintesis dapat dilakukan antara lain dengan:

1. Keseimbangan *Source – Sink*;
2. Meningkatkan konduktivitas stomata (dapat membuka dan menutup stomata sesuai kondisi lingkungan);
3. Luas daun hijau lebih lebar, morfologi dan anatomi daun (bentuk kanopi yang lebih tegak, daun lebih hijau dan tebal, ratio klorofil A/klorofil B, serta introduksi gen CAO);
4. Meningkatkan aktivitas enzim Rubisco, introduksi gen C4 pada tanaman C3;
5. Efisiensi penangkapan cahaya;
6. Efisiensi penggunaan cahaya (meningkatkan aktivitas enzim fotosintat dan menurunkan aktivitas enzim respirasi).