

Peran Bioteknologi Tanaman pada Kedaulatan Pangan Lokal Maluku

G.A.Wattimena (Prof. Emeritus IPB)

Abstract

The Role of Plant Biotechnology on Local Food Sovereignty of Moluccas

G.A Wattimena (Prof. Emeritus IPB)

Moluccas is an archipelago province consist of 559 Islands, four big Islands and the rest small Islands. Total area of Moluccas is 658.148,48 km², where 92.4 percent is sea and 7.6 percent land.

Local food crops are non cereal food crops namely cassava, sweetpotato, yam, cocoyam, banana, plantain, fiji banana, breadfruit and sago palm.

Dusun is one of the local technology of cropping system that already established before the Portuguese (1511) and the Dutch (1602) arrived in Ambon and Banda. Dusun is sustainable agriculture system of mixed crops of perennial and annual crops. It is ecologically sound, economics viable, socially just and humane. Dusun is the embrio of the present LEISA and Green Economics.

Biotechnology simple means applying biotechnology knowledge benefit to local food crops and cropping system. The main role are to develop elite crop propagules and improve crops cultivars.

The conventional propagation technique is already established, no need for tissue culture methods except for sago palm (protocol is available). Genetic engineering technology is used to transfer important genes for the improving local varieties. The important genus are the apomictic genes, antisenescence genes, stress tolerant genes and glutenin genes.

From the gynotypes, genes, and methods availability cassava is one of the tuber crops is ready to transformed genetically. The genes available are the glutenin genes, ipt genes, and cod A genes. The genetic modified (GM)- Cassava transformed with these 3 genes will be highly productivity, highly resistant to abiotic stress and produce cassava flour which is similar to wheat flour.

At present Indonesia imported 5 million ton of wheat a year equally 1.5 billion US dollar. This GM Cassava benefit not only the farmers, the Moluccas and the nations but also the whole world.

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara maritim dan kepulauan. Terdiri dari 17.580 pulau, 3.2 juta km² lautan, 1.9 km² daratan, panjang pantai dari sabang sampai Merauke 8000 km (1/5 keliling bumi). Terdapat 33 propinsi dimana 7 propinsi adalah propinsi kepulauan yaitu : Maluku, Maluku Utara, Sulawesi Utara, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Bangka Belitung dan Riau Kepulauan.

Secara geografis Maluku terletak antara 2°30'-9° LS dan 124°-136°BT. Luas Wilayah 712480 km² dengan luas perairan 658.331,52 km² (92.4 persen) dan luas daratan 54.148,48 km² (7.6 persen). Terdiri dari 1430 pulau, empat pulau besar yaitu : Seram (18625 km²), Buru (9000 km²), Yamdera (5085 km²), Wetar (3624 km²) sisanya pulau-pulau kecil (≤ 2000 km²). Secara administratif Maluku dibagi kedalam 2 Kotamadya, 7 Kabupaten, 90 Kecamatan, dan 956 desa. Jumlah penduduk 1.533.506 jiwa dengan kerapatan terendah 10 jiwa/km² (Maluku Tenggara Barat) dan tertinggi pada kota Ambon 879 jiwa/km² dan Tual 228 jiwa/km² (Salampessy, 2012 dan Norimarna, 2012).

Daerah kepulauan Maluku rentan secara ekologis, politik, ekonomi dan sosial. Oleh karena itu menjamin ketersediaan dan keberlanjutan pemerintahan dan pelayanan kepada masyarakat pulau-pulau itu dikelompokkan kedalam 12 gugus pulau. Terdiri dari : gugus pulau Buru dan Seram Selatan, Seram Barat, Seram Utara, Seram timur, Seram Selatan, Kepulauan Banda, Ambon dan Lease, Kepulauan Kei, Kepulauan Aru, Kepulauan Tanimbaru, Kepulauan Babar kepulauan terselatan (Norimarna, 2012).

Walaupun secara ekologis daerah ini sangat rentan terhadap perubahan iklim dan bencana, daerah kepulauan ini sangat kaya dalam keragaman biotik darat maupun laut. Habitat darat dan habitat laut adalah sinergis, saling memperkaya dan menjaga kestabilan habitat. Pangan lokal dan sistem budidaya yang telah teradaptasi dan berkelanjutan di daerah kepulauan adalah kearifan lokal. Kearifan lokal yang telah berlangsung secara turun temurun ini secara ilmiah telah terbukti kebenarannya, hanya penduduk lokal tidak mampu menjelaskan segi ilmiah.

Oleh karena itu pengembangan tanaman pangan lokal harus dimulai dari pengenalan tanaman pangan lokal itu di habitat tumbuhnya, cara budidaya, pengolahan dan penyediaan makanan (*from land to table*), sehingga dapat mengetahui masalah yang tepat (*right problem hunting*).

Pangan lokal Maluku adalah karbohidrat yang berasal dari umbi-umbian dan pohon-pohonan bukan beras. Kekeliruan pemerintah dimasa lalu adalah menjadikan beras sebagai pangan nasional. Kebutuhan pangan beras per kapita per tahun meningkat dari 86 kg pada tahun 1950 menjadi 139.6 kg pada saat ini 2012. Syukur pemerintah sudah menyadari kekeliruan itu dan mengeluarkan Undang-Undang Pangan, dimana didalamnya tertera usaha diversifikasi pangan. Marilah membantu pemerintah dalam usaha ini dengan memberi sentuhan bioteknologi tanaman kepada tanaman pangan lokal. Sentuhan bioteknologi ini diartikan mengaplikasikan ilmu

biologi pada tanaman pangan lokal untuk memenuhi berbagai kebutuhan manusia. Peran bioteknologi dalam budidaya pertanian adalah :

- (1) Menghasilkan propagul tanaman yang bermutu
- (2) Menghasilkan kultivar tanaman unggul

Pengertian habitat dan pertanian berkelanjutan asal Maluku akan dibahas terlebih sebelum pembahasan peran bioteknologi tanaman yang terdiri dari :
 (1) Perbanyak *in vitro* klonal dan (2) Perakitan varietas secara bioteknologis.

2. Habitat Tumbuhan

Maluku adalah daerah kepulauan yang terdiri dari pulau-pulau besar dan kecil. Setiap pulau atau kepulauan mempunyai lingkungan yang khusus yang menghasilkan flora, fauna dan budidaya yang beragam diantara kepulauan itu.

Menurut kegunaan flora dibedakan antara tumbuhan, tanaman dan gulma. Tanaman adalah tumbuhan yang telah diketahui manfaat bagi manusia. Gulma adalah tumbuhan yang mengganggu pertumbuhan tanaman karena itu disebut juga tumbuhan pengganggu. Dengan majunya ilmu pengetahuan dan teknologi maka semua tumbuhan itu akan berguna bagi manusia.

Tumbuh-tumbuhan yang sampai saat ini adalah satu-satunya organisme di dunia yang dapat mempergunakan sinar surya untuk menghasilkan karbohidrat dan oksigen dari bahan dasar karbondioksida dan air, seperti persamaan berikut ini :

Air + Karbondioksida + Sinar Surya + Tumbuhan → Karbohidrat + Oksigen →
 Kehidupan yang ada di biosfer

Dari persamaan itu kita disadarkan untuk menjaga ketersediaan air, karbondioksida, sinar surya, dan tumbuh tumbuhan untuk keberlanjutan hidup di biosfer ini. Oleh karena itu sekarang segala aktivitas didunia ini dikaitkan dengan istilah "Green", baik dari biologis, sosial, ekonomi, politik dan budaya.

Tumbuh-tumbuhan adalah dasar dari rantai makanan. Jenis tumbuh-tumbuhan disuatu tempat menentukan jenis fauna dan budaya. Perkembangan tumbuhan disuatu tempat tergantung dari letak latituda dan altituda yang menentukan jenis tanah dan iklim. Lingkungan abiotik (tanah dan iklim) dan biotik (predator dan parasit) yang menentukan jenis flora dan fauna. Seleksi alamiah didalam teori Darwin dikenal dengan istilah : "Struggle for existence and Survival of the fittest. Habitat merupakan produk dari natural selection artinya penyesuaian (to fit) jenis tumbuhan terhadap lingkungan sekitarnya sehingga terbentuk suatu unit komunitas tumbuhan yang stabil yang disebut habitat.

Kemampuan adaptasi bergantung kepada kemampuan reproduksi dan kemampuan mutasi gen. Reproduksi menyangkut pembungaan, pembuahan, dan biji (propagul) yang viabel. Jenis tumbuhan yang menghasilkan biji yang banyak mempunyai daya adaptasi yang lebih tinggi daripada tumbuhan tidak menghasilkan biji.

Mutasi gen berarti perubahan gen untuk menyesuaikan dengan lingkungan sekitar. Perubahan gen menyebabkan perubahan fisiologi dan morfologi.

Tumbuhan katang-katang (*Ipomoea pescapre*) yang tumbuh di tepi pantai mempunyai daya toleransi kadar garam yang tinggi dari pada kedua keluarga dekatnya ubi jalar (*Ipomoea batata*) dan kangkung (*Ipomoea aquatica*). Katang-katang mempunyai gen toleran kadar garam yang tinggi, jika gen ini dapat dipindahkan ke kangkung, maka disepanjang pantai di Indonesia ini akan ada sayur kangkung yang siap dipanen setiap saat.

3. Dusun : Pertanian dan Ekonomi Berkelanjutan asal Maluku

Pertanian berkelanjutan adalah pertanian berinput luar yang rendah. Kestabilan produktivitas, kestabilan lingkungan dan sosial serta konservasi biodiversity (Altiere, 1978). Banyak istilah yang digunakan untuk pertanian berkelanjutan seperti : “Biological Agriculture, Ecological Agriculture, Regenerative Agriculture, LISA (Low Input Sustainable Agriculture), LEISA (Low External Input Sustainable Agriculture), Precision Agriculture, (Berry, 1977;Fried, 1981).

Istilah sederhana dari Gips (1987) mengenai pertanian berkelanjutan adalah : “Sustainable Agriculture is an agricultural system that is ecologically sound economic viable, social just an humane”. Revolusi Hijau Lestari (Evergreen Revolution) adalah istilah untuk suatu sistem pertanian berkelanjutan. Pada saat ini disamping istilah “Evergreen Revolution” kita sering dengar juga istilah “Green Economic” (Ekonomi Hijau). Ekonomi hijau adalah sistem ekonomi berkelanjutan yang memasukkan eksternal input kedalam sistem produksi. Green Economic menurut Tesorino (2006) harus bersifat ekologis, holistik, berkelanjutan, beranekaragam dan berkeadilan sosial. Tidak mudah menghitung input luaran yang berupa input ekologis dan input sosial maka pada perusahaan yang menyebabkan polusi lingkungan harus membayar CER (Certified Emission Reduction) dan semua perusahaan harus menyediakan dana untuk pembangunan dan pemberdayaan masyarakat yang dikenal dengan istilah CSR (Corporate Social Responsibility).

Dusun adalah suatu sistem pertanian tanaman campuran (multiple cropping system) dengan sistem budidaya yang berinput luar rendah, produksi mantap, stabil secara ekologis, ekonomi dan sosial, konservasi biodiversitas, berkeadilan dan manusiawi. Dusun adalah aset Maluku yang didalamnya terdapat unsur-unsur “Evergreen Revolution” dan “Green Economic”. Generasi muda anak Maluku tidak sadar akan hal itu malahan menghancurkan aset dusun demi kepentingan jangka pendek seperti halnya pertambangan batu bara di propinsi Kalimantan Timur. Dusun pala dan cengkeh di Ambon dan Banda itu menyebabkan Maluku dikenal dengan panggilan “Spice Islands”. Penemuan benua Amerika oleh Christoffel Columbus tahun 1492 karena kesasar dalam mencari Spice Island. Juga kedatangan Bangsa Portugis (1511), Belanda (1605) dan Inggris (1621). Untuk menguasai “Spice Island” Belanda melakukan dua hal yaitu :

- (1) Menukar pulau Manahata (Manhattan, New York) milik Belanda dengan pulau Run milik Inggris di Banda Naira.

(2) Melakukan “Hongi Tochten”, aksi penebangan sebahagian pohon pala dan cengkeh untuk mempertahankan monopoli dengan harga jual yang tinggi. Harga jual di Belanda adalah 200 kali harga beli di Ambon dan Banda Naira. Hongi dalam bahasa Ambon artinya ribut dan tochten dalam bahasa Belanda berarti pawai (Deinum, 1948; Des Alwi, 2005).

Petani di Maluku adalah petani dan nelayan, pada musim ombak mereka bertani dan musim teduh mereka menjadi nelayan. Pertanian di Maluku adalah pertanian non sawah dan non sereal. Belanda memberi istilah “Graanloze hakbouw”. Graanloze artinya non sereal, hakbouw = pertanian mempergunakan parang, cangkul dan linggis. Pangan non sereal Maluku adalah umbi-umbian (gembili, ubi, keladi), buah buahan (pisang, sukun), pohon (sagu, aren, nipa). Suatu kekeliruan pemerintah daerah menjadikan pulau Buru lumbung beras Maluku dengan pencetakan sawah lebih dari 4000 hektar dari rencana 10 000 hektar. Pencetakan sawah ini memiskinkan penduduk lokal dan mensejahterakan turunan pembuangan PKI di pulau Buru. Buru dapat menjadi lumbung pangan Maluku dengan sistem bercocok tanam non sawah yang mensejahterakan semua petani (asli maupun transmigran)

Sistem budidaya di Maluku mempunyai sifat yang spesifik dibandingkan dengan sistem budidaya monokultur. Dusun di Ambon, Banda, Tobelo, Galela setelah terbentuk maka akan menjadi tempat hunian bagi burung-burung dan mamal Wallaceae. Oleh karena itu dusun di Maluku dapat disebut “Agrohortlife”, singkatan dari Agronomi, Hortikultura dan Wildlife. Tanaman agronomi berupa pala, cengkeh, kelapa dan tanaman hortikultura berupa langsung, kacang, kuini, dan wildlife berupa betet, kakatua, nuri, mamoa, kalong, kusu, dsb.

Sistem dusun perlu diperbaiki dengan dimasukkan fungsi konservasi plasma nutfah didalamnya. Kenari, pisang tongkat langit dan berbagai tanaman flora Wallaceae dapat dijadikan komponen utama dusun.

4. **Perbanyak *In Vitro* Klonal pada Tanaman Pangan Lokal**

Perbanyak tanaman terdiri dari perbanyak secara generatif (biji) dan perbanyak secara vegetatif. Alat perbanyak itu disebut propagul, biji adalah propagul generatif dan stek cengkeh dan sebagainya adalah propagul vegetatif. Tujuan perbanyak adalah menghasilkan propagul yang bermutu. Perbanyak in vitro adalah perbanyak klonal (vegetatif).

Perbanyak in vitro menghasilkan mikropropagul atau in vitro propagul yang dapat dilakukan melalui beberapa jalur regenerasi sebagai berikut :

- (1) Eksplan → tunas aksilar → planlet
- (2) Eksplan → kalus/nodul → tunas adventif → planlet
- (3) Eksplan → kalus → embrio somatik → planlet/ benih sintetik
- (4) Eksplan → embrio somatik → planlet/ benih sintetik

Propagul mikro adalah planlet dan benih sintetik. Planlet dan benih sintetik dengan tingkat keseragaman yang tinggi adalah jalur regenerasi tanpa kalus (1) dan (4).

Tanaman pangan di Maluku berupa umbi-umbian, pisang dan sagu diperbanyak secara vegetatif melalui anakan (pisang, sagu, talas), stek batang (singkong, ubi jalar), stek mata umbi (keladi dan ubi) dan umbi (gembili).

Perbanyak tanaman pangan secara konvensional sudah baik tidak perlu dengan perbanyak *in vitro*, kecuali untuk penelitian dan konservasi *in vitro* yang dapat dilakukan di Universitas yang ada di Maluku.

Pisang dan sagu jika hendak diperbanyak secara *in vitro* protokol *in vitro* telah tersedia. Pisang melalui tunas aksilar dan tunas adventif, sedangkan sagu melalui embriogenesis.

Perbanyak *in vitro* mempunyai keuntungan adalah cepat, dapat dihasilkan dalam jumlah yang besar dan bebas penyakit serta tanaman yang sama dengan induknya dan seragam. Perbanyak *in vitro* melalui kalus sering menghasilkan keragaman somaklonal. Pada tanaman tertentu seperti pisang keragaman somaklonal mudah dipisahkan secara morfologi pada fase bibit, tetapi hal ini tidak dapat dilakukan pada tanaman kelapa sawit.

Propagul yang dihasilkan melalui kultur jaringan adalah propagul yang bermutu. Bermutu berarti genotip yang seragam dan bebas penyakit. Tanaman hortikultura yang memerlukan kualitas hasil yang tinggi pada umumnya diperbanyak secara kultur jaringan.

Propagul yang dihasilkan melalui kultur jaringan adalah jauh lebih mahal dari bibit perbanyak vegetatif lainnya. Kultur jaringan memerlukan lab dan peralatan khusus, tenaga terampil dan ongkos produksi yang mahal. Wattimena (1992) menghitung kontribusi faktor produksi pada perbanyak mikro kentang mendapatkan biaya listrik adalah 82.6% dari ongkos produksi sedangkan tenaga kerja 15.6% dan bahan kimia hanya 1.1 persen.

5. Perakitan Varietas melalui Metoda Bioteknologi

Metoda perbaikan varietas itu mulai dari metoda konvensional, metoda seluler dan metoda molekular. Pemilihan metoda pemuliaan atau kombinasi metoda pemuliaan ditentukan oleh 3 hal yaitu :

- (1) Tujuan pemuliaan : apakah tujuan itu untuk kenaikan hasil, kualitas hasil, ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik dan biotik, bioindustri, biofarmaka, dsb.
- (2) Sumber gen yang akan diwariskan dari donor ke varietas penerima. Apakah sumber gen dari tanaman itu sendiri dari tanaman (spesies, genus, family), atau dari organisme lain atau gen sintetik.
- (3) Sifat biologis dari tanaman. Sifat berbunga, penyerbukan, fertilitas, viabilitas benih, sifat regenerasi dalam kultur *in vitro*.

Metoda pemuliaan tanaman secara konvensional tergantung dari sifat penyerbukan. Apakah penyerbukan sendiri (seleksi masa, pedigree, single seed descent, dsb), penyerbukan silang (silang balik, hibridisasi galur murni, dsb). Pemuliaan secara bioteknologi terdiri dari metoda selular (keragaman somaklonal,

hibridisasi somatik, haploidisasi) dan metoda molekular (rekayasa genetik, dan marker molekular).

Metoda molekular sampai saat ini yang baik adalah transformasi dengan pertolongan *Agrobacterium tumefaciens* pada media kultur jaringan. Hanya tanaman yang dapat diregenerasi melalui kultur jaringan yang dapat menggunakan metoda selular dan transformasi genetik. Akhir-akhir ini Indonesia sangat terpengaruh oleh penjual alat-alat genetik molekular yang canggih dan mahal yang mengatakan kultur jaringan tidak diperlukan. Transformasi genetik dapat dilakukan secara *in planta*. Tanaman transgenik berupa kedele, jagung, gandum, kentang, kapas dsb adalah transformasi secara *in vitro*. Belum ada tanaman transgenik yang dilepaskan dari metoda transformasi *in planta*.

Pemuliaan tanaman sejak revolusi hijau sampai saat ini adalah kerjasama antara pakar pemuliaan tanaman dan pakar fisiologi tanaman. Pakar fisiologi tanaman menentukan tipe ideal tanaman (idiotipe) yang produktif dan pakar pemuliaan tanaman mencari dan mentransfer gen yang diperlukan. Kerjasama antar pakar biologi dan biokimia ini yang baik adalah pada perakitan kultivar padi IR64 “Golden Rice” (Protrykus, 2003).

Perakitan padi GR diawali dengan mempelajari jalur biosintesis B Karotene mulai dari : MVA (C6) → IPP (C5) → GPPC (C10) → GGPPC (C20)

lycopene (C40) → B Karotene (C40). Kompetisi terbesar dalam biosintesis senyawa-senyawa organik adalah pada prasad GGPP. Oleh karena itu bagaimana untuk memacu pembentukan B karotene dari prasad GGPP dan bagaimana B karotene itu terekspresi pada endosperm padi. Didapat gen-gen yang diperlukan yang terdiri dari gen psy (phytoene synthetase), gen pds (phytoene desaturase), gen lcy (lycopene) dan gen crt1 (carotenoid biosynthesis). Supaya gen-gen ini terekspresi pada endosperm diperlukan promotor khusus yaitu gt1 (endosperm specific glutelin promotor).

Pelajaran yang didapat pada Golden Rice ini adalah :

- (1) Dalam kedaulatan pangan, perbaikan varietas tanaman bukan saja kepada produktivitas dan ketahanan tetapi juga nutrisi pangan (melalui biofortifikasi)
- (2) Perakitan tanaman untuk perbaiki nutrisi pangan memerlukan kerjasama yang baik antar berbagai pakar biologi.

Perakitan tanaman padi pada Revolusi Hijau dan Golden Rice menjadi pedoman untuk merakit kultivar tanaman pangan di daerah Maluku yang terdiri dari umbi-umbian (singkong, ubi jalar, gembili, ubi, talas), serta buah dan pohon.

6. Peningkatan Produksi dan Kualitas Produk Tanaman Umbi-Umbian didasar pada Metabolisme Tanaman (Fisiologi Tanaman)

(1) Peningkatan produksi dengan peningkatan “Source”

Tanaman memproduksi karbohidrat di daun dan diangkut ke bagian yang membutuhkan atau bagian penyimpanan. Organ tempat memproduksi karbohidrat dalam fisiologi tanaman disebut “Source” dan bagian penyimpanan disebut “Sink”. Pada tanaman pangan karbohidrat sink ini yang biasa dipanen dalam biji-bijian atau umbi-umbian. Didalam peningkatan produksi tanaman dilakukan dengan peningkatan kapasitas source dan sink seperti tanaman sereal atau hanya peningkatan source seperti pada tanaman umbi-umbian.

Pada tanaman sereal peningkatan produksi harus dibarengi dengan peningkatan source dan sink. Karena pada sereal kapasitas sink terbatas. Butir padi itu endosperm dibungkus oleh kulit (caryopsis) yang mati, sehingga butir padi itu tidak bisa membesar, kalau sudah penuh tidak dapat diisi lagi. Karena itu tanaman padi dan kacang-kacangan disebut “sink limited” (keterbatasan sink).

Pada tanaman umbi-umbian pada umbi terdapat mata umbi atau ada bagian yang meristimatis. Kemampuan sink tidak terbatas seberapa besar pun karbohidrat yang datang dari source dapat ditampung. Itu sebabnya satu pohon singkong mukibat (batang bawah singkong + batang atas singkong karet) dapat menghasilkan umbi 50-100kg. Pada umbi-umbian (singkong, ubi jalar, gembili, talas) peningkatan hasil pertanaman adalah melalui peningkatan kemampuan source dan jumlah daun hijau.

Peningkatan source dapat dilakukan antara lain :

(a) Mencegah penuaan daun (senescence)

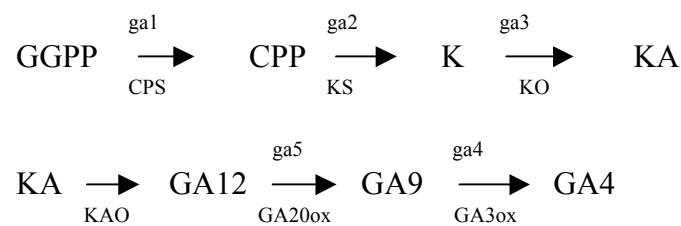
Pada daun yang menua terdapat peningkatan pembentukan ABA dengan penurunan pembentukan sitokinin. Hal ini dapat dicegah dengan gen IPT (isopentenyl transferase) yang memproduksi sitokinin IP (isopentenyl adenine). Gen ini dapat diisolasi dari *Agrobacterium tumefaciens* atau dari *Arabidopsis thaliana* (At). Menurut Kakimoto (2001) pada At terdapat 9 gen IPT (At IPT1-At IPT9) yang serupa dengan gen IPT dari *A.tumefaciens*. Supaya gen ini hanya terekspresi pada daun senescence maka diberikan “Senescence Specific Promotor” (SAG 12). Jika ditransformasi dengan konstruksi gen SAG12 – IPT maka sitokinin IP hanya tereskpresi pada daun yang akan menguning, akibatnya daun ini akan tetap hijau. Gen SAG12-IPT ini akan merupakan terobosan baru dalam peningkatan produksi tanaman umbi-umbian tropis.

(b) Memperpendek/ memgkerdikan tanaman

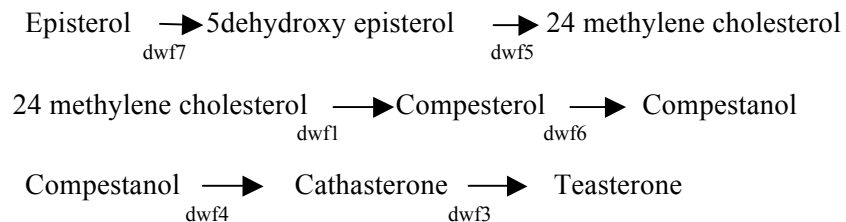
Maksud memperpendek atau memperkerdikan tanaman adalah memperpendek ruas tanaman tanpa mempengaruhi jumlah buku dan daun tanaman. Tinggi tanaman ditentukan oleh jumlah buku dan

panjang ruas. Panjang ruas dipengaruhi oleh GA'S. Secara kimiawi diberikan ZPT-Retardan, yang menghambat biosintesis GA'S. Retardan Cycocel dan CCC menghambat siklisasi GGPP (geranyl geranyl difosfat) menjadi CPP (copalyl difosfat), sedangkan retardan ancymidol, paclobutrazol, uniconazole menghambat oksidasi entkaurene menjadi entkauronic acid. Secara bioteknologi-molekuler gen-gen yang menghasilkan enzim-enzim tersebut dapat dinonaktifkan, yang dikenal dengan sebutan dwarf mutant. Pada *Arabidopsis thaliana* selain dwarf mutant pada biosintesis GA'S terdapat dwarf mutant pada biosintesis Brassinosteroid. Berikut ini dwarf mutant dari *Arabidopsis thaliana* dan brassinosteroid dwarf mutant :

(a) GA'S dwarf mutant (Sponsel dan Hedden, 2004)



(b) Brassinosteroid dwarf mutant (Sunghwa Choe, 2004)



Keterangan :

Gai-1 = gen dwarf orthologos dengan mutant ga1

Ga, dwf = dwarf mutant

GGPP = Geranyl Geranyl diP

CPP = Copalyl diP

K = Kaurene, KA = Karenoid acid

CPS = Copalyl Synthetase, KO = Kaurene Oxidase

KS = Kaurene Synthetase

KAO = Kaurenoic Acid Oxidase

GA20ox, GA3ox = (GA20, GA3) Oxidase

GA12, GA9, GA4 adalah jenis-jenis GA'S

Pada tanaman diketahui : 136GA'S (GA1 – GA136)

Aktivitas GA yang tinggi adalah : GA1, GA3, GA4, GA5, GA6, GA7

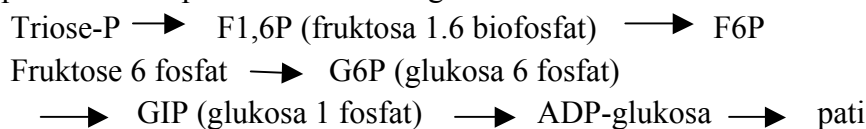
Struktur dan fungsi dari "dwarf genes" dapat dilacak pada pustaka Genomik (struktur dan fungsi) dari *Arabidopsis thaliana*. Pada tanaman gandum juga terdapat gen rht (reduce height) yang tidak respon

terhadap giberellin yang digunakan sebagai sumber gen untuk menghasilkan tanaman gandum yang kekar dan pendek.

Pemendekkan ruas tanaman tanpa mengurangi jumlah daun dapat mengalokasikan karbohidrat yang digunakan untuk memperpanjang ruas ke tempat penyimpanan karbohidrat berupa umbi.

(2) Peningkatan produksi melalui peningkatan kadar pati

Karbohidrat yang dihasilkan melalui fotosintesis siklus Calvin dapat dipergunakan sebagai bahan organik non pati. Pada umbi hasil panen itu berupa pati. Secara genetika molekuler pembentukan bahan-bahan organik itu dapat diarahkan untuk peningkatan pembentukan pati. Secara sederhana jalur pembentukan pati itu adalah sebagai berikut :



Menurut Heldt (2005) langkah yang krusial dalam pembentukan pati adalah :

- (a) Pembentukan fruktosa 1,6 bifosfat (F1,6 BP) dari triose-fosfat oleh enzim Fruktosa Bifosfat Adolosa (FBA).
- (b) Pembentukan ADP glukosa dari glukosa-1-fosfat (G1P) oleh enzim ADP-glukosa-pirofosforilase dengan mengandengkan kedua gen yang memproduksi FBA dan ADPGPP itu pada konstutif promotor yang kuat (CAMV35S dan RVBQ2) akan didapatkan kandungan pati yang lebih tinggi. Barry *et al* (1998) mengajukan permohonan patent peningkatan pati tanaman transgenik dengan gen FDA (FBA).

(3) Peningkatan kualitas pati umbi-umbian

Kualitas yang dimaksud adalah menjadikan tepung umbi-umbian mempunyai sifat visko-elastisitas yang sama dengan tepung terigu. Sifat ini sangat diperlukan untuk produk-produk pangan dari tepung. Visko elastisitas yang terdapat pada gandum tidak terdapat pada tanaman karbohidrat lainnya. Pada gandum terdapat protein cadangan yang disebut gluten suatu prolamins. Prolamins terdiri dari albumin, globulin dan gluten (Osborne, 1924).

Gluten adalah pseudo polimer dari glutenin dan gliadin. Pseudopolimer itu diikat oleh ikatan bisulfida (-S-) yang ada pada asam amino Cysteine (H-S-CH₂CHNH₂COOH), makin banyak residu Cystein makin baik sifat visko-elastik dari gluten. Gluten itu terdiri dari 10 persen HMWG (High Molecular Weight Glutelin) dan 40 persen LMWG (Low Molecular Weight Glutelin) dan 50 persen gliadin (Payne dan Lawrence dalam Dekova, 2005).

Benmoussa *et al* (2004) telah berhasil mentransfer gen glutenin (LMWG) ke kultivar kentang Kennebec mempergunakan vektor pBI 101.3 dengan promotor patatin dan terminator NOS. Tepung umbi kentang dari Kennebec mempunyai visko-elastisitas tiga kali lebih tinggi dari Kennebec non transgenik.

Liberty *et al* (2012) di Unpad telah berhasil mentransfer gen Glu-IDY-10 dengan metoda penembakan dengan partikel helium pada kultivar padi Kitaake dan menunggu pengujian ekspresi pada tepung berasnya.

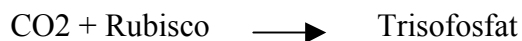
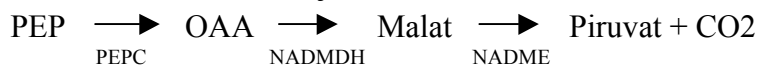
(4) Peningkatan ketahanan abiotik

Tanaman umbi-umbian mempunyai daya adaptasi yang lebih baik dari pada tanaman sereal dan kacang-kacangan. Cekaman abiotik yang mempengaruhi produksi tanaman adalah cekaman suhu, kekeringan, intensitas cahaya, kadar garam yang tinggi, keracunan Al dan banjir (kekurangan O₂ akar).

Tanaman masa depan untuk mengantisipasi perubahan iklim yang tidak menentu adalah tanaman dengan sistem fotosintesis C3-CAM dan C4-CAM lazim disebut dengan CAM alternatif (Wattimena, 2012). Tanaman CAM sangat tahan berbagai cekaman abiotik tetapi pertumbuhannya sangat lambat. Jika tanaman CAM alternatif mengalami cekaman abiotik tanaman akan berfotosintesis secara CAM dan tanaman itu tetap hidup, jika kondisi normal kembali tanaman akan berfotosintesis secara C3 atau C4. Pada waktu kekeringan atau banjir tanaman CAM alternatif tetap hidup beda dengan tanaman C3 dan C4.

Tanaman umbi-umbian adalah tanaman C3 sehingga untuk membuat tanaman C3-CAM tinggal menambahkan gen karboksilasi dan dekarboksilasi dari tanaman CAM.

Penambahan C3 menjadi C3 CAM secara sederhana adalah sebagai berikut :



Dari skema diatas diperlukan hanya gen PEPC, NADMDH dan NADME. Enzim NADME dan NADMDH ada pada mitokhondria, sehingga kemungkinan diperlukan saja gen PEPC. Dari tanaman C3-CAM *Mesembryanthemum crystallinum* telah diisolasi 9 gen yang berhubungan dengan sistem fotosintesis C3-CAM diantaranya PEPC, NADMDH dan NADME (Cushman dan Banner, 1996).

Gen CodA (Choline oxidase) (Alia et al, 1998) atau gen BADH (Betaine aldehyde dehydrogenase (Meyer et al, 2000) yang dapat mengakumulasi glycine betaine pada tanaman sehingga tanaman tersebut tahan terhadap cekaman kekeringan, suhu, cahaya dan kadar garam tinggi tanpa efek pleotropik

(Alia *et al*, 1998).

7. GM Kasava Primadona Makanan Global

Singkong atau kasava menjadi pangan bagi penduduk didaerah tropis Amerika, Afrika, Asia walaupun bukan sebagai pangan dunia utama dalam urutan pangan dunia kasava adalah nomor lima.

Pangan kasava masih dianggap rendah dan makanan bagi orang tak mampu. Itu sebabnya tanaman kasava disebut “Subsistence crop” atau “Safety net crop” yaitu

sebagai pangan penyelamat. Di Indonesia Kasava sebagai tanaman penyelamat juga pernah dialami pada jaman Deandels (1914-1918) di Jawa sehingga kasava disebut “Ketela Jendral”.

Walaupun sudah banyak penelitian mengenai pangan berbasis umbi kasava, termasuk kemungkinan substitusi tepung terigu, pangan kasava belum dioptimalkan sebagai pangan pokok. Salah satu cara untuk dapat menjadi pangan kasava sebagai pangan pokok adalah mentransformasi secara genetik tepung kasava yang memiliki sifat yang sama dengan tepung terigu. Selain kualitas tepung, tanaman kasava pun dapat ditransformasi secara genetik untuk produksi tepung yang tinggi dan ketahanan terhadap cekaman abiotik termasuk perubahan iklim yang tidak teratur. Kasava dibandingkan dengan tanaman umbi-umbian tropis yang lain mempunyai beberapa keunggulan berikut :

- (1) Seluruh bagian tanaman dari kasava itu dapat dimanfaatkan
 - a. Daun segar dapat dijadikan berbagai macam sayuran, tempe daun singkong, rendang daun singkong, pakan dan fitofarmaka.
 - b. Umbi : berbagai makanan segar, produk dehidrasi (gaplek, chip, pelet, tapioka, onggok), produk fermentasi (tape, tepung mocav), produk hidrolisis (fruktosa), produk minuman dan kue-kue. Kulit umbi dapat dijadikan media jamur dan bekas media jamur (Spent) dapat dijadikan pangan dan pakan.
- (2) Daya adaptasi lingkungan yang luas dapat berproduksi mulai dari daerah tropis sampai pada 25° Lintang Utara dan Selatan. Dapat dibudidaya pada tanah marginal sampai tanah subur dan tahan kekeringan.
- (3) Hama dan penyakit relatif kurang (sedikit).
- (4) Budidaya sangat sederhana dan ongkos produksi lebih murah jika dibandingkan dengan tanaman serealia.
- (5) Dapat ditumpangsarikan dengan tanaman padi, jagung, sorghum, kedele, kacang hijau, atau dengan tanaman semusim lainnya yang umur panen sekitar 3 bulan.
- (6) Masa panen yang lama mulai panen dari umur 8 bulan sampai 20 bulan untuk klon penghasil pati dan 8-12 bulan untuk klon konsumsi segar dan keripik.
- (7) Tersedia beraneka ragam genotip untuk berbagai kebutuhan
 - a. Konsumsi segar dan keripik : Mangi, Valenca, Mentega, Malang 1, Malang 2, Gajah, dll.
 - b. Kadar pati tinggi (lebih dari 30%) : Adira 4, Darul Hidayah, Malang 4, Malang 6, dll.
 - c. Konsumsi segar dan kadar pati tinggi : Malang 1, Malang 2, Mangi, Mangu, Valenca, Cicurug, Gajah, dll.
- (8) Tanaman kasava diperbanyak secara klonal. Perbanyak secara klonal menghasilkan populasi tanaman yang seragam, stabil dan cepat berproduksi.
- (9) Tanaman kasava dapat diregerasi secara *in vitro* baik melalui fase kalus maupun secara langsung (tunas aksilar, embrio somatik)

- (10) Tanaman kasava sudah dapat ditransformasi secara genetika molekuler. Tanaman GM-kasava aman lingkungan, karena kasava tidak berbunga di daerah produksi. Tanaman kasava hanya berbunga dan berbiji di daerah pegunungan di Indonesia (suhu dingin).
- (11) Kasava masih masuk lima besar pangan dunia, dari umbi-umbian nomor dua sesudah kentang. Pangan dunia berturut-turut dari nomor 1 sampai nomor 5 adalah padi, gandum, jagung, kentang dan kasava.

8. Transformasi GM Kasava

GM Kasava memerlukan gen-gen yang telah tersedia, pembawa gen dan klon kasava penerima gen. Dari gen-gen yang tersedia untuk peningkatan produksi yang telah dibicarakan pada bab 7, hanya 3 gen yang diperlukan untuk menjadi GM Kasava yaitu gen glutelin, gen ipt, dan gen BADH.

- (1) Gen glutelin (LMWG, glu-IDX5, glu-IDY10)

Gen glu-IDX5 dan glu-IDY10 sedang ditransformasi ke padi oleh Universitas Pajajaran (Liberty et al, 2012) maka tinggal bekerjasama dengan UNPAD untuk menjadikan tepung singkong berkualitas sebagai tepung terigu.

Pada saat ini pengurangan pemakaian tepung terigu dilakukan dengan perbaikan pengolahan tepung Kasava dan substitusi. Pengolahan tepung kasava yang bermutu dilakukan dengan cara fermentasi. Fermentasi dengan bakteri ragi (*Saccharum cerevisiae*, *Bacillus subtilis*, dsb) atau kapang (*Aspergillus niger*, *Pseudomonas sacharophila*, *Rhizopus delemans* dsb). Dari agen fermentasi ini perlu mendapat perhatian adalah *A.niger* yang dijuluki super “degradable” dan “digestible” (Lowe, 2011). *A. niger* mempunyai begitu lengkap enzim hidrolisa antara lain α amilase, glukamilase dan selulase.

- (2) Gen antisensens (ipt) dengan promotor SAG12 (SAG12-ipt)

Tanaman kasava pada umur 3-5 bulan mempunyai kanopi yang tertutup rapat sehingga gulma tidak ada yang tumbuh, karena tidak ada cahaya dibawah kanopi tersebut. Pada waktu mulai pembentukan umbi kepadatan kanopi ini mulai berkurang lebih dari 50 persen hingga waktu panen. Secara teoritis jika padatnya kanopi itu dapat dipertahankan sampai waktu panen, maka produksi akan meningkat dua kali lipat dan tidak perlu penyiangan gulma.

Tanaman kasava dalam segi produksi adalah “Source dependent” (ketergantungan sumber fotosintat). Makin besar sumber fotosintat (daun hijau) makin besar produksi kasava. Produksi kasava rata-rata 20-40 ton/ha/10 bulan dengan gen ipt produksi sekurang-kurangnya 40-80 ton/ha/10 bulan dan dalam 20 bulan bisa meningkatkan 80-120 ton/ha.

Pemberian “Senescence induceble” promotor SAG12 adalah gen ipt hanya bekerja pada daun yang mulai senescens (menguning). Jika diberikan

“constitutive promotor” terjadi peningkatan sitokinin-ipt dan hal ini akan meningkatkan evapotranspirasi air dan meningkatkan penggunaan air. Sitokinin mendorong pembukaan mulut (stomata) daun.

Proses fermentasi itu menghilangkan racun HCN yang terdapat dalam sianogenik glukosida (linamarin) dengan proses fermentasi terjadi hidrolisa linamarin menjadi glukosa, aseton dan HCN (HCN terbuang bersama air rendaman), tepung singkong menjadi lebih putih dan viskoelastisitas meningkat.

Pelapor pengembang tepung fermentasi MOCAF (modified cassava flour) adalah Dr. Achmad Subagio Magr dari Universitas Jember.

Substitusi terigu oleh tepung Mocaf dapat dilakukan 20 persen untuk semua produk pangan terigu tanpa merubah struktur dan cita rasa. Ada pangan/kue tertentu yang dapat disubstitusi tepung mocaf hingga 100 persen.

Jika terlaksana transformasi kasava dengan gen glutelin maka tepung terigu dapat diganti oleh tepung GM. Kasava. Proses pembuatan tepung GM.Kasava tetap harus melalui proses fermentasi. Tepung GM.Kasava ini akan menghentikan impor gandum dan terigu. Impor gandum Indonesia tahun 2011 sebesar 5.4 juta ton (BPS) jika harga itu 300 dolar AS per ton berarti devisa untuk impor gandum itu adalah 1.6 milyar dolar AS atau setara 1.52 triliun rupiah per tahun.

(3) Gen ketahanan cekaman abiotik (gen BADH, gen PEPC)

Tanaman Kasava adalah tanaman yang relatif tahan terhadap cekaman abiotik. Transformasi dengan gen BADH atau gen PEPC dapat meningkatkan ketahanan tanaman kasava terhadap cekaman abiotik.

Gen BADH meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan, suhu, cahaya, kadar garam tinggi tanpa efek pleotropik (Alia *et al*, 1998).

Gen PEPC dapat menjadikan tanaman kasava C3 menjadi kasava C3-CAM. Sebenarnya untuk menjadi C3-CAM diperlukan tambahan gen-gen PEPC, NADMDH dan NADME. Karena gen NADMDH dan NADME telah ada dalam mitokondria tanaman C3 kemungkinan hanya diperlukan gen PEPC. Tanaman kasava C3-CAM tidak akan mati pada iklim yang berubah-ubah secara ekstrim. Pada lingkungan abiotik yang ekstrim tanaman kasava akan berfotosintesa secara CAM (dorman atau tumbuh lambat) dan pada keadaan lingkungan kembali normal akan berfotosintesa secara C3 (tumbuh cepat).

(4) Genotip klon kasava

Terdapat berbagai klon kasava untuk memenuhi aneka kebutuhan. Genotip kasava yang digunakan adalah genotip yang dapat digunakan untuk konsumsi segar, keripik dan kadar pati yang tinggi. Genotip kasava tersebut antara lain adalah Mangi, Valenca, Cicurug, Gajah, Malang 1 dan Malang 2.

(5) Transformasi gen glutelin, ipt dan BADH

Transformasi ketiga gen tersebut dapat menggunakan *Agrobacterium* atau penembakan partikel dengan menggunakan PDS 1000 He (Biorad). Seleksi tanaman yang diduga transforman dilakukan dengan marka seleksi. Marka seleksi antibiotika, herbisida dan non herbisida dan antibiotika. Marka antibiotika yang umum adalah nptII (neomycin phosphotransferase) dan hpt (hygromycin phosphotransferase). Marka herbisida terdiri dari pat (phosphinotricin acetyl transferase) dan cp4 (EPSP Synthetase). Marka lain adalah pmi (phosphomanose isomerase), asa 2 (anthranilate synthetase), cah(cyanamide hydratase) dan xylose isomerase. Sesudah didapat tanaman diduga transforman uji tanaman transforman dilakukan secara molekuler.

Transformasi ketiga gen tersebut dapat dilakukan secara beruntun dengan menggunakan 3 marka yang berbeda. Marka yang digunakan adalah marka non herbisida dan non antibiotik supaya aman terhadap lingkungan dan pangan.

9. Pro dan Kontra Produk Transgenik di Indonesia

Tidak ada satupun teknologi yang tidak mempunyai dampak. Tetapi didalam mengembangkan suatu teknologi selalu dipertimbangkan antara keuntungan dan kerugian. Jika keuntungan itu lebih besar dari kerugian tentu teknologi itu mulai diterapkan. Proses perbaikan teknologi itu terus diperbaiki untuk meminimalisir kerugian yang ditimbulkan. Itulah yang kami alami dalam proses produksi tanaman transgenik.

Tahun 1990 sampai tahun 2000 di Indonesia terjadi polemik yang sengit antara pro dan kontra terhadap produk transgenik. Mengatasi polemik dari kesimpangsiuran itu maka Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia Komisi Ilmu Kedokteran pada tanggal 29 September 2000 mengeluarkan : “Pandangan AIPI tentang produk transgenik”.

“AIPI merasa bahwa perbedaan pendapat tentang masalah produk transgenik pertanian sangat memprihatinkan karena dapat mensia-siakan kesempatan yang pada akhirnya merugikan bangsa Indonesia”.

.....”Setiap kreasi manusia tidak mungkin sempurna, sehingga disamping kebaikan akan terdapat juga kekurangannya, demikian pula teknologi rekayasa genetika. Penerimaan dan pemanfaatan hasil teknologi selalu ditentukan sesudah dikaji dan dibandingkan kebaikan dan kekurangan tersebut”.

AIPI sesudah pembahasan mendalam mengeluarkan delapan pendapat diantaranya : “Indonesia harus secara terencana dan terarah mengembangkan kemampuan teknologi rekayasa genetika, karena teknologi tersebut mampu menghasilkan berbagai inovasi untuk mendukung pembangunan kesehatan, kelestarian swasembada pangan dan meningkatkan kemampuan Indonesia di era globalisasi”.

.....”Rekayasa genetika dan produk transgeniknya, harus dipantau dan dievaluasi secara berkala dan berkelanjutan untuk menginformasikan keunggulan dan menemukan sedini mungkin kekurangan-kekurangan”.

Di Indonesia kontra produk rekayasa genetika datang terutama dari 3 badan yaitu : (1) Konsorsium Nasional untuk Pelestarian dan Alam Indonesia (KOPHALINDO), (2) Yayasan Lembaga Konsumen Indonesia (YLKI) dan Pesticide Network Indonesia (PAN).

Pada tanggal 28 Agustus 2000, tiga badan ini mengadakan siaran pers di Jakarta yang menolak tanaman transgenik. Tuntutan mereka antara lain :

“ Pemerintah agar menghentikan proses pengujian lapangan tanaman atau produk transgenik di lapangan dan peredarannya sampai ada ketentuan (peraturan) yang lebih kuat dan jelas yang mengatur pengujian dan peredaran tanaman atau produk transgenik di Indonesia, yang penyusunannya melalui konsultasi publik. Pemerintah dituntut menghentikan pemberian benih gratis (dari perusahaan multinasional) kepada kelompok tani atau kelompok masyarakat lainnya.

....”Menteri terkait dan Kabulog agar lebih selektif dan berhati-hati.....dalam pengadaan produk pertanian asing yang diduga mengandung bahan-bahan rekayasa genetika”.

....”Menghimbau pada para pakar dan pengamat pangan pertanian dan kesehatan serta etika lingkungan yang kompeten untuk memberikan dukungan akademik secara jujur mengenai potensi bahaya yang terkandung dalam pangan hasil rekayasa genetika bagi konsumen Indonesia”.

Di Indonesia sebelum kita melepaskan tanaman rekayasa genetika diharuskan melakukan pengujian keamanan hayati (Biosafety) dan keamanan pangan (Food safety) menurut ketentuan-ketentuan dari Komisi Keamanan Hayati dan Keamanan Pangan (KKHKP) dan pengawasan dari Tim Teknis Keamanan Hayati dan Keamanan Pangan (TTKHKP).

Ada tiga ketentuan aman bagi tanaman biotek di Indonesia yaitu:

- (1) Keamanan Hayati dan Keamanan Pangan untuk tanaman biotek yang ditumbuhkan di Indonesia dan digunakan sebagai pangan dan pakan (jagung, kedele, kentang, padi, dsb).
- (2) Keamanan hayati untuk tanaman biotek yang ditumbuhkan di Indonesia, tetapi bukan untuk tanaman pangan (kapas).
- (3) Keamanan Pangan : untuk tanaman biotek yang tidak ditumbuhkan di Indonesia tetapi hanya diimpor untuk bahan pangan dan pakan (jagung, kedele).

Sebagai pakar bioteknologi tanaman kami menyadari bahwa dalam melepaskan suatu varietas tanaman transgenik harus lolos dalam pengujian biosafety dan foodsafety. Karena itu tanaman transgenik yang dihasilkan oleh anak bangsa harus mendapat dukungan penuh dari pemerintah.

Pemerintah harus sadar bahwa pakar rekayasa genetik Indonesia sudah mempunyai kemampuan yang sejajar dengan pakar luar negeri. Pemerintah jangan

mengimpor benih jagung, kedele yang dihasilkan di luar negeri dan ditanam di Indonesia. Pemerintah hanya memfasilitasi mendapatkan gen-gen yang diperlukan, pakar bioteknologi anak bangsa yang mentransfer gen-gen tersebut pada varietas-varietas tanaman Indonesia yang telah beradaptasi dengan lingkungan Indonesia. Varietas tanaman transgenik dari luar negeri umumnya kurang beradaptasi dengan lingkungan Indonesia.

Pada tahun 2012 ini pertentangan tanaman transgenik sudah mulai memudar. Hal ini disebabkan :

- (1) Kejujuran dan keterbukaan dalam melaporkan temuan-temuan penelitian tanaman transgenik.
- (2) Perbaikan didalam proses pembuatan tanaman transgenik, diantaranya :
 - (a) Transformasi gen pada kloroplas bukan pada inti sel, mencegah pindahnya gen kepada organisme lain.
 - (b) Mengganti marka seleksi antibiotik dan marka seleksi herbisida dengan marka seleksi non antibiotika dan non herbisida, sehingga aman pangan dan aman lingkungan.
- (3) Masyarakat mendapat informasi yang baik dan benar tentang tanaman rekayasa genetika.

Pada siaran Kompas 27 November 2012 dikatakan bahwa Direktur Standarisasi produk pangan BPOM telah mengizinkan 11 jenis produk transgenik yang terdiri dari jagung (7 jenis), kedele (2 jenis), tebu (1 jenis) dan bahan es krim (1 jenis).

Mudah-mudahan badan BPOM bersama dengan TTKHKP telah menguji foodsafety dari 11 jenis pangan transgenik yang diimpor itu. Karena prinsip kehati-hatian harus dipegang teguh terhadap setiap produk transgenik.

Daftar Pustaka

- Alia, Kondo Y, Sakamoto A, Nonaka S, Hayashi H, Saradhi PP, Chen INN, Minata N. 1999. Enhance toleran to light stress of transgenic *Arabidopsis* plants that express cod A gene for a bacterial choline oxidase. *Plant Mol Biol* 40: 279-288.
- Altieri MA. 1987. *Agroecology : The scientific basis of alternative agriculture* Boulder, Westview.
- Barry GF, Cheikh N, Kishore G. 1998. Expression of fructose 1,6 biphosphate aldose in transgenic plants. Patent Application WO98/58069.1998.
- Berry W. 1977. *The Unsetting of America Culture and Agriculture*, Sierra Club Books, San Francisco.
- Benmoussa M, Vezina LP, Page M, Gelinias P, Yelle S, Laberge S. 2004. Potato flour viscosity improvement is associated with the expression of a wheat glutenin gene. *Biotechnol Bioengineer*. 87:4.
- Cushman JC, Banner HJ. 1996. Transcriptional activation of CAM genes during development and evironmental stress In. Winter K. Smith JAC (eds). *Crussalacean Acid Metabolisme. Biochemistry, Ecophysiology and evolution* Springer. Verlag Heidelberg New York.
- Deinum H. 1948. *Sago. . : De Landbouw In De Indiche Archipel IIA*. JJ. Van Hall dan C Van de Kopplel. Uitgevery W Van Hoeve. S-Gravenhage
- Des Alwi. 2005. *Sejarah Maluku Banda Neira, Ternate, Tidore dan Ambon* Dian Rakyat Jakarta.
- Fried G. 1981. *Sustainable Food System. The Potential for Biological Agriculture*
- Gibs T. 1987. *Breaking the pestiside habit : alternative 1012 Lazardous pesticides* Minneapolis :IASA.
- Heldt HW. 2005. *Plant Biochemistry* Elsevier Acad. Press. Amsterdam.
- Kakimoto T. 2001. Identification of plant cytokinin biosynthetic enzymes as dimethyl allyl diphosphate : ATP/ADP isotransferase *Plant Cell Physiol* 42 : 677-685.

- Liberty, Carsono N, Nopayanti N, Murdaningsih HK dan Santoso T. 2012. Transformasi gen Glu_IDY10 pada padi Fatmawati dan Kitaake melalui penembakan partikel. Temu pakar Bioteknologi 2012, ICB-IPB, Bogor.
- Meyer WG, Zang S, Lu S, Cher TA, Funk R. 2000. Transformation of Kentucky blue grass (*Poa pratensis* L) with betaine aldehyde dehydrogenase gene for salt and drought tolerance Annual Meeting Abstract (SSA, Madison, WI).
- Norimarna MKJ. 2012. Penataan ruang dan pengembangan wilayah. Dalam : Berlayar Dalam Ombak Berkarya Bagi Negeri KA Ralahalu. Ralahalu Institut, Ambon.
- Osborne TB. 1924. *The Vegetable Proteins* Ind ed. Longmans. London.
- Salampessy D. 2012. Peranan kearifan lokal dalam pengembangan wilayah berbasis gugus pulau di Maluku. Dalam : Berlayar Dalam Ombak Berkarya Bagi Negeri. Ralahalu Institut Ambon.
- Wattimena GA. 1992. *Bioteknologi Tanaman I*. PAU. IPB. Bogor.
- Wattimena GA. 2012. Sumber pangan baru Dalam : *Merevolusi Revolusi Hijau. Pemikiran Guru Besar IPB (Buku III)*. Poerwanto R, Siregar IZ, Suryani A (eds), IPB Press Bogor.