LOMBA KARYA TULIS MAHASISWA

KAJIAN PENINGKATAN KANDUNGAN ZAT BESI (Fe), SENG (Zn), DAN BETA KAROTEN PADA TANAMAN SINGKONG (*Manihot esculenta* Crantz sin.) MELALUI TEKNOLOGI BIOFORTIFIKASI

Disusun oleh:

TRI HANDAYANI NRP. A34303008

ARMITA FIBRIYANTI NRP. A34303018

INDAH PRATIWI NRP. A34304059

Bidang:

Ilmu Pengetahuan Alam

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

BOGOR

2007

LEMBAR PENGESAHAN

Karya Tulis yang berjudul:

KAJIAN PENINGKATAN KANDUNGAN ZAT BESI (Fe), SENG (Zn), DAN BETA KAROTEN PADA TANAMAN SINGKONG (*Manihot esculenta* Crantz sin.) MELALUI TEKNOLOGI BIOFORTIFIKASI

Oleh :

Tri Handayani	NRP A34303008
Armita Fibriyanti	NRP A34303018
Indah Pratiwi	NRP A34304059

Telah disahkan pada tanggal 18 April 2007

Mengetahui	Menyetujui
Wakil Rektor III IPB	Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Yusuf Sudo Hadi, M. Agr	Dr. Ir. Nurul Khumaida, MSi
NIP. 130 687 459	NIP. 132 133 964

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah yang berjudul "Kajian Peningkatan Kandungan Zat Besi (Fe), Seng (Zn), dan Beta Karoten pada Tanaman Singkong (*Manihot esculenta* Crantz sin.) Melalui Teknologi Biofortifikasi"

Karya tulis ini tersusun akibat adanya bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Wakil Rektor III serta bagian Direktorat Kemahasiswaan Institut Pertanian Bogor.
2. Fakultas Pertanian IPB atas dukungannya
3. Departemen Agronomi dan Hortikultura atas dukungannya
4. Ibu Dr. Ir. Nurul Khumaida, MS selaku dosen pembimbing dalam penyusunan karya tulis ini.
5. Orang tua serta rekan-rekan mahasiswa yang penulis banggakan dan pihak-pihak yang turut mendukung baik morik maupun material, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ini tidak luput dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam rangka penyempurnaannya. Akhirnya, semoga karya tulis ini mampu memberikan sumbangan bagi dunia ilmu pengetahuan secara luas.

Bogor, April 2007

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

RINGKASAN

TRI HANDAYANI, ARMITA FIBRIYANTI, INDAH PRATIWI. Kajian Peningkatan Kandungan Zat Besi (Fe), Seng (Zn), dan Beta Karoten pada Tanaman Singkong (*Manihot esculenta* Crantz sin.) Melalui Teknologi Biofortifikasi. Dibimbing oleh NURUL KHUMAIDA.

Kata kunci : Biofortifikasi, singkong, Fe, Zn, beta karoten

Kekurangan nutrisi terhadap zat gizi mikro (besi (Fe), seng (Zn), dan vitamin A) merupakan masalah utama kesehatan yang dialami lebih dari setengah penduduk di dunia ini (Mason dan Garcia, 1993). *United Nations System Standing Committee on Nutrition* (2004) menyatakan bahwa gejala ini banyak menyerang wanita dan anak-anak usia pra sekolah. Di Indonesia, setidaknya terdapat 5 juta anak dari 18 juta anak balita menderita gizi kurang, sedangkan 1.7 juta terancam gizi buruk (Kompas, 2007).

Singkong merupakan bahan pangan yang mudah diperoleh dan relatif murah, memiliki daya adaptasi lingkungan yang tinggi, teknik budidaya mudah, tidak memerlukan banyak pupuk dan pestisida. Kandungan mikro nutrisi Fe pada singkong mentah sebesar 1.1 mg/100 gram bahan, beta karoten 10 µg/100 gram bahan (*Community Food System Data*, 2007). Kandungan Zn pada singkong antara 4-18 mg/kg bahan (White dan Broadley, 2005). Rekomendasi FAO/WHO tahun 2000 kebutuhan manusia dewasa terhadap Fe, Zn, beta karoten masing-masing sebesar 10-15 mg, 12-15 mg, 800-1000 µg (dalam bentuk vitamin A).

Kandungan Fe, Zn, beta karoten pada tanaman singkong belum sesuai dengan standar FAO/WHO. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk meningkatkan kandungan mikro nutrisi pada singkong, salah satunya melalui biofortifikasi. Biofortifikasi tanaman singkong yang mengandung Fe, Zn, dan beta karoten belum banyak dilakukan. Oleh karena itu diperlukan kajian mendalam mengenai prospek pengembangan biofortifikasi tanaman singkong yang mengandung Fe, Zn, dan beta karoten, salah satunya adalah dalam bentuk karya ilmiah.

Tujuan karya ilmiah ini untuk mempelajari metode perbaikan tanaman singkong yang mengandung Fe, Zn, dan beta karoten melalui teknologi biofortifikasi, mempelajari metode peningkatan Fe, Zn, dan beta karoten pada tanaman singkong, penurunan kandungan senyawa anti nutrisi yang menghambat penyerapan Fe, Zn, dan beta karoten, dan peningkatan konsentrasi promotor yang berperan dalam peningkatan penyerapan Fe, Zn, dan beta karoten. Metode penulisan dilakukan melalui pengumpulan sumber dan jenis data dilanjutkan dengan analisis data dan langkah terakhir adalah penarikan kesimpulan.

Metode peningkatan kandungan Fe, Zn, dan beta karoten pada bagian tanaman yang dikonsumsi dilakukan dengan aplikasi pemupukan, pemuliaan konvensional dan pendekatan rekayasa genetik. Pemupukan dilakukan dengan memberikan pupuk makro dan mikro. Pemuliaan konvensional dilakukan melalui pengumpulan plasma nutfah, seleksi, pengujian, dan perbanyakan. Pendekatan rekayasa genetika dilakukan melalui karakterisasi dan pemasukan gen tertentu yang mengkode Fe, Zn, dan beta karoten.

Metode penurunan kandungan senyawa anti nutrisi yang menghambat penyerapan Fe, Zn, dan beta karoten dilakukan dengan menurunkan konsentrasi asam fitat, tanin, logam berat (Co, Hg, Pb) melalui teknik rekayasa genetika atau pemuliaan secara konvensional. Metode peningkatan konsentrasi promotor dilakukan dengan meningkatkan senyawa yang menstimulasi penyerapan mikro nutrisi pada tubuh manusia. Beberapa bahan organik tertentu dapat menstimulasi penyerapan hara mikro pada tubuh manusia yaitu : asam askorbat, β-karoten, protein sistein (*cysteine*), dan asam amino.

Pemuliaan tanaman singkong perlu dilakukan untuk meningkatkan kandungan Fe, Zn dan beta karoten pada bagian yang dikonsumsi. Kajian dan penelitian masih perlu dilakukan terhadap perbanyakan tanaman singkong secara klonal pada hasil pemuliaan, pengaruh teknologi biofortifikasi pada tanaman singkong terhadap status gizi masyarakat, potensi tanaman singkong untuk menyediakan mikro nutrisi selain Fe, Zn, dan beta karoten, serta partisipasi dari berbagai pihak untuk mengembangkan tanaman singkong yang kaya kandungan mikro nutrisi.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kekurangan nutrisi terhadap zat gizi mikro (besi (Fe), seng (Zn), dan vitamin A) merupakan masalah utama kesehatan yang dialami lebih dari setengah penduduk di dunia ini (Mason dan Garcia, 1993). Penelitian yang dilakukan oleh *United Nations System Standing Committee on Nutrition* (2004) menyatakan bahwa gejala ini banyak menyerang wanita dan anak-anak usia pra sekolah. Di Indonesia, setidaknya terdapat 5 juta anak dari 18 juta anak balita menderita gizi kurang, sedangkan 1.7 juta terancam gizi buruk (Kompas, 2007). Akibat malnutrisi ini dapat mengakibatkan penyakit yang lebih berat. Penelitian Unicef tahun 1998 (Kompas, 2007) menyimpulkan bahwa anak yang menderita gizi buruk mempunyai IQ 11 poin lebih rendah dibandingkan dengan anak normal. Anak balita dengan keadaan gizi buruk akan mengalami keterlambatan belajar serta keterlambatan kecerdasan lainnya.

Anemia gizi besi merupakan salah satu masalah utama gizi di Indonesia, yang banyak diderita oleh anak balita (55.1%), anak sekolah (31%), ibu hamil (63.5%), dan pekerja kasar (35%) (Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, 2006). Selain Fe, mikro nutrisi lainnya yang dibutuhkan oleh tubuh adalah Zn. Mikro nutrisi Zn dibutuhkan untuk kesehatan sistem imunitas, pertumbuhan normal, pembentukan jaringan dan membantu kerja beberapa jenis enzim. Gizi buruk akibat kekurangan vitamin A juga merupakan salah satu masalah gizi yang banyak diderita oleh anak-anak di Indonesia. Menurut data WHO, 100-140 juta anak-anak di dunia mengalami kekurangan vitamin A dan 10 juta diantaranya dialami oleh anak balita Indonesia (Kompas, 2007).

Indonesia merupakan negara agraris dengan sektor pertanian menjadi tulang punggung perekonomian negara. Beras sebagai salah satu produk pangan pertanian andalan negeri ini telah dikonsumsi oleh 65.3% penduduk Indonesia (BPS, 2006). Konsumsi padi di Indonesia telah menyumbangkan energi, protein, dan zat besi masing-masing sebesar 63.1%, 37.7%, dan 25-30% dari total kebutuhan tubuh manusia. Di Bangladesh dan Filipina, kebutuhan 40-55% Fe tubuh dipenuhi dari mengkonsumsi beras (Balai Besar Tanaman Padi, 2006).

Perubahan iklim global dalam setahun terakhir ini telah menyebabkan para petani kurang optimal dalam memanen hasil padi mereka sehingga terjadi kelangkaan beras. Adanya perubahan konversi lahan pertanian menjadi perumahan dan industri juga menjadi faktor penyebab lain. Sebagai contoh, luas lahan pertanian di Kabupaten Lampung mengalami penurunan, pada tahun 2006 tercatat 493.750 ha sedangkan pada tahun 2007 hanya 467.057 ha. Produksi gabah kering giling (GKG) pun turun 4.94% (Kompas, 2007). Akibat lebih lanjut, ketersediaan beras menjadi berkurang. Beras menjadi barang langka yang sulit untuk diperoleh. Para konsumen harus membayar dengan harga mahal untuk mendapatkan beras tersebut. Menurut survei yang dilakukan Wiguna (2007) di Pasar Induk Cipinang pada bulan April ini harga beras berkisar Rp 4.050 – Rp 4.100 per kilogram Penduduk miskin kemudian tidak mengkonsumsi beras karena relatif mahal sehingga kekurangan nutrisi padahal beras merupakan makanan pokok.

Pemerintah kemudian mengambil langkah untuk melakukan impor beras. Pada tahun 2006 impor beras mencapai 210.000 ton (Sawega, 2007). Namun tindakan ini tidak banyak berperan dalam menurunkan harga beras di pasar. Sejumlah penduduk terutama penduduk miskin mengalami kesulitan untuk membeli beras ini. Angka resmi jumlah masyarakat miskin saat ini adalah 39,1 juta orang (17.75%), dengan kisaran konsumsi kalori 2.100 kilokalori (kkal) atau garis kemiskinan sekitar Rp 152.847 per kapita per bulan (Wiguna, 2007).

Masyarakat yang tidak sanggup mengkonsumsi beras kemudian terpaksa mengkonsumsi singkong, jagung atau yang lainnya sebagai sumber pangan. Singkong berfungsi sebagai makanan substitusi ini merupakan bahan pangan yang mudah diperoleh dan relatif murah. Selain itu singkong merupakan tanaman yang memiliki daya adaptasi lingkungan yang tinggi, teknik budidaya mudah, tidak memerlukan banyak pupuk dan pestisida.

Menurut data yang tercantum pada *Community Food System Data* (2007) disebutkan bahwa kandungan mikro nutrisi Fe pada singkong mentah sebesar 1.1 mg/100 gram bahan. Kandungan beta karoten pada singkong 10 µg/100 gram bahan. White dan Broadley (2005) menyebutkan kandungan Zn pada singkong antara 4-18 mg/kg bahan. Menurut rekomendasi dari FAO/WHO tahun 2000 kebutuhan manusia dewasa terhadap Fe, Zn, beta karoten masing-masing sebesar 10-15 mg, 12-15 mg, 800-1000 µg (dalam bentuk vitamin A).

Selama ini kebutuhan Fe, Zn dan vitamin A banyak dipenuhi dari konsumsi sayuran dan buah-buahan. Tetapi penduduk miskin kurang memiliki akses terhadap sayuran dan buah-buahan. Penduduk miskin lebih banyak menkonsumsi bahan pangan dengan kandungan karbohidrat lebih tinggi. Sehingga mereka termasuk golongan penduduk yang rentan terhadap masalah gizi.

Singkong merupakan sumber karbohidrat kedua paling banyak dikonsumsi oleh penduduk Indonesia setelah beras (BPS, 2006). Oleh karena itu diperlukan sebuah upaya untuk meningkatkan kandungan mikro nutrisi pada bahan pangan sumber karbohidrat alternatif ini. Biofortifikasi diketahui merupakan salah satu metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kandungan mikro nutrisi pada bahan pangan. White dan Broadley (2005) dan Nestel, *et al.* (2006) mendefinisikan biofortifikasi sebagai proses untuk meningkatkan konsentrasi ketersediaan elemen essensial pada bagian tanaman yang dapat dikonsumsi melalui teknik pemuliaan konvensional maupun melalui proses bioteknologi moderen.

Sampai dengan saat ini, biofortifikasi tanaman pangan baru dikembangkan pada tanaman padi. Salah satu produknya dikenal dengan "Golden Rice" yaitu padi yang mengandung beta karoten. Para pemulia tanaman, saat ini juga mulai mengembangkan padi yang mengandung Fe lebih tinggi. Namun sampai dengan saat ini, masyarakat belum mengkaji upaya pengembangan biofortifikasi pada tanaman singkong. Teknologi biofortifikasi belum dikembangkan pada komoditas singkong khususnya untuk meningkatkan kandungan Fe, Zn, dan beta karoten. Pengembangan biofortifikasi ini sesuai dengan Tujuan Pembangunan Millenium yaitu untuk mengurangi dua per tiga rasio kematian anak di bawah lima tahun dan tiga per empat kematian ibu melahirkan menurut *United Nations Development Programme* (2003).

Oleh karena itu diperlukan kajian secara mendalam mengenai prospek pengembangan biofortifikasi tanaman singkong yang mengandung Fe, Zn, dan beta karoten dan diperlukan pemikiran-pemikiran dalam upaya pengembangan teknologi biofortifikasi tanaman singkong tersebut, salah satunya adalah dalam bentuk karya ilmiah. Melalui karya ilmiah ini diharapkan dapat memberikan sumbangan pemikiran dan membuka cakrawala masyarakat luas mengenai pemanfaatan teknologi biofortifikasi untuk meningkatkan kandungan Fe, Zn, dan beta karoten dalam upaya untuk mengurangi atau menekan masalah gizi, diversifikasi pangan, dan peningkatan status gizi masyarakat.

Perumusan Masalah

Perubahan iklim global dan meningkatnya konversi lahan pertanian yang telah melanda Indonesia dalam setahun terakhir ini telah menyebabkan para petani kurang optimal dalam memanen hasil padi mereka sehingga terjadi kelangkaan beras. Akibatnya, ketersediaan beras menjadi berkurang. Beras menjadi barang langka yang sulit untuk diperoleh. Para konsumen harus membayar dengan harga mahal untuk mendapatkan beras tersebut. Penduduk miskin tidak mengkonsumsi beras dan mengalami kekurangan nutrisi padahal beras merupakan makanan pokok. Penduduk yang tidak sanggup mengkonsumsi beras kemudian terpaksa mengkonsumsi singkong, jagung atau yang lainnya sebagai sumber pangan. Singkong berfungsi sebagai makanan substitusi ini merupakan bahan pangan yang mudah diperoleh dan relatif murah.

Namun karena kandungan mikro nutrisi pada singkong terutama Fe, Zn, dan beta karoten belum mencukupi Angka Kecukupan Gizi (AKG) maka diperlukan usaha guna mencukupi AKG ini. Biofortifikasi merupakan suatu teknik bioteknologi yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah ini.

Adapun permasalahan yang akan disampaikan pada karya ilmiah ini adalah bagaimana metode perbaikan tanaman singkong *(crops improvement)* yang mengandung Fe, Zn, dan beta karoten, metode peningkatan Fe, Zn, dan beta karoten pada tanaman singkong yang dikonsumsi, metode penurunan kandungan senyawa anti nutrisi yang menghambat penyerapan Fe, Zn, dan beta karoten, dan metode peningkatan konsentrasi promotor yang berperan dalam peningkatan penyerapan Fe, Zn, dan beta karoten melalui teknologi biofortifikasi.

Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai melalui karya tulis ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari metode perbaikan tanaman singkong (*crops improvement*) yang mengandung Fe, Zn, dan beta karoten melalui teknologi biofortifikasi.
2. Mempelajari metode peningkatan Fe, Zn, dan beta karoten pada tanaman singkong melalui teknologi biofortifikasi.
3. Mempelajari metode penurunan kandungan senyawa anti nutrisi yang menghambat penyerapan Fe, Zn, dan beta karoten.
4. Mempelajari metode peningkatan konsentrasi promotor yang berperan dalam peningkatan penyerapan Fe, Zn, dan beta karoten.

Manfaat

Hasil penulisan karya ilmiah ini diharapkan dapat:

1. Dipelajari potensi pengembangan biofortifikasi pada tanaman singkong.
2. Dipelajari informasi teknik perbaikan tanaman singkong (*crops improvement)* yang mengandung Fe, Zn, dan beta karoten.
3. Pemikiran dan cakrawala masyarakat luas terhadap biofortifikasi menjadi lebih terbuka khususnya mengenai penambahan Fe, Zn, dan beta karoten pada tanaman singkong.
4. Khasanah ilmu bioteknologi tanaman menjadi lebih diperkaya khususnya dalam pemanfaatan singkong melalui biofortifikasi Fe, Zn, dan beta karoten.
5. Diversifikasi pangan menjadi lebih beragam dengan adanya bahan pangan singkong yang mengandung Fe, Zn, dan beta karoten lebih tinggi.

TELAAH PUSTAKA

Singkong (*Manihot esculenta* Crantz sin.)

Singkong merupakan tanaman perdu dengan nama lain ubi kayu, ketela pohon, atau kasape. Singkong berasal dari benua Amerika, tepatnya dari negara Brazil. Penyebarannya hampir ke seluruh dunia, antara lain: Afrika, Madagaskar, India, Tiongkok. Singkong berkembang di negara yang terletak antara 30°LS-LU dan masuk ke Indonesia pada tahun 1852 (BPPT, 2007).

Tanaman singkong termasuk genus Manihot, spesies *Manihot esculenta* Crantz sin. Varietas-varietas singkong unggul yang biasa ditanam, antara lain: Valenca, Mangi, Betawi, Basiorao, Bogor, SPP, Muara, Mentega, Gading, Andira 1, Andira 2, Andira 4, Malang 1, dan Malang 2 (BPPT, 2007).

Di Indonesia, singkong menjadi makanan bahan pangan pokok setelah beras dan jagung. Manfaat daun singkong sebagai bahan sayuran memiliki protein cukup tinggi, atau untuk keperluan yang lain seperti bahan obat-obatan. Kayunya dapat digunakan sebagai pagar kebun atau di desa-desa sering digunakan sebagai kayu bakar untuk memasak. Melalui perkembangan teknologi, singkong dijadikan bahan dasar pada industri makanan dan bahan baku industri pakan. Selain itu digunakan pula pada industri obat-obatan (BPPT, 2007). Pemanfaatan singkong di Indonesia masih terbatas. Sebagian besar diolah menjadi produk setengah jadi berupa tepung tapioka, tepung kasava, dan gaplek. Produksi kasava yang 19.4 juta ton, hanya 59% yang diolah untuk industri (Sawega, 2007).

Di dunia singkong merupakan komoditi perdagangan yang potensial. Negara sentra singkong adalah Thailand dan Suriname. Sentra utama singkong di Indonesia di Jawa Tengah dan Jawa Timur (BPPT, 2007). Sawega (2007) menyebutkan bahwa pemerintah sejak tahun 2002 telah menetapkan tujuh provinsi sentra produksi singkong, yaitu Lampung, Jawa Barat, Jawa Timur, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, Nusa Tenggara Timur, dan Sulawesi.

Produksi dan kebutuhan singkong dari tahun 2003 sampai tahun 2005 terus mengalami peningkatan (BPS, 2006). Peningkatan produksi dan kebutuhan singkong dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Produksi dan Kebutuhan Singkong Indonesia Tahun 2003-2005

Tahun	Produksi (ton)	Kebutuhan (ton)
2003	18.523.810	15.991.000
2004	19.424.707	15.365.000
2005	19.321.183	16.336.000

Sumber : Badan Pusat Statistik (2006)

Produktivitas singkong tertinggi dibanding enam komoditas pertanian utama yang lain yaitu padi, jagung, ubi kayu, ubi jalar, kacang tanah, kedelai, yaitu 12.2 ton/ha (BPS, 2001 *dalam* Sawega 2007), sedangkan padi 3.8 ton/ha dan gandum 1.8 ton/ha. Produksinya per tahun cukup besar, yaitu mencapai 19.4 juta ton (BPS, 2004 *dalam* Sawega 2007).

Tanaman singkong merupakan tanaman yang menyimpan fotosintatnya berupa karbohidrat di umbi akar. Karbohidrat ini menyusun 33.7% dari seluruh komponen umbi akar (*Community Food System Data*, 2007). Komposisi nutrisi yang terkandung dalam singkong disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Nutrisi pada Singkong (*Manihot esculenta* Crantz sin.)

Nutrisi	Komposisi nutrisi /100g (bagian yang dikonsumsi)	
	Belum diolah	Setelah diolah
Energi, Kkal	139	106
Protein, g	0.6	0.6
Lemak, g	0.2	0.1
Karbohidrat, g	33.7	25.7
Kalsium, mg	30	16
Besi, mg	1.1	0.4
	0.8-1.3*	-
Beta-karoten, µg	10	Sedikit
Vitamin A, RE-µg	2	Sedikit
Vitamin A, RAE-µg	1	Sedikit
Riboflavin, mg	0.02	0.02
Niacin, mg	0.6	0.6
Asam askorbat, mg	50.0	34.0
Seng	0.4-0.9*	-

Sumber : *Community Food System Data* (2007)
White and Broadley (2005)

Penduduk Miskin di Indonesia

Sensus penduduk yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik tahun 2003 menunjukkan bahwa jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2003 sebesar 205 juta. Sensus berikutnya yang dilakukan pada tahun 2006 mengenai jumlah penduduk miskin (penduduk yang berada dibawah garis kemiskinan) menunjukkan bahwa jumlah penduduk miskin di Indonesia pada bulan Maret 2006 sebesar 39.05 juta (17.75%). Dibandingkan dengan penduduk miskin pada Februari 2005 yang berjumlah 35.10 juta (15.97%), berarti jumlah penduduk miskin meningkat sebesar 3.95 juta (BPS, 2003).

Pada tahun 1990 menurut BPS (2003) sekitar 30% penduduk Indonesia tinggal di perkotaan dan 70% sisanya tinggal di pedesaan. Data pada tahun 2000 menunjukkan perbandingan jumlah penduduk di perkotaan dan pedesaan menjadi 38:62 dan diperkirakan pada tahun 2020 menjadi 50:50.

Berdasarkan data yang dikeluarkan BPS bahwa pada bulan Maret 2006, sumbangan garis kemiskinan makanan terhadap garis kemiskinan sebesar 74.99%. Komoditi yang penting bagi penduduk miskin adalah beras. Pada Maret 2006, persentase pengeluaran beras terhadap total pengeluaran sebulan untuk penduduk miskin sebesar 23.10%, bahkan di perdesaan persentase ini mencapai 26.08%. Sumbangan pengeluaran beras terhadap Garis Kemiskinan mencapai 34.91% di perdesaan dan 25.98% di perkotaan. Dengan demikian kenaikan harga beras akan berpengaruh besar kepada penduduk miskin (Berita Resmi Statistik, 2006).

Masalah Gizi (Malnutrisi)

Masalah gizi merupakan gangguan pada beberapa segi kesejahteraan perorangan atau masyarakat yang disebabkan oleh tidak terpenuhinya kebutuhan akan zat gizi yang diperoleh dari makanan (Baliwati dan Rimbawan, 2004). Menurut ahli gizi (Anonim, 2007) malnutrisi dapat terjadi oleh karena kekurangan gizi (*undernutrisi*) maupun karena kelebihan gizi (*overnutrisi*) keduanya disebabkan oleh ketidakseimbangan antara kebutuhan tubuh dan asupan zat gizi esensial.

Baliwati dan Rimbawan (2004) mengelompokkan masalah gizi menjadi masalah gizi makro dan mikro. Jenis masalah gizi makro yang terjadi adalah kurang energi protein (KEP) sedangkan masalah gizi mikro antara lain kurang vitamin A (KVA), anemia gizi besi (AGB), gangguan akibat kekurangan iodium (GAKI) dan kurang Zn.

Zat besi (Fe)

Zat besi esensial untuk pembentukan (formasi) sel darah merah, dan juga dibutuhkan untuk sirkulasi sebab sel darah merah mengangkut oksigen ke seluruh tubuh, komponen dari berbagai jenis enzim, dan vital untuk produksi energi. Gejala defisiensi dari Fe ini yaitu anemia, kulit pucat, lidah sakit (*sore tongue*), kecapaian (*fatigue*), kelesuan, kehilangan nafsu makan, mual-mual (*nausea*), sensitivitas terhadap cuaca dingin. Zat besi dapat diperoleh biji pumpkin (sejenis labu), almon, prem (prune), kacang mete, kismis (raisins), kacang brasil, walnut (sejenis kenari), kurma, biji wijen, kacang pikan (sejenis kemiri) (Anonim, 2007). Wikipedia[a] (2007) menyebutkan bahwa Fe dapat diperoleh dari daging, ikan, unggas, kacang-kacangan, dan sayuran daun.

Kekurangan Fe dianggap sebagai masalah gizi mikro yang paling serius di negara berkembang karena kurang lebih 2-5 juta orang rentan terserang malnutrisi pada berbagai tingkat umur. Gangguan akibat kekurangan Fe di Indonesia masih menunjukkan prevalensi yang cukup tinggi. Pada Kompas (2007) dilaporkan terdapat prevalensi anak balita yang kekurangan Fe (anemia gizi) sebesar 26.8 %.

Singkong sebagai sumber pangan kedua setelah beras telah menyumbangkan zat besi sebesar 1.1 mg/100 gram bahan (*Community Food System Data*, 2007). FAO/WHO (2000) menyebutkan bahwa kebutuhan manusia dewasa terhadap Fe sebesar 10-15 mg.

Seng (Zn)

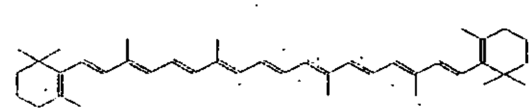
Mineral mikro Zn berperan dalam berkerjanya lebih dari 200 jenis enzim. Selain itu unsur ini berperan sebagai antioksidan dan berperan dalam fungsi membran. Seng dibutuhkan untuk kesehatan sistem imunitas, pertumbuhan normal, dan pembentukan jaringan. Seng juga lebih banyak dibutuhkan ketika jaringan baru harus dibentuk, misalnya untuk pemulihan dari pembedahan, pemulihan luka bakar; mineral peningkat imunitas yang paling penting dan membantu tubuh memerangi infeksi. Gejala defisiensi

Zn dapat menyebabkan pertumbuhan terhambat dan daya kekebalan tubuh menurun. Bahan makanan sebagai sumber pangan yang tinggi kandungan Zn diantaranya tiram, makanan laut, hati, lembaga gandum, ragi, daging, telur, unggas dan ikan (Baliwati dan Rimbawan, 2004 dan Anonim, 2007).

Vitamin A

Baliwati dan Rimbawan (2004) mendefinisikan vitamin sebagai zat organik yang diperlukan tubuh dalam jumlah sedikit tetapi penting untuk melakukan fungsi metabolik dan harus didapat dari makanan. Manusia memerlukan hampir semua vitamin dari makanan karena tubuh tidak dapat membuat sendiri. Tubuh manusia dapat membuat zat-zat tertentu menjadi vitamin. Zat yang dapat diubah menjadi vitamin disebut provitamin.

Vitamin A berfungsi dalam proses penglihatan, pertumbuhan, reproduksi, perkembangan tulang, kekebalan, mempertahankan jaringan epitel, mengurangi angka kesakitan dan kematian anak. Apabila terjadi defisensi vitamin A dapat menyebabkan buta senja, xerophtalmia, pertumbuhan terhambat dan kulit terganggu. Vitamin A dapat diperoleh dari minyak ikan, hati, mentega, susu, keju, sayuran daun hijau tua, sayuran dan buah berwarna kuning (Baliwati dan Rimbawan, 2004). Beta karoten dikenal sebagai provitamin A, karena beta karoten merupakan salah satu prekursor utama vitamin A pada tubuh manusia. Karoten dapat disimpan dalam hati dan diubah menjadi vitamin A sesuai kebutuhan, dan membuatnya menjadi provitamin. Beta karoten dengan rumus kimia $C_{40}H_{56}$, tersusun dari 8 unit isoprene dimana pada masing-masing ujungnya membentuk lingkaran beta karoten (Anonim, 2007).



Gambar 1. Struktur Beta karoten ($C_{40}H_{56}$)

Kebutuhan manusia terhadap mineral mikro dan vitamin berbeda tiap umur, jenis kelamin dan kondisi kesehatan. Unsur mineral mikro harus selalu terpenuhi, jika kekurangan dapat menyebabkan gangguan fungsi fisiologis. Angka kecukupan gizi untuk mineral Fe, Zn dan vitamin A bagi penduduk Indonesia dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Angka Kecukupan Energi, Vitamin A, Besi, dan Seng bagi Penduduk Indonesia

No	Kelompok Umur (tahun)	Energi (Kkal)	Vitamin A (RE)	Besi (mg)	Seng (mg)
		Anak			
1	0-0.5	550	375	0,5	1,3
2	0.5-1	650	400	7	7,5
3	1.0-3.0	1000	400	8	82
4	4.0-6.0	1550	450	9	9,7
5	7.0-9.0	1800	500	10	11,2
		Laki-laki			
6	10-12	2050	600	13	14
7	13-15	2400	600	19	17,4
8	16-18	2600	600	15	17
9	19-29	2550	600	13	12,1
10	30-49	2350	600	13	13,4
11	50-64	2250	600	13	13,4
12	60+	2050	600	13	13,4
		Wanita			
13	10-12	2050	600	20	12,6
14	13-15	2350	600	26	15,4
15	16-18	2200	600	26	14
16	19-29	1900	500	26	9,3
17	30-49	1800	500	26	9,8
18	50-64	1750	500	12	9,8
19	60+	1600	500	12	9,8
		Wanita Hamil			
20	0-0.25	180	300	0	+1.7
21	0.25-0.5	300	300	0	+1.7
22	0.5-0.75	300	300	0	+1.7
		Wanita Menyusui			
23	0-0.5	500	350	6	+4.6
24	0.5-1	550	350	6	+4.6

Sumber: Angka Kecukupan Gizi (2004)

Zat Besi (Fe), Seng (Zn) dan Beta Karoten pada Tanaman

Unsur hara mikro diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit dan dapat merusak bila dalam jumlah banyak (Soepardi, 1983). Unsur hara mikro diambil tanaman dari tanah (baik dipupuk maupun tidak) selama masa pertumbuhannya. Unsur hara mikro seperti Fe dan Zn diserap tanaman dari tanah dalam bentuk ion bebas (Fe^{2+}, Zn^{2+}) melalui akar (Frossard, *et al.*, 2000).

Peranan unsur mikro dalam metabolisme tanaman sangat komplek. Besi berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman sebagai kofaktor dari berbagai enzim. Sebagian besar dari Fe ini dijumpai sebagai bagian kloroplas dan sangat esensial dalam pembentukan klorofil. Seng merupakan penyusun dari berbagai enzim meliputi dehidrogenase, diantaranya dehidrogenase alkohol dan laktat. Disamping itu Zn juga berfungsi sebagai kofaktor berbagai enzim tetapi tidak mempunyai kekhususan yang tinggi (Soepardi, 1983).

Ion hara masuk ke dalam sel akar dengan cara difusi atau aliran massa menembus membran dan masuk ke dalam sitoplasma dan vakuola. Ion hara dalam sel tanaman selanjutnya akan bergerak menuju bagian tanaman seperti daun melalui transport protein yang berada pada membran plasma sel (Frossard, *et al.*, 2000).

Beta karoten merupakan salah satu karotenoid pada tanaman yang banyak ditemukan pada plastid berwarna (kromoplas) di akar, batang, daun, bunga dan buah berbagai tumbuhan. Karotenoid adalah salah satu pigmen tanaman yang memberikan warna kuning sampai jingga (Salisbury dan Ross, 1995).

Penurunan sifat konsentrasi beta karoten pada tanaman ditentukan oleh dua gen. Gen pertama mengatur transportasi prekursor beta karoten dari akar ke pucuk. Gen kedua bertanggung jawab pada proses biokimia yang mempengaruhi akumulasi beta karoten dalam akar (Welch dan Graham, 2004). Menurut Datta *et al.* (2006) gen yang mengkode enzim pada biosintesis beta karoten yaitu *phytoene synthase* (psy) and *phytoene desaturase* (*crt*I).

Biofortifikasi

White dan Broadley (2005) dan Nestel, *et al.* (2006) mendefinisikan biofortifikasi sebagai proses untuk meningkatkan konsentrasi ketersediaan elemen essensial pada bagian tanaman yang dapat dikonsumsi melalui teknik pemuliaan konvensional maupun bioteknologi moderen. Haas dan Miller (2006) menambahkan fortifikasi adalah penambahan komposisi bahan pada bahan makanan untuk meningkatkan konsentrasi elemen dari bagian makanan. Fortifikasi merupakan salah satu strategi utama yang ditujukan untuk meningkatkan kualitas nutrisi pangan di negara maju.

Biofortifikasi untuk peningkatan nutrisi mikro pada makanan pokok, dilakukan baik melalui persilangan tanaman secara tradisional maupun dengan teknik molekuler (Welch dan Graham, 2004). Fortifikasi bahan pangan dengan Fe, Zn, dan vitamin A mampu mencegah secara signifikan jumlah kematian bayi dan anak-anak serta mempunyai daya tarik yang lebih besar pada pihak yang bertanggung jawab terhadap kesehatan (Horton, 2006).

Hasil penelitian dari *The Consultative Group on International Agricultural Research* (CGIAR), (2002) menyatakan makanan pokok yang mempunyai potensi genetik untuk ditingkatkan kandungan Fe dan Zn diantaranya adalah beras (*Oryza sativa*), gandum (*Tritricum aesticum*), jagung (*Zea mays*), buncis (*Phaseolus vulgaris*) dan **singkong (*Manihot esculenta*)**.

Secara teori biofortifikasi dapat dilakukan dengan meningkatkan jumlah kandungan mikro nutrisi pada bagian tanaman yang dapat dimakan pada tanaman pokok. Di sisi lain, peningkatan konsentrasi kandungan dengan meningkatkan penyerapan senyawa promoter (asam askorbat, β-karoten, protein sistein (*cysteine*), dan asam amino), mengurangi konsentrasi senyawa inhibitor penyerapan mikronutrisi (asam fitat, tannin, senyawa fenolik, dan logam berat) (Frossard, et al., 2000; Welch, 2002; White dan Broadley, 2005).

METODE PENULISAN

Sumber dan Jenis Data

Data yang digunakan dalam karya ilmiah ini bersumber dari berbagai referensi dan literatur yang relevan dengan topik permasalahan yang dibahas. Referensi dan literatur diperoleh baik melalui media cetak maupun elektronik. Validitas dan relevansi referensi yang digunakan dapat dipertanggungjawabkan. Jenis data yang digunakan adalah data sekunder, baik bersifat kualitatif maupun kuantitatif.

Pengumpulan Data

Penulisan karya ini menggunakan metode studi pustaka yang didasarkan atas hasil studi terhadap berbagai literatur yang saling berhubungan satu sama lain, relevan dengan kajian tulisan serta mendukung uraian atau analisis pembahasan.

Analisis Data

Pengolahan data dilakukan dengan cara menyusun secara sistematis dan logis. Teknik analisa data dilakukan dengan analisis deskriptif argumentatif, dengan tulisan bersifat deskriptif, menggambarkan proses biofortifikasi mikro nutrisi yaitu Fe, Zn, dan beta karoten pada tanaman singkong.

Penarikan Kesimpulan

Setelah proses analisis, selanjutnya dilakukan proses sintesis dengan menghubungkan antara perumusan masalah, tujuan penulisan dan pembahasan. Langkah berikutnya dilakukan penarikan kesimpulan secara umum. Berdasarkan kesimpulan tersebut kemudian direkomendasikan beberapa hal sebagai upaya transfer gagasan.

PEMBAHASAN

Perbaikan Tanaman Singkong dengan Kandungan Zat Besi (Fe), Seng (Zn), dan Beta Karoten Tinggi

Singkong merupakan sumber makanan pokok yang paling penting setelah padi di negara tropis. Kurang lebih terdapat 70 juta penduduk yang mendapat lebih dari 500 kalori/hari dari singkong. Penduduk ini sebagian terdapat di Afrika dan Brazil (Cock, 1985) dan sisanya terdapat di Asia (Kawano *et al.*, 1998).

United Nation Industrial Development Organization (UNIDO) atau Badan PBB di bidang Pembangunan Industri telah mencatat bahwa Indonesia sejak tahun 1982 merupakan negara penghasil singkong terbesar ketiga (13.3 juta ton) setelah Brasil (24.5 juta ton), Thailand (13.5 juta ton), disusul Nigeria (11 juta ton), India (6.5 juta ton). Total produksi singkong dunia 122.1 juta ton/tahun (Suriawiria, 2002).

Komoditas singkong ini berpotensi untuk terus dikembangkan mengingat kebutuhan terhadap komoditas ini terus meningkat (BPS, 2006). Hal ini diperkuat oleh penelitian CGIAR (2002) bahwa singkong (*M. esculenta*) memiliki potensi agronomi dan genetik untuk kandungan Fe, Zn, dan beta karoten. Hal ini mengingat singkong merupakan tanaman yang memiliki daya adaptasi lingkungan yang tinggi, teknik budidaya mudah, tidak memerlukan banyak pupuk dan pestisida.

Umbi singkong menjadi salah satu alternatif pangan yang menyediakan kalori yang cukup tetapi tidak memenuhi kandungan Fe, Zn, dan beta karoten yang dibutuhkan oleh tubuh. Daun singkong sendiri mempunyai kandungan mineral yang tinggi dan kandungan karoten 100 kali lebih tinggi daripada umbi, tetapi konsumsi daun singkong menempati porsi yang kecil dari total konsumsi umbi singkong. Singkong juga diketahui memiliki variasi genetik untuk kandungan mikronutisi (baik vitamin dan mineral) yang cukup signifikan. Data yang diperoleh dari evaluasi sekitar 600 genotip singkong hasil koleksi dari *The Centro Internacional de Agricultura Tropical* (CIAT) diketahui kandungan Fe, Zn, dan karoten pada umbi akar dan daun bervariasi antar genotip (Chavez, *et al.*, 2002). Secara lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kisaran Kandungan Fe, Zn, dan Beta Karoten pada Daun dan Umbi dari 600 Genotip Tanaman Singkong.

Mikro nutrisi	Daun (mg/100 gram bahan)		Umbi (mg/100 gram bahan)	
	Minimal	Maksimal	Minimal	Maksimal
Zat Besi (Fe)	1.190	26.000	0.060	2.300
Seng (Zn)	0.151	1.505	0.026	0.370
Beta Karoten	12.050	96.420	0.102	0.040

Sumber : Chavez, *et al.* (2002).

Singkong merupakan salah satu bahan pangan yang dikonsumsi untuk memenuhi kebutuhan kalori, mineral esensial, dan vitamin yang dibutuhkan oleh tubuh manusia. Namun karena adanya perbedaan kandungan mikro nutrisi pada setiap genotip tanaman singkong, maka perlu dilakukan suatu upaya untuk meningkatkan kandungan mineral mikro dan vitamin pada tanaman singkong. Peningkatan kandungan mikro nutrisi tersebut dimaksudkan untuk mengatasi malnutrisi melalui pengkayaan kandungan mikro nutrisi tanaman singkong khususnya pada bagian yang dapat dimakan (umbi dan daun). Terdapat beberapa strategi untuk meningkatkan kandungan mikro nutrisi (Fe, Zn, beta karoten) tanaman singkong ini yaitu melalui 1) pemupukan, 2) pemuliaan konvensional dan 3) pendekatan rekayasa genetik sebagai proses biofortifikasi.

Pada biofortifikasi perbaikan tanaman singkong selain melalui ketiga cara tersebut di atas, juga dapat dilakukan melalui pendekatan yang lain. Pendekatan tersebut yaitu dengan cara menurunkan kandungan senyawa anti nutrisi yang dapat menghambat ketersediaan mikro nutrisi (Fe, Zn, beta karoten) serta dengan meningkatkan kandungan senyawa-senyawa tertentu (promotor) yang dapat meningkatkan ketersediaan mikro nutrisi pada bagian tanaman yang dikonsumsi.

Peningkatan Kandungan Zat Besi (Fe), Seng (Zn), dan Beta Karoten pada Tanaman Singkong

Biofortifikasi melalui aplikasi pemupukan

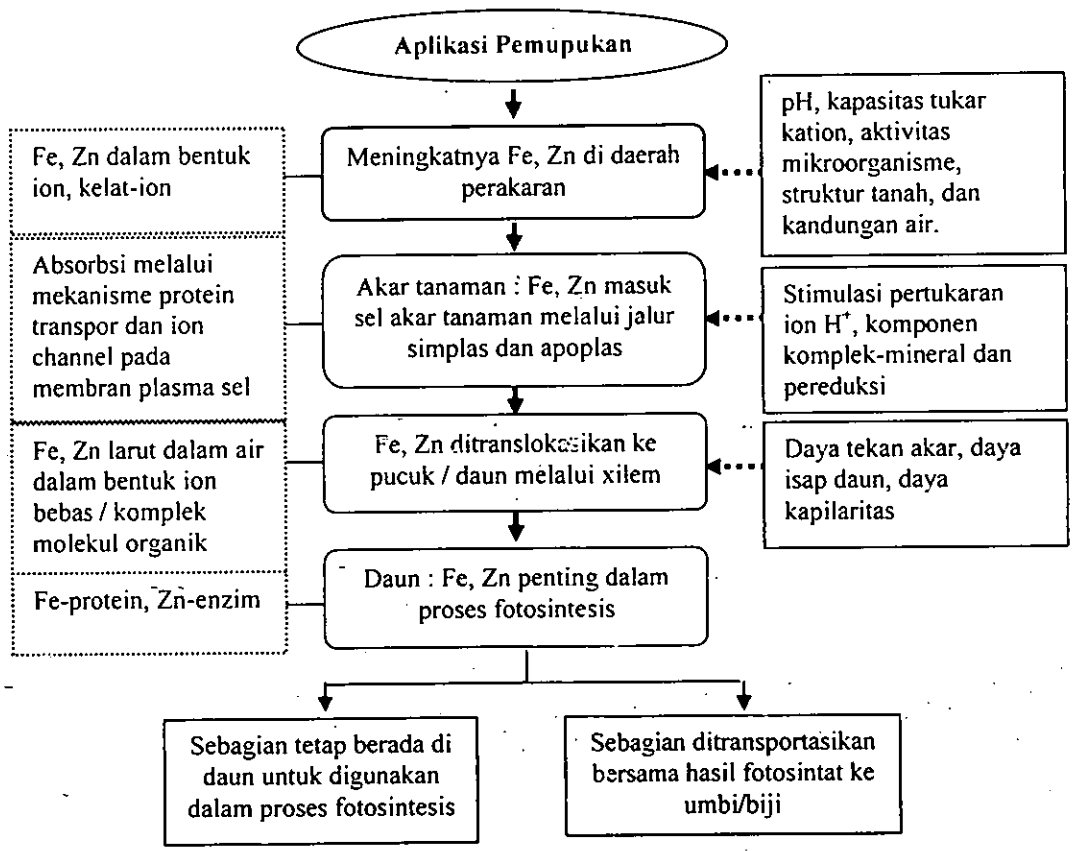
Pupuk banyak digunakan oleh para petani untuk meningkatkan hasil dan kualitas tanaman. Aplikasi pemupukan dapat menyumbangkan peningkatan kandungan mikro nutrisi pada makanan pokok khususnya pada bagian yang dikonsumsi. Pada Tabel 4 disajikan rekapitulasi hasil penelitian yang telah dilakukan pada berbagai tanaman pangan oleh beberapa peneliti terkait dengan biofortifikasi melalui aplikasi pemupukan.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Penelitian Biofortifikasi Tanaman melalui Aplikasi Pemupukan

No.	Perlakuan	Tanaman	Hasil	Sumber
1.	Metode aplikasi pupuk mikro Zn yang berbeda	Gandum	Hasil tanaman dan kandungan Zn dalam biji gandum berbeda	Yilmaz, *et al.*, 1997
2.	Jenis pupuk Fe Fe-EDDHA Fe-EDTA $FeSO_4$	Shorghum	- Pemupukan dengan Fe-EDDHA atau Fe-EDTA lebih efisien daripada $FeSO_4$ - Pemupukan Fe meningkatkan hasil tanaman tetapi sedikit meningkatkan kandungan Fe pada bulir	Frossard, *et al.*, 2000
3.	Perlakuan pupuk N dari 0,3 g N/pot menjadi 2,4 g N/pot	Wortel	Kandungan beta karoten naik dari 113 mg/100 berat kering menjadi 126 mg/100 berat kering (naik 12%)	Habben, 1972 *dalam* Welch, 2004
4.	Perlakuan kombinasi pupuk N, P, K, dan Mg	Wortel	- Kombinasi pupuk meningkatkan akumulasi beta karoten 42% - Perlakuan pupuk K meningkatkan beta karoten 27% - Perlakuan pupuk Mg meningkatkan beta karoten antara 42%-30%	Vereecke, 1979 *dalam* Welch, 2004
5.	Aplikasi pupuk $ZnSO_4$ pada tanah yang rendah unsur Zn	Sereal, jagung, gandum, kacang-kacangan	- Mampu meningkatkan hasil tanaman secara efisien - Kandungan Zn dalam bulir meningkat secara signifikan	Frossard, *et al.*, 2000
6.	Penambahan unsur Fe pada tanaman	Sereal, kacang-kacangan	Sedikit peningkatan Fe pada bagian biji dan bulir yang dikonsumsi	Welch, 2004
7.	Peningkatan ketersediaan unsur hara Zn	Buncis	Peningkatan kandungan Zn secara nyata pada biji buncis	Welch, 2004
8.	Kombinasi pupuk N, P, K, S dan jenis pupuk mikro - Zn, Ni, Se, dan I - Fe, B, V dan Cr	Beberapa jenis tanaman	- Zn, Ni, Se, dan I berpengaruh nyata pada akumulasi nutrisi di bagian tanaman yang dikonsumsi - Fe, B, V dan Cr tidak berpengaruh nyata pada akumulasi nutrisi di bagian tanaman yang dikonsumsi	Welch, 2004
9.	Aplikasi pupuk Zn	Sereal	- Meningkatkan hasil tanaman dan kandungan Zn pada bulir - Aplikasi melalui tanah dan daun meningkatkan kandungan Zn sekitar 35 mg/kg bahan	Cakmak, 2006

Keterangan : Disarikan dari Berbagai Sumber

Aplikasi pemupukan, baik pupuk makro dan mikro dimungkinkan dapat meningkatkan kandungan mikro nutrisi pada tanaman singkong. Besarnya akumulasi mikro nutrisi dikendalikan oleh beberapa proses diantaranya penyerapan mikro nutrisi oleh sel-sel akar, pergerakan mikro nutrisi dari akar ke pucuk, dan kemampuan jaringan daun untuk mengisikan elemen nutrisi tersebut ke pembuluh floem. Pembuluh floem tersebut kemudian menyalurkan mikro nutrisi ke bagian yang dapat dikonsumsi (Welch, 2004). Secara lebih jelas, mekanisme ini dijabarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Absorbsi dan Translokasi Fe dan Zn pada Tanaman

Keterangan:

⟶ : Jalur transportasi

……▸ : Faktor yang mempengaruhi

Frossard, *et al.* (2000) dan Welch (2004) menyatakan bahwa peningkatan kandungan mikro nutrisi pada bagian tanaman yang dikonsumsi melalui aplikasi pemupukan dipengaruhi faktor lingkungan yaitu tipe tanah/lahan (tingkat kesuburan tanah, pH, kandungan bahan organik, sifat dan ciri tanah). Selain itu praktek budidaya tanaman juga berpengaruh terhadap kandungan mineral esensial dalam tanaman, misalnya tipe, metode aplikasi dan dosis pupuk, dan sistem pertanamannya.

Pada ekosistem tanaman yang rendah kandungan unsur hara, seperti yang terdapat di negara berkembang, produksi tanaman terbatas akibat rendahnya kandungan N, P, dan K dalam tanah. Pada kondisi tersebut, aplikasi pupuk N, P, dan K dapat meningkatkan pertumbuhan dan jumlah akar sehingga dapat meningkatkan serapan Fe dan Zn dari tanah ke tanaman (Frossard, *et al.*, 2000).

Pada praktek budidaya tanaman singkong di Indonesia, para petani jarang menggunakan pupuk baik pupuk organik maupun anorganik. Hal ini dikarenakan tanaman singkong merupakan tanaman yang mudah beradaptasi pada berbagai kondisi lingkungan tanam. Namun di sisi lain, tanaman singkong membutuhkan asupan hara makro dan mikro untuk meningkatkan potensi agronominya. Pada tanaman singkong, pengaruh aplikasi pupuk untuk meningkatkan kandungan mikro nutrisi (mineral maupun vitamin) khususnya pada bagian singkong yang dikonsumsi (umbi atau daun) belum banyak dipelajari. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui apakah aplikasi pemupukan berpengaruh terhadap peningkatan kandungan mikro nutrisi pada umbi dan daun singkong.

Pada tanaman singkong, strategi pemupukan untuk meningkatkan kandungan Fe, Zn, dan beta karoten dimungkinkan dapat dilakukan dengan mengadopsi cara-cara di atas (Tabel 4). Pemupukan Fe dilakukan dengan mengaplikasikan pupuk mikro yang mengandung Fe-EDDHA atau Fe-EDTA melalui penyemprotan pada daun. Pemupukan Zn dilakukan dengan cara mengaplikasikan pupuk mikro yang mengandung $ZnSO_4$ yang diberikan langsung pada tanah. Perlakuan pupuk hara makro yang mengandung N, P, K, dan Mg yang diberikan langsung pada tanah dapat meningkatkan konsentrasi beta karoten.

Penggunaan strategi aplikasi pemupukan untuk meningkatkan kandungan mikro nutrisi (mineral mikro dan vitamin) khususnya pada bagian tanaman yang dikonsumsi (umbi singkong) menghadapi beberapa kendala. Kendala tersebut yaitu penambahan biaya input pupuk (baik pupuk mikro maupun pupuk makro) dan tenaga kerja sehingga akan meningkatkan biaya produksi yang kemudian berimbas pada peningkatan harga singkong. Meningkatnya harga singkong ini akan membuat penduduk miskin memiliki kesulitan untuk mendapatkan singkong dengan harga murah. Oleh karena itu diperlukan strategi lain untuk dapat meningkatkan kandungan Fe, Zn, dan beta karoten.

Biofortifikasi melalui pemuliaan tanaman secara konvensional

Teknik pemuliaan tanaman yang selama ini dikembangkan banyak ditujukan untuk meningkatkan hasil (agronomi) dan ketahanan terhadap hama penyakit (Frossard *et al.*, 2000). Teknik pemuliaan tanaman yang ditujukan untuk meningkatkan kandungan mikro nutrisi belum banyak dilakukan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kandungan mikro nutrisi pada padi, gandum, dan jagung. Namun, penelitian untuk meningkatkan kandungan mikro nutrisi terutama Fe, Zn, dan beta karoten pada tanaman singkong belum banyak dilaporkan. Oleh karena itu diperlukan teknik pemuliaan tanaman untuk meningkatkan kandungan Fe, Zn, dan beta karoten pada tanaman singkong.

Strategi peningkatan kandungan Fe, Zn, dan beta karoten pada tanaman singkong melalui pemuliaan konvensional dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap tersebut yaitu pengumpulan plasma nutfah, penyaringan keragaman genetik dari jenis singkong di alam (baik dari dalam negeri maupun luar negeri), seleksi genotipe yang diinginkan, persilangan, dan langkah terakhir adalah melakukan seleksi kembali untuk mendapatkan singkong yang memiliki kualitas yang terbaik. Setiap jenis dapat dikembangkan melalui strategi pemuliaan konvensional jika pengaruh lingkungan cukup rendah dan terdapat keragaman genetik.

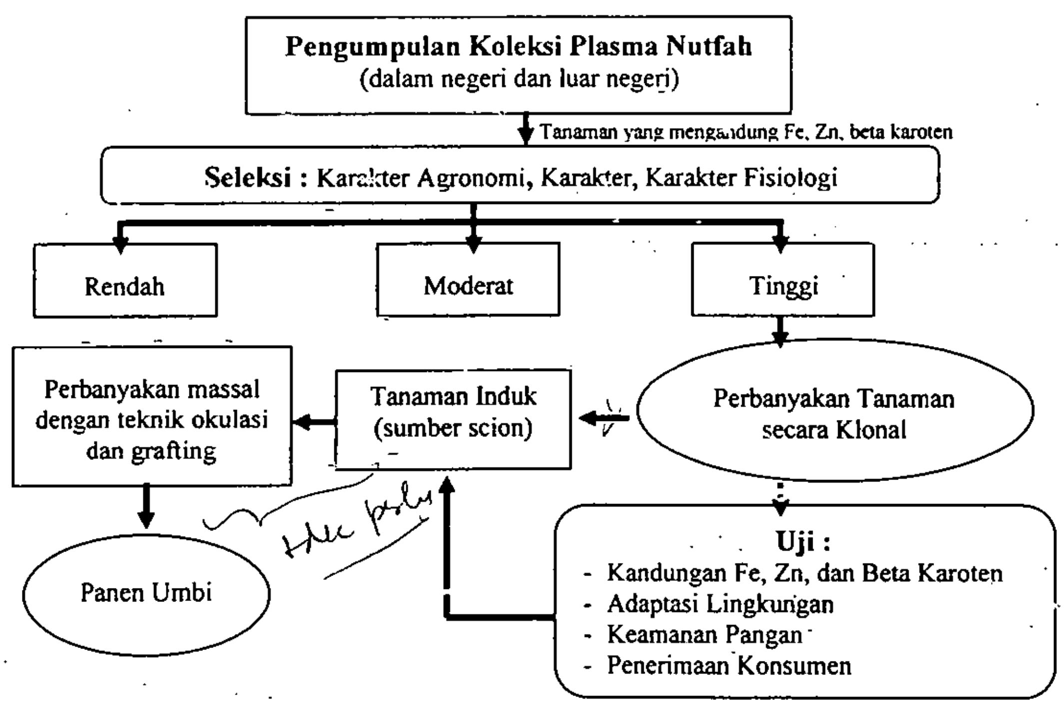
Perbanyakan tanaman singkong di Indonesia dilakukan melalui stek batang (vegetatif). Perbanyakan secara generatif (menggunakan biji) belum dilakukan oleh petani, karena tanaman singkong di Indonesia tidak pernah berbunga. Menurut CIAT (2005) pembungaan pada tanaman singkong tergantung pada genotipe dan kondisi lingkungan. Tipe genotip tanaman singkong yang menghasilkan bunga adalah tanaman singkong yang bercabang. Jenis tanaman singkong yang paling banyak ditanam oleh petani di Indonesia adalah jenis tanaman yang lurus, tidak bercabang, dan jarang/langka berbunga sehingga persilangan tanaman sulit dilakukan.

Menurut Welch dan Graham (2004) kriteria seleksi yang dapat dijadikan acuan pada seleksi tanaman singkong yaitu 1) produktifitas tanaman, 2) tingkat kandungan mikro nutrisi (Fe, Zn, beta karoten) pada bagian tanaman yang dikonsumsi, 3) daya adaptasi tanaman, 4) tingkat keamanan konsumsi, 5) penerimaan konsumen. Produktifitas tanaman singkong harus ditingkatkan atau dijaga agar petani tetap menanam dan mengembangkan tanaman singkong. Pengkayaan kandungan mikro nutrisi tanaman singkong harus pada tingkat yang dapat diterima dan berdampak nyata pada kesehatan manusia. Tanaman singkong harus mempunyai daya adaptasi yang tinggi pada kondisi lingkungan dan kondisi iklim yang berbeda. Tingkat kandungan mikro nutrisi harus diuji pada manusia untuk menjamin bahwa kandungan mikro tersebut dapat meningkatkan status gizi manusia dan aman untuk dikonsumsi. Faktor lain yang tidak kalah penting yaitu konsumen bersedia menerima baik rasa dan kualitas pangan.

Klon tanaman singkong yang dikumpulkan selanjutnya diseleksi untuk mendapatkan klon tanaman yang memiliki kandungan Fe, Zn, dan atau beta karoten yang tinggi. Langkah selanjutnya klon ditanam pada lahan yang memiliki kondisi lingkungan seragam sehingga pengaruh faktor lingkungan dapat ditekan. Klon-klon tersebut kemudian diseleksi berdasarkan karakter agronomi dan fisiologinya. Karakter agronomi ditentukan berdasarkan produksi dan produktifitas tanaman. Karakter fisiologi ditentukan berdasarkan kandungan mikro nutrisi (Fe, Zn, dan beta karoten) yang terkandung dalam bagian tanaman yang dikonsumsi. Tanaman singkong mempunyai variasi genetik yang luas untuk kandungan Fe, Zn, dan beta karoten. Kandungan Fe dan Zn menurut Frossard *et al.* (2000) memiliki hubungan positif, bahwa tanaman yang mempunyai kandungan Fe tinggi dimungkinkan mempunyai kandungan Zn yang tinggi pula. Seleksi kandungan beta karoten pada singkong dapat diperkirakan dari warna akar (Chavez *et al.,* 2002). Umbi singkong yang berwarna kuning dimungkinkan memiliki kandungan beta karoten yang lebih tinggi.

Hasil seleksi tanaman tersebut dapat langsung diperbanyak secara vegetatif. Oleh karena tanaman singkong di Indonesia tidak berbunga, maka perbanyakan bibit singkong hasil pemuliaan dapat dilakukan dengan teknik okulasi dan teknik grafting (sambung pucuk). Tanaman hasil seleksi dijadikan sebagai induk tanaman penyedia mata tunas atau batang atas, kemudian disambungkan dengan singkong yang akan dimuliakan. Perbanyakan tanaman dengan okulasi dan grafting relatif lebih murah sehingga dapat diaplikasikan untuk skala luas. Hasil pemuliaan dan perbanyakan tanaman sebelum disosialisasikan kepada masyarakat, perlu dilakukan uji terhadap daya adaptasi tanaman, tingkat keamanan konsumsi, dan penerimaan konsumen. Secara menyeluruh, biofortifikasi melalui pemuliaan tanaman secara konvensional diringkas pada Gambar 3.

tdk ada manfaatnya



Gambar 3. Bagan Alir Pemuliaan secara Konvensional Tanaman Singkong (*Manihot esculenta* Crainzt sin.) yang mengandung Fe, Zn, dan Beta Karoten Tinggi.

<u>Biofortifikasi melalui rekayasa genetika</u>

introduksi

Biofortifikasi melalui pendekatan molekuler atau rekayasa genetika dilakukan dengan mentransformasikan gen yang mengkode senyawa tertentu ke susunan genotip tanaman singkong. Untuk itu diperlukan pengetahuan tentang jalur biosintesis senyawa yang ingin ditingkatkan (misal jalur sintesis Fe, Zn, ataupun beta karoten), proses biokimia pada tanaman singkong dan karakterisasi gen yang terkait metabolisme tersebut (CIAT, 2002). Transfer gen ini dapat meningkatkan kapasitas penyerapan nutrisi (Frossard, *et al.*, 2000). Namun peningkatan kandungan Fe, Zn, dan beta karoten ini seharusnya diikuti dengan modifikasi penyimpanan pada tanaman singkong itu sendiri. Pada Tabel 6 ditunjukkan rekapitulasi hasil penelitian biofortifikasi tanaman melalui pendekatan rekayasa genetik.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Penelitian Biofortifikasi Tanaman melalui Pendekatan Rekayasa Genetik

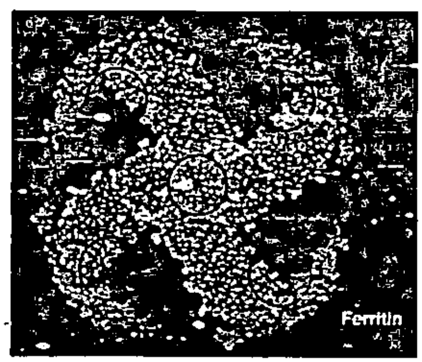
No	Uraian	Protein yang Dikodekan	Asal Gen	Hasil	Sumber
1.	Tembakau : Peningkatan penyerapan Fe dari tanah	*ferric reduktase*	Gen FRE2	Mereduksi Fe^{3+} sepanjang akar dan pucuk	Samuelsen, *et al.*, 1998
2.	Padi : Peningkatan penyimpanan Fe	Ferritin	Gen feritin di isolasi dari kedelai	Meningkatkan konsentrasi Fe dari 8.6-14.3 ppm sampai 13.3-38.1 ppm	Goto *et al.* (1999)
3.	Tanaman dikotil: Peningkatan penyerapan Zn	*phytosiderophore* (PS)		Penyerapan Zn	Grusak, *et al.*, 1999
4.	Jagung : penyerapan Fe	transporter komplek – *phytosiderophore* Fe^{3+}	Gen Yellow Stripe 1 (YS 1), OsIRT1 dari padi	Meningkatkan penyerapan Fe dari tanah untuk ditransportasikan ke akar	Grusak, *et al.*, 1999
5.	Padi (Golden Rice) : Peningkatan Beta Karoten	- *Phytoene synthase* - *Lycopene β-cyclase* - *Carotene desaturase*	Daffodil dan bakteri *Erwinia uredovora*	Kandungan beta karoten beras meningkat (maks 1.6 ppm di endosperma)	Salas, 2005
6.	Padi (IR64 and BR29) : Peningkatan Beta Karoten	- *Phytoene synthase (psy)* *Phytoene desaturase(crtI)*	Daffodil dan bakteri *Erwinia uredovora*	Beta karoten IR64: 2.32 μg/g, BR29: 3.92 μg/g	Datta, *et al.*, 2006

Keterangan : Disarikan dari Berbagai Sumber

Manipulasi penyerapan dan penyimpanan zat besi (Fe) dan seng (Zn) pada tanaman singkong

Frossard, *et al.* (2000) menyebutkan bahwa peningkatan konsentrasi Fe pada tanaman dipengaruhi ekspresi dari beberapa sistem komponen larutan Fe termasuk Fe transporter, protein yang terlibat dalam sintesis Fe, dan aktivator transkripsi pada gen penyimpan Fe. Cara yang telah dilakukan oleh para peneliti (Tabel 6) dapat diadopsi untuk meningkatkan penyerapan dan penyimpanan kandungan Fe pada singkong. Peningkatan penyerapan Fe dilakukan dengan cara memasukkan gen pengkode Fe (FRE2) sedangkan peningkatan penyimpanan Fe dapat dilakukan dengan memasukkan ferritin.

Ferritin (Gambar 4) merupakan sebuah protein yang terdiri dari 24 sub unit polipeptida yang terdapat di dalam plastida dan kloroplas. Setiap subunit moekul individu berikatan non kovalen. Ukuran protein komplek ini kurang lebih 450 kDa (Frey *et al.*, 1995).



Sumber : Frey *et al.*, 1995

Gambar 4. Ferritin

Mekanisme penyerapan Zn hampir sama dengan Fe, yaitu dengan melibatkan molekul *phytosiderophore* (PS) yang mengkelat mineral melalui sistem transportnya dari akar (Grusak, *et al.*, 1999). Biosintesis PS dan mekanisme transport PS ke sitoplasma merupakan strategi dari generasi tanaman dikotil untuk menyerap Zn. Cara lain yaitu dengan memasukkan gen Yellow Stripe 1 (YS 1), OsIRTI. YS 1 adalah transporter komplek *phytosiderophore*

Fe^{3+} yang telah diidentifikasi dari jagung. OsIRTI adalah gen padi yang dapat mengurangi Fe pada tanah untuk ditransportasikan ke akar.

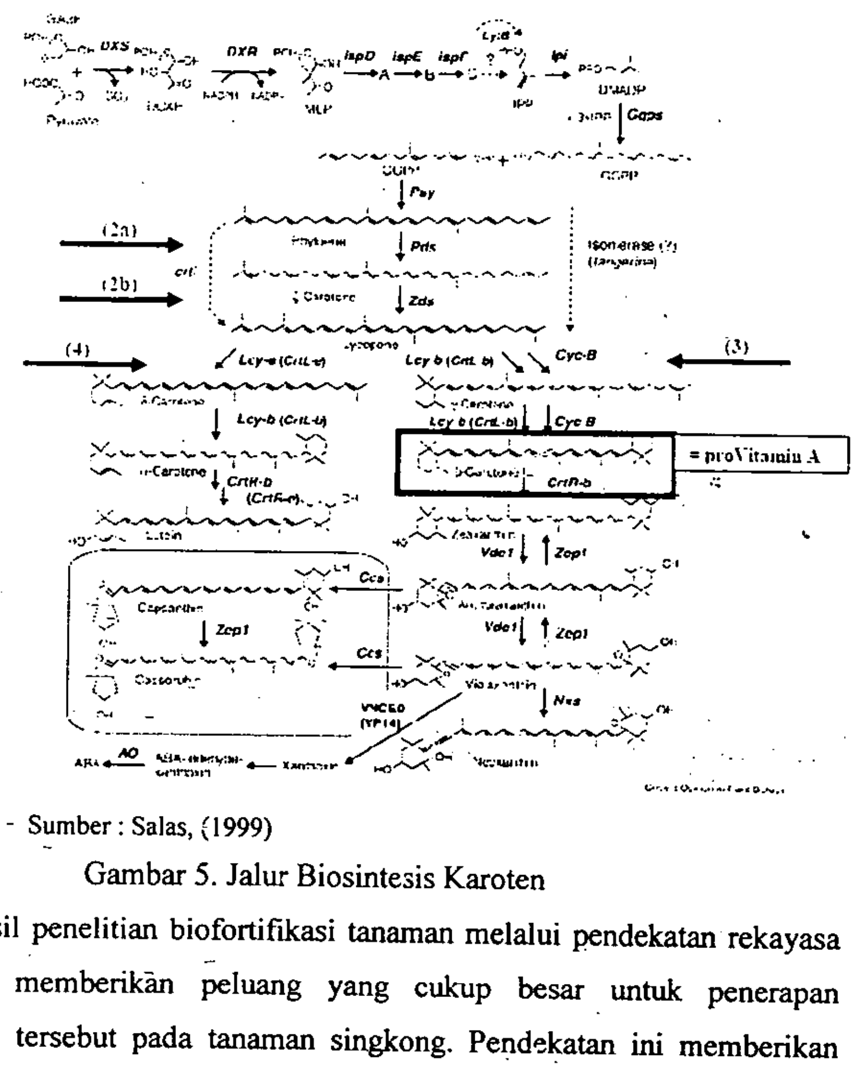
Manipulasi penyerapan dan penyimpanan beta karoten pada tanaman singkong

Beta karoten adalah senyawa intermediet pada jalur biosintesis karoten dan berhubungan dengan jalur metabolisme sekunder pada tanaman. Beta karoten merupakan prekursor vitamin A yang paling penting karena setiap molekulnya dapat memproduksi dua molekul retinol (vitamin A) dengan reaksi oksidasi pemecahan ikatan ganda dan mereduksi gugus aldehid pada bagian ujungnya (Salas, 2005).

Pada tanaman padi teknik rekayasa genetika mulai banyak dilakukan oleh para peneliti. Salah satu hasil teknik rekayasa genetika yang banyak dikenal yaitu '*golden rice*'. Peningkatan kandungan beta karoten pada padi tersebut dilakukan dengan memasukkan gen mengkode untuk *phytoene synthase* dan *lycopene β-cyclase* (Tabel 6).

Pada tanaman singkong, gen yang mengkode tahapan khusus metabolisme karoten telah dilaporkan oleh Salcedo, *et al.*, (2002). Dari hasil karakteristik gen pada singkong diketahui gen yang terlibat pada sintesis beta karoten yaitu *phytoene synthase* (Psyn), *phytoene desaturase* (PDes), *z-carotene desaturase* (CDes), dan *b-lycopene ciclase* (Blyc).

Gen-gen yang terlibat pada sintesis beta karoten selanjutnya digunakan sebagai acuan rekayasa genetika untuk meningkatkan sintesis beta karoten pada tanaman singkong khususnya pada singkong yang rendah kandungan beta karoten. Selain itu, jalur biosintesis karoten pada tanaman padi juga digunakan sebagai acuan untuk mengetahui secara lengkap jalur biosintesis beta karoten. Gambar 5 menunjukkan jalur biosintesis karoten pada tanaman padi. Gen-gen yang terlibat dalam peningkatan kandungan beta karoten yaitu *Phytoene syntase* (1), *Phythoene desaturase* (2a), *z-carotene desaturase* (2b), *Lycopene beta-ciclase* (3), dan *Lycopene epsilon-cyclase* (4) (Gambar 5). Gen-gen tersebut diintroduksikan ke tanaman padi untuk meningkatkan kandungan beta karoten pada beras (Salas, 2005). Gen-gen tersebut berpeluang untuk diintroduksikan pada tanaman singkong.



- Sumber : Salas, (1999)

Gambar 5. Jalur Biosintesis Karoten

Hasil-hasil penelitian biofortifikasi tanaman melalui pendekatan rekayasa genetika memberikan peluang yang cukup besar untuk penerapan teknologi tersebut pada tanaman singkong. Pendekatan ini memberikan harapan pengembangan tanaman singkong yang memiliki kandungan Fe, Zn dan beta karoten yang tinggi. Namun untuk pengembangan tersebut dana yang yang dibutuhkan cukup banyak. Selain itu pengetahuan dan kemampuan/skill yang tinggi sangat dibutuhkan untuk dapat menerapkan teknologi ini.

Penurunan Kandungan Senyawa Anti Nutrisi

Efisiensi ketersediaan senyawa mikro nutrisi pada bagian yang dikonsumsi dipengaruhi oleh senyawa anti nutrisi dan senyawa promotor. Senyawa anti nutrisi tersebut menjadi penghalang penyerapan mikro nutrisi oleh tubuh manusia. Beberapa senyawa anti nutrisi yang menghambat ketersediaan Fe dan Zn pada beberapa jenis tanaman adalah asam fitat atau fitin, fiber (selulosse, hemiselulose, lignin, cutin, suberin), tanin dan polifenolik, lektin dan logam berat seperti Co, Hg, dan Pb (Welch, 2002). Rekapitulasi hasil penelitian biofortifikasi tanaman melalui penurunan senyawa anti nutrisi dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Penelitian Biofortifikasi Tanaman Melalui Penurunan Senyawa Anti Nutrisi

No.	Anti Nutrisi	Hasil	Sumber
1.	Asam fitat (IP_6)	Pada kedelai, penyerapan Fe ditingkatkan ketika asam fitat dikurangi sampai 1.0 g/kg.	Frossard, *et al.*, 2000
2.	Logam berat (Co, Hg, Pb)	Pada tanaman berumbi menghambat ketersediaan Fe dan Zn	Welch, 2002
3.	Asam Fitat (IP_6)	Gen fitase diambil dari *Aspergillus niger* dan *A. fumigatus* dimasukkan jalur sintesis asam fitat t meningkatkan penyerapan Fe pada tubuh manusia	Frossard, *et al.*, 2000
4.	Asam fitat (IP_6)	Pada jagung penurunan 65% asam fitat mampu meningkatkan penyerapan Fe dan Zn	Frossard, *et al.*, 2000
5.	Asam fitat (IP_6)	Pada padi, jagung, gandum, barley, dan kedelai pengurangan asam fitat dilakukan dengan memasukkan enzim pendegradasi asam fitat	White dan Broadley, 2005

Keterangan : Disarikan dari Berbagai Sumber

Tanaman pangan mempunyai kandungan anti nutrisi yang berbeda-beda tergantung pada genetik dan lingkungan (Welch, 2002). Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa pada tanaman yang berumbi seperti singkong, penyerapan Fe dan Zn lebih dipengaruhi logam berat (Co, Hg, dan Pb). Kandungan senyawa anti nutrisi yang lain seperti asam fitat atau tanin pada tanaman singkong belum banyak diteliti.

Peningkatan kandungan senyawa Fe dan Zn melalui penurunan senyawa anti nutrisi dapat dilakukan dengan mengembangkan varietas rendah senyawa anti nutrisi maupun melalui rekayasa genetika. Namun teknik biofortifikasi melalui penurunan senyawa anti nutrisi mempunyai beberapa kendala. Senyawa nutrisi seperti fitat dan polifenol mempunyai peranan yang penting pada tubuh manusia sebagai senyawa anti kanker dan dapat menurunkan resiko serangan penyakit jantung dan diabetes (Welch, 2002). Oleh karena itu, pemulia tanaman dan ahli bioteknologi harus memikirkan kemungkinan-kemungkinan negatif yang terjadi apabila dilakukan perubahan anti nutrisi pada tanaman pangan sebelum mengusahakannya untuk peningkatan kandungan mikro nutrisi.

Peningkatan Konsentrasi Promotor

Senyawa promotor menurut White dan Broadley (2005) adalah suatu senyawa yang menstimulasi penyerapan mikro nutrisi pada usus manusia. Beberapa bahan organik tertentu dapat menstimulasi penyerapan hara mikro pada tubuh manusia. Bahan organik yang dimaksud yaitu : asam askorbat, β-karoten, protein sistein (*cysteine*), dan asam amino (White dan Broadley, 2005). Asam askorbat (AA) dapat mempertingi penyerapan Fe oleh tubuh manusia. Peningkatan kandungan AA pada tanaman pangan dapat mengurangi malnutrisi terutama unsur Fe. Beberapa penelitian biofortifikasi telah dilakukan untuk meningkatkan konsentrasi promotor (Tabel 8)

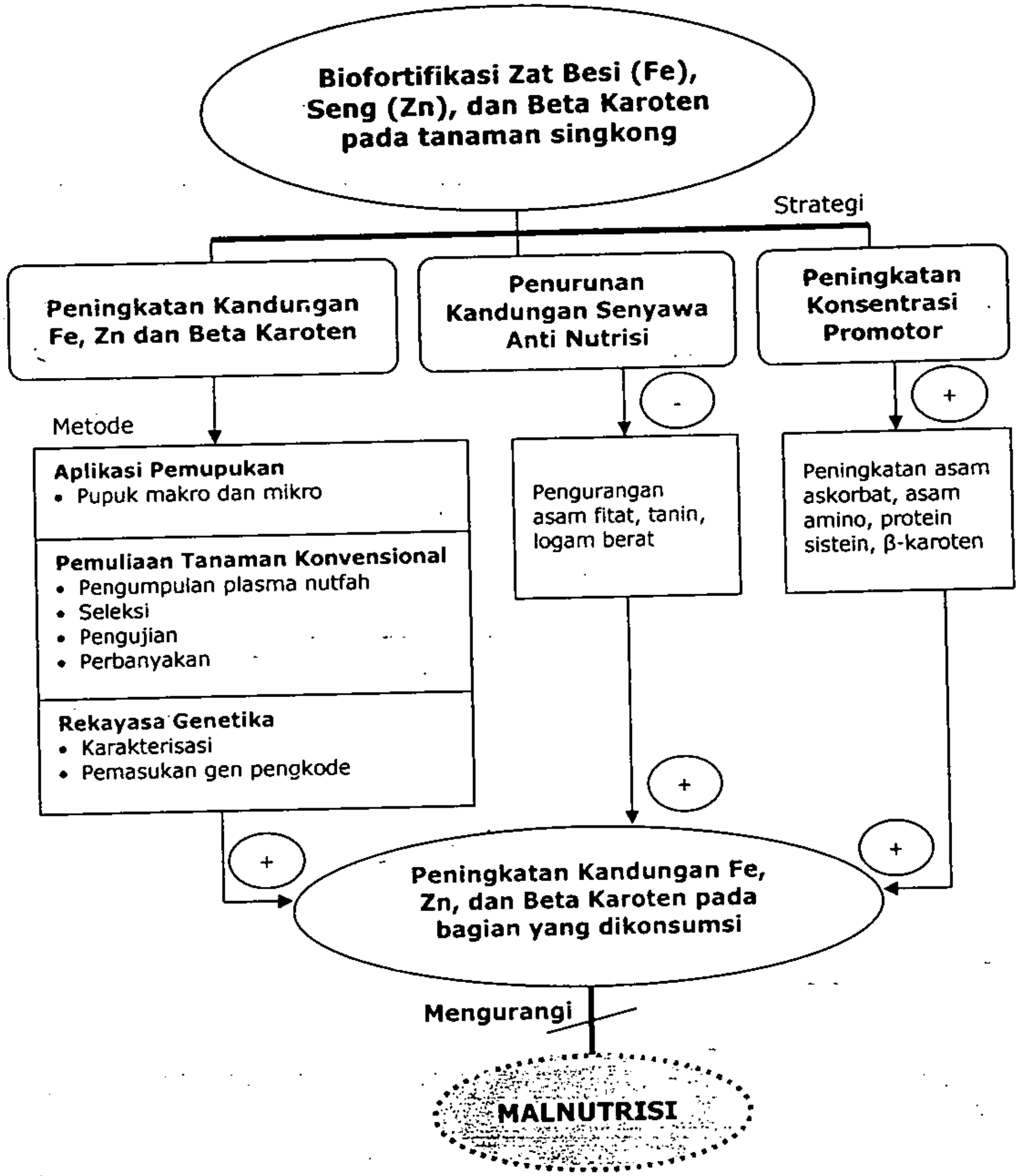
Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Penelitian Biofortifikasi Tanaman Melalui Peningkatan Konsentrasi Promotor

No.	Promotor	Hasil	Sumber
1.	Asam Askorbat (AA)	Peningkatan kandungan AA pada tanaman pangan mengurangi malnutrisi terutama Fe	Frossard *et al.*, 2000
2.	Asam Askorbat (AA)	Aplikasi pupuk N secara berlebih berpengaruh negatif terhadap kandungan AA	Frossard *et al.*, 2000
3.	Asam Askorbat (AA)	530 klon akar singkong memiliki kandungan AA bervariasi dari 0–75 mg/kg berat basah, rata-rata 80.9 mg/kg sehingga terdapat potensi pemuliaan umbi tanaman singkong yang mengandung AA tinggi	Chavez *et al.*, 1999
4.	- Fe, Zn - Beta karoten -Asam amino (methionin, sistein, histidin, dan lisin) - Lemak dan lipid	• Fe dan Zn merupakan promotor ketersediaan vitamin A • Beta karoten merupakan senyawa yang dapat meningkatkan penyerapan Fe pada manusia • Asam amino merupakan promotor senyawa Fe dan atau Zn • Lemak dan lipid promotor Vitamin A	Welch, 2002

Keterangan : Disarikan dari Berbagai Sumber

Pemuliaan tanaman untuk meningkatkan kandungan promotor (AA) pada tanaman singkong dimulai dari penelitian yang dilakukan oleh Chavez *et al.* (1999) (Tabel 8). Hasil penelitian ini membuktikan bahwa terdapat potensi pemuliaan umbi tanaman singkong yang mengandung AA tinggi. Hal ini membutuhkan ilmu mengenai heretabilitas untuk mengidentifikasi sejumlah gen yang terlibat dan untuk menentukan teknik pemuliaan yang tepat. Frossard *et al* (2000) menyebutkan bahwa jalur biosintesis AA masih merupakan proses yang sedang diteliti. Teknik rekayasa genetik belum muncul menjadi strategi untuk meningkatkan AA di bagian tanaman yang dapat dimakan. Namun strategi ini diharapkan dapat lebih berkembang dan memberikan harapan bagi pengembangan tanaman singkong yang mengandung promotor tinggi.

Secara keseluruhan, proses biofortifikasi pada tanaman singkong dapat meningkatkan Fe, Zn, dan beta karoten pada bagian dikonsumsi (umbi dan daun). Umbi dan daun tanaman singkong jika dikonsumsi dapat menambah asupan mikro nutrisi. Asupan ini akan lebih baik lagi jika dikombinasikan dengan sumber pangan yang lain (diversifikasi pangan). Dengan demikian, teknologi biofortifikasi pada tanaman singkong dapat digunakan sebagai salah satu alternatif cara untuk mengurangi malnutrisi. Secara umum, mekanisme teknologi biofortifikasi pada tanaman singkong untuk menekan mal nutrisi (Fe, Zn, dan beta karoten) dilukiskan pada Gambar 6.



Gambar 6. Mekanisme Penerapan Teknologi Biofortifikasi pada Tanaman Singkong untuk Menekan Malnutrisi (Fe, Zn, dan Beta karoten).

Keterangan : Disarikan dari Berbagai Sumber
- : Pengurangan
+ : Penambahan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Strategi biofortifikasi untuk meningkatkan kandungan zat gizi mikro (Fe, Zn, beta karoten) pada tanaman singkong dapat dilakukan melalui: peningkatan kandungan Fe, Zn, dan beta karoten pada bagian tanaman yang dikonsumsi, menurunkan kandungan senyawa anti nutrisi yang dapat menghambat ketersediaan Fe, Zn, dan beta karoten serta dengan meningkatkan kandungan senyawa promotor.

Metode peningkatan kandungan Fe, Zn, dan beta karoten pada bagian tanaman yang dikonsumsi dapat dilakukan dengan aplikasi pemupukan, pemuliaan konvensional dan pendekatan rekayasa genetik. Pemupukan dilakukan dengan memberikan pupuk makro dan mikro. Pemuliaan konvensional dilakukan melalui pengumpulan plasma nutfah, seleksi, pengujian, dan perbanyakan. Pendekatan rekayasa genetika dilakukan melalui karakterisasi dan pemasukan gen tertentu yang mengkode Fe, Zn, dan beta karoten.

Metode penurunan kandungan senyawa anti nutrisi yang menghambat penyerapan Fe, Zn, dan beta karoten dilakukan dengan menurunkan konsentrasi asam fitat, tanin, logam berat (Co, Hg, Pb) melalui teknik rekayasa genetika atau teknik pemuliaan secara konvensional.

Metode peningkatan konsentrasi promotor dilakukan dengan meningkatkan senyawa yang menstimulasi penyerapan mikro nutrisi pada tubuh manusia. Beberapa bahan organik tertentu dapat menstimulasi penyerapan hara mikro pada tubuh manusia yaitu : asam askorbat, β-karoten, protein sistein (*cysteine*), dan asam amino.

Saran

Berdasarkan analisis dan sintesis pada pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diberikan beberapa rekomendasi untuk dikaji dan ditindaklanjuti, yaitu :

1. Pemuliaan tanaman singkong perlu dilakukan untuk meningkatkan kandungan Fe, Zn dan beta karoten pada bagian yang dikonsumsi.
2. Perlu dilakukan kajian terhadap perbanyakan tanaman singkong secara klonal pada hasil pemuliaan.
3. Perlu dilakukan kajian yang lebih jauh dan mendalam mengenai pemanfaatan teknologi biofortifikasi pada tanaman singkong terhadap status gizi masyarakat.
4. Perlu dilakukan kajian dan penelitian mengenai potensi tanaman singkong untuk menyediakan mikro nutrisi selain Fe, Zn, dan beta karoten.
5. Perlu adanya partisipasi baik dari peneliti, pemerintah, investor, petani dan masyarakat untuk mengembangkan tanaman singkong yang kaya kandungan mikro nutrisi.

DAFTAR PUSTAKA

Angka Kecukupan Gizi. 2004. Tabel Angka Kecukupan Gizi 2004 bagi Orang Indonesia. www.gizi.net [5 April 2007]

Anonim. 2007. Nutrition. http://www.ivs-online.org [5 April 2007]

Badan Pusat Statistik (BPS). 1995. Nutrition. http://www.bps.go.id [4 April 2007]

Badan Pusat Statistik (BPS). 2003. Statistik Penduduk Indonesia. http://www.bps.go.id [9 Februari 2007]

Badan Pusat Statistik (BPS). 2006. Ketersediaan Pangan Tahun 2000 - 2005. http://www.bps.go.id [4 April 2007]

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 2006. Kandungan Besi Varietas Padi. http://pustaka-deptan.go.id [3 April 2007]

Baliwati, Y. F. Dan Rimbawan. 2004. Masalah pangan dan gizi. *Dalam*: Baliwati, Y. F., A. Khomsan, dan C. M. Dwiriani. Pengantar Pangan dan Gizi. Penebar Swadaya. Jakarta. 120 hal.

Berita Resmi Statistik. 2006. Tingkat Kemiskinan di Indonesia tahun 2005-2006. http://www.bps.go.id [4 April 2007]

BPPT. 2007. Ketela Pohon / Singkong (*Manihot utilissima* Pohl.) http://www.ristek.go.id [4 April 2007]

Cakmak, I. 2006. Enriching Grain with Micronutrients: Benefits for Crop Plants and Human Health. IFA Agriculture Conference. 27 Februari – 2 Maret. http://www.fertilizer.org [5 April 2007]

Chavez, A. L., T. Sanchez, G. Jaramillo, J. M. Bedoya, J. Echeverry, E. A. Bolanos, J. Tohme, and H. Ceballos. 2002. Evaluation of nutrirional and agronomic traits in roots and foliage of cassava clones from the germplasm bank and breeding project at CIAT. http://www.ciat.cgiar.org.

Chavez AL, J. M. Bedoya, C. Iglesias, H. Ceballos, and W. Roca. 1999. Exploring the genetic potential to improve micronutrient content in cassava, in Improving human nutrition through agriculture: the role of international agricultural research. Workshop yang diselenggarakan oleh IRRI, Los Banos, Filipina dan diorganisasikan oleh International Food Policy Research Institute. 5-7 Oktober.

Cock, J. 1985. Cassava. New potensial for a neglected crop. Westview press. Boulder, CO. USA.

Community Food System Data. 2007. Community Food System Data. http://www.mcgill.com [4 April 2007]

Datta, K., M. Rai, V. Parkhi, N. Oliva, Jing Tan, and S. K. Datta. 2006. Improved 'golden' indica rice and post-transgeneration enhancement of metabolic target products of carotenoids (b-carotene) in transgenic elite cultivars (IR64 and BR29). Current Science, 91(7) : 935-939.

FAO/WHO. 2000. Preliminary report on recommended nutrient intakes. Joint FAO/WHO Expert Consultation on Human Vitamin and Mineral Requirements, FAO, Bangkok, Thailand, September 21±30, 1998, revisi 13 Juli, 2000. Food and Agricultural Organization of the United Nations Rome, Italy and World Health Organization. Geneva. Switzerland.

Frey, R. F., M. J. Donlin, and J. K. Bashkin. 1995. Ferritin Molecular-Graphics Tutorial Iron in Biology: Study of the Iron Content in Ferritin, The Iron-storage Protein. Department of Chemistry. Washington University. St. Louis. http://www chemistry.wustl.edu [5 April 2007]

Frossard, E., M. Bucher, F. Mächler, A. Mozafar, and R. Hurrell. 2000. Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn, and Ca in plants for human nutrition. J. Sci Food Agric 80: 861-879

Goto F., T. Yoshihara, N. Shigemoto, S. Toki and F. Takaiwa. 1999. Iron fortification of rice seed by the soybean ferritin gene. Nature Biotechnology v. 17: 282-286.

Graham, R. D. and R. Welch. 1996. Breeding for staple food crops with high micronutrient density. Agricultural strategies for micronutrients. Working paper 3. International Food Policy Research Institute. Washington DC

Grusak, M.A., J.N. Pearson, and E. Marentes. 1999. The physiology of micronutrient homeostasis in field crops. Field Crops Research 60: 41-56.

Haas, J. H. and D. D. Miller. 2006. Overview of experimental biology 2005. *In* Symposium: Food Fortification in Developing Countries. America Society for Nutrition. J. Nutr. 136:1053-1054

Horton, S. 2006. The economics of food fortification *In* Symposium: Food Fortification in Developing Countries. America Society for Nutrition. J. Nutr. 136: 1068-1071

Kawano, K., K. Narintarapom, P. Narintarapom, S. Sakaram, A. Limsila, J. Limsila, D. Suparhan, W. Watananonta. 1998. Yield improvement in a multistage breeding program for cassava. Crop Sci 27: 69-74.

Kompas. 2007. Bulog hanya serap 3 persen beras Sumsel. Kompas. 4 April.

Long, J and M. BaÈnziger. 1999. The potential for increasing Fe and Zn density of maize through plant breeding, in Improving human nutrition through agriculture: the role of international agricultural research. Workshop yang diselenggarakan oleh International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines dan diorganisasikan oleh International Food Policy Research Institute. 5-7 Oktober.

Mason, J. B. and M. Garcia.1993. Micronutrient deficiency - the global situation. *SCN News* 9, 11-16.

Nestel, P., H. E. Bouis, J. V. Meenakshi, and W. Pfeiffer. 2006. Biofortificatiuon of staple food. *In* Symposium: Food Fortification in Developing Countries. America Society for Nutrition. J. Nutr. 136: 1064-1067.

Salas, M. G. 2005. Biofortification of rice nutrient :pro vitamin A, iron, and zinc. *In* Agriculture in Developing Countries Biotechnology Theme Groups. http://www.ip.cals.cornel.edu [5 April 2007].

Salcedo, A. F., D. F. Cortes, L. I. Mancilla, G. Gallego, a. L. Chavez, J. Beeching, and J. Tohme. 2002. Characterizing B-carotene Pathways Genes in Cassava. http://www.ciat.cgiar.org. [5 April 2007]

Salisbury, F. B. dan C. W. Ross. 1995. Fisiologi Tumbuhan (Terjemahan Plant Physiolgy.). Jilid 2. Penerbit ITB. Bandung.

Samuelsen, A. I., R. C. Martin, D. W. Mok, and M. C. Mok. 1998. Expression of the yeast FRE genes in transgenic tobacco. Plant Physiol 118:51-58.

Sawega, A. M. 2007. Kembali ke Cassava. Kompas. 8 Januari 2007.

Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. 591 hal.

Suriawiria, H. U. 2002. Potensi Singkong. Kompas. 25 September 2002.

The Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2005. Description of Cassava as a Crop. http://www.ciat.cgiar.org [5 April 2007].

The Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). 2002. Biofortified Crops for Improved Humans Nutrition. http://www.cgiar.org [5 April 2007].

United Nations System Standing Committee on Nutrition (SCN). 2004. 5th Report on the World Nutrition Situation Nutrition for Improved Development Outcomes. SCN,. Geneva.

United Nations Development Programme. 2003. Human development report 2003: the millennium development goals: a compact among nations to end human poverty. UNDP. New York

Welch, R. M. and R. D. Graham. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. Journal of Experimental Botany. 55,(396) : 353-364

Welch, R. M. 2004. Link Between the aplikation of micronutients to crops and human health. IFA Internatioan Symposium on Micronutrient (23-24 February 2004). USDA

White P. J. and M. R. Broadley. 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. TRENDS in Plant Science. 10 (12) : 586 - 593.

Wiguna, O. 2007. Pemerintah tak bisa cegah kenaikan harga beras. Kompas. 1 April.

Wikipedia[a]. 2007. Iron. http://www.wikipedia.com [5 April 2007]

Wikipedia[b]. 2007. Karoten. http://www.wikipedia.com [5 April 2006]

Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, I Gultekin, S. Karanlyk, S. A. Bagcy and I. Cakmak. 1997 Different zinc application methods on grain yield, and zinc concentrations in wheat grown on zinc-deficient calcareous soil in Central Anatolia. J. Plant Nutr 20: 461-471.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Penulis I

Nama	:	Tri Handayani
Tempat/Tanggal Lahir	:	Malang, 6 Mei 1984
Jenis Kelamin	:	Perempuan
Alamat Asal	:	Jl.Cemara Pentris No. 16 Rt.01/Rw.06 Sidomulyo Batu Malang 65317
Alamat Sekarang	:	Pondok Rizqi, Jl. Babakan Raya I RT. 03/01 No.174 Darmaga Bogor 16680
No. Telp/HP	:	(0251) 420514 / 081382835104
Email	:	inay_aster@yahoo.com

Prestasi :

- Finalis National Inovation Contest (NIC) 2007 Institut Teknologi Bandung 21-23 Februari 2007
- Lolos PKMP DIKTI Tingkat Nasional tahun 2006
- Juara Harapan I Lomba Inovasi Iptek Mahasiswa (LIIM) Universitas Gajah Mada 28-29 Desember 2006

Karya yang Pernah Dilombakan:

- Studi Pemanfaatan Filter Cahaya dan Teknik Cutting untuk Meningkatkan Kualitas Warna dan Bentuk Tajuk *Sansevieria trifasciata* var. Lilian True pada Fase Pembibitan (PKMP DIKTI tahun 2007)
- Pemanfaatan Larutan $CuSO_4$ sebagai Filter Cahaya pada Teknologi Kultur Jaringan (NIC ITB tahun 2007)
- Pemanfaatan Larutan $CuSO_4$ sebagai Filter Cahaya dalam Induksi Organogenesis Tanaman Hias secara *In Vitro* (LIIM UGM tahun 2006)

Penulis II

Nama	:	Armita Fibriyanti
Tempat/Tanggal Lahir	:	Purworejo, 20 Februari 1986
Jenis Kelamin	:	Perempuan
Alamat Asal	:	Botodaleman RT 1 RW 2 No 4 Bayan Purworejo, Jawa Tengah 54152
Alamat Sekarang	:	Pondok Rizqi, Jl. Babakan Raya I RT. 03/01 No.174 Darmaga Bogor 16680
No. Telp/HP	:	(0251) 420514 / 081802843438
Email	:	armitafibriyanti@yahoo.com

Prestasi :

- Finalis Innovative Enthrepreneurship Challenges – 2 (IEC-2) Institut Teknologi Bandung 20 April 2007
- Juara II Lomba Inovasi Teknologi Lingkungan (LITL) Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya 25-28 Maret 2007
- Finalis National Inovation Contest (NIC) 2007 Institut Teknologi Bandung 21-23 Februari 2007
- Lolos PKMP DIKTI Tingkat Nasional tahun 2006
- Juara Harapan I Lomba Inovasi Iptek Mahasiswa (LIIM) Universitas Gajah Mada 28-29 Desember 2006
- Finalis Lomba Karya Tulis Mahasiswa (LKTM) Bidang IPA pada PIMNAS XIX 26-29 Juli 2006 UMM Jawa Timur
- Juara II Lomba Karya Tulis Mahasiswa (LKTM) Bidang IPA Tingkat Wilayah B tahun 2006
- Juara I Lomba Karya Tulis Mahasiswa (LKTM) Bidang IPA Tingkat IPB tahun 2006
- Juara II Lomba Inovasi Teknologi Lingkungan (LITL) Institut Teknologi Sepuluh November tahun 2006
- Lolos PKMP DIKTI Tingkat Nasional (Penulis II tahun 2005)

Karya yang Pernah Dilombakan:

- Biotoilet sebagai Alternatif Jamban Hemat Air (LITL ITS, 2007)

- Studi Pemanfaatan Filter Cahaya dan Teknik Cutting untuk Meningkatkan Kualitas Warna dan Bentuk Tajuk *Sansevieria trifasciata* var. Lilian True pada Fase Pembibitan (PKMP DIKTI tahun 2007)
- Pemanfaatan Larutan $CuSO_4$ sebagai Filter Cahaya pada Teknologi Kultur Jaringan (NIC ITB tahun 2007)
- Pemanfaatan Larutan $CuSO_4$ sebagai Filter Cahaya dalam Induksi Organogenesis Tanaman Hias secara *In Vitro* (LIIM UGM tahun 2006)
- Vertilkultur, Teknologi Produksi Sayuran yang Efisien, Ekonomis dan Ramah Lingkungan (LITL ITS tahun 2006)
- Pemanfaatan Potensi Tanaman Sansevieria sebagai Penyerap Polutan untuk Meningkatkan Kualitas Kesehatan Manusia dan Lingkungan (LKTM Bidang IPA tahun 2006)
- Seleksi Berbagai Varietas *Sansiviera* sebagai Alternatif Bahan Lotion Pengusir Nyamuk (PKMP DIKTI tahun 2005)

Penulis III

Nama	:	Indah Pratiwi
Tempat/Tanggal Lahir	:	Jakarta, 8 Oktober 1986
Jenis Kelamin	:	Perempuan
Alamat Asal	:	Komplek DitBekAng-AD RT 06/05 No. 29 Cibinong Bogor. Telp (021)8759623
Alamat Sekarang	:	Wisma SAS Babakan Lebak Darmaga Bogor 16680
No. Telp/HP	:	(0251) 627086 pesawat 104 / 08128401277
Prestasi	:	-

Karya yang Pernah Dilombakan: -