

UPAYA BIOFORTIFIKASI PADA UBI KAYU

POSTER

Kartika Noerwijati¹⁾ dan Rohmad Budiono²⁾

¹⁾Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi

²⁾Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Timur

e-mail: tika_iletri@yahoo.com

ABSTRACT

In Indonesia, cassava is the third staple food after rice and maize. Cassava is an efficient producer of carbohydrate with a number between 25.3 to 35.7 g / 100 g, however, cassava tubers contain low protein and vitamins. Because cassava is a staple food for the people, especially in marginal areas, efforts to increase the nutritional value of cassava is very important to do, one of which is through biofortification. Biofortification is efforts through breeding of the food plant material to improve micro nutrients contained, through agronomic activities (such as fertilizer), genetic engineering, or a conventional plant breeding approaches. Biofortification efforts sticking due to an increase in malnutrition in the people. Malnutrition can occur both in the areas of food surplus (due to poor diet) as well as in the area of food shortage (due to limited access to food source or limited types of food). Biofortification efforts on cassava has been done to improve the content of provitamin A, iron and zinc content , and protein content. In Indonesia has been obtained cassava with high beta-carotene content through tissue culture techniques (friable embryogenic callus / FEC). Besides, the gene encoding phytoenesynthase (Psy) involved in the biosynthesis of beta-carotene in cassava also has been identified and has been sequenced to confirm. Biofortification research of cassava in Indonesia still needs to be improved in view of the cassava is a commodity that is very important in supporting food diversification program.

Keywords: cassava, biofortification, nutrition value

PENDAHULUAN

Biofortifikasi adalah upaya pemuliaan tanaman untuk memperkaya tanaman dengan nutrisi, seperti vitamin dan mineral, baik melalui pemuliaan konvensional maupun bioteknologi. Biofortifikasi tanaman pangan bisa menjadi salah satu solusi mengatasi masalah kekurangan zat gizi mikro, termasuk provitamin A, Fe dan Zn, melalui proses rekayasa genetika. Upaya biofortifikasi mencuat karena adanya peningkatan kekurangan gizi pada masyarakat. Kekurangan gizi dapat terjadi baik di daerah surplus pangan (karena pola makan yang buruk) maupun kekurangan pangan (karena keterbatasan akses ke sumber pangan atau keterbatasan jenis pangan), (Anonim, 2014).

Sebanyak 800 juta manusia di dunia mengkonsumsi ubi kayu sebagai sumber kalori dan 500 juta diantaranya adalah penduduk Afrika, (Fessenden, 2014). Krisis pangan dan kebutuhan industri berbahan baku pati ubi kayu terus

mengalami peningkatan dan menyebabkan kebutuhan ubi kayu meningkat. Ubi kayu digunakan sebagai bahan makanan pokok oleh masyarakat yang tinggal pada daerah tidak/kurang subur. Meskipun pada kenyataannya ubi kayu kurang menarik dan dianggap sebagai bahan pangan kelas bawah dibandingkan sumber karbohidrat lain. Hal tersebut disebabkan oleh kandungan nutrisi ubi kayu tergolong rendah (kandungan vitamin dan protein rendah) dan kandungan hidrogen sianida (HCN) tinggi. Hal tersebut menyebabkan ubi kayu memiliki rasio protein/energi sangat rendah yaitu 7,4 mg/kalori dibandingkan komoditas pangan lain yaitu gandum (29,6 mg/kal), padi (20,2 mg/kal), jagung (25,6 mg/kal) dan sorgum (14,4 mg/kal), (Sudharmonowati *et al.*, 2015).

FAO memperkirakan sekitar 805 juta penduduk dari 7,3 miliar penduduk dunia (atau satu dari sembilan orang) mengalami kekurangan gizi kronis dalam kurun waktu 2012 hingga 2014. Sebagian besar yaitu sebanyak 791 juta orang, hidup di negara-negara berkembang, atau satu dari delapan penduduk negara berkembang. Dan sekitar 11 juta orang kekurangan gizi berada di negara-negara maju. Jumlah tersebut diperkirakan akan terus mengalami peningkatan, (Hunger Notes, 2015).

Salah satu masalah kekurangan gizi/vitamin adalah VAD (*vitamin A deficiency*) yang merupakan masalah kesehatan utama di Afrika. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), diperkirakan 250.000 sampai 500.000 anak kekurangan vitamin A dan menjadi buta setiap tahun. Lima puluh persen dari jumlah tersebut meninggal dalam waktu 12 bulan. Pada wanita hamil, VAD dapat menyebabkan kebutaan malam dan meningkatkan risiko kematian ibu. Di Afrika dan Asia Tenggara, tingkat VAD kalangan anak-anak dan wanita hamil adalah tertinggi di dunia, sehingga perlu dicari solusi jangka panjang untuk masalah ini (Bafana, 2015). Di samping itu, WHO (2002) menyebutkan bahwa sekitar dua miliar penduduk dunia terutama wanita dan anak-anak mengalami kekurangan unsur Fe dan Zn. Unsur Fe sangat penting untuk pembentukan sel darah merah, membentuk enzim, berperan dalam proses metabolisme, pengaturan sel pertumbuhan. Sedangkan unsur Zn sangat penting untuk perkembangan fisik dan mental, sistem kekebalan tubuh, serta berperan dalam memelihara kesuburan.

Penduduk dunia yang mengalami kekurangan gizi biasanya hidup di daerah-daerah marginal dan banyak yang mengkonsumsi ubi kayu sebagai makanan pokoknya. Sehingga perlu ada upaya untuk meningkatkan nilai gizi ubi kayu. Salah satu cara peningkatan nutrisi/vitamin ubi kayu adalah melalui biofortifikasi. Kandungan asam sianida (HCN) pada ubi kayu juga membahayakan kesehatan manusia bahkan dapat menimbulkan kematian. Oleh karena itu, untuk keperluan pangan maka perbaikan sifat ubi kayu tidak hanya untuk meningkatkan nilai gizinya tetapi juga untuk menurunkan kadar HCN hingga aman untuk dikonsumsi. Sudharmonowati *et al.*, (2015) menyatakan bahwa upaya biofortifikasi ubi kayu, peningkatan/penurunan kadar amilosa, penurunan kadar HCN, dan pengurangan deteriorasi dapat dilakukan melalui seleksi, induksi mutan, dan rekayasa genetika. Fessenden (2014) mengemukakan upaya persilangan dan

seleksi genomik pada ubi kayu telah berhasil menciptakan varietas baru ubi kayu yang secara dramatis dapat meningkatkan hasil, mencegah kekurangan gizi dan mampu tumbuh di berbagai kondisi.

Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) mengungkapkan pentingnya penanggulangan kekurangan gizi dalam kaitannya dengan upaya peningkatan SDM pada seluruh kelompok umur sesuai siklus kehidupan. Karena kekurangan gizi memiliki dampak buruk yang besar diantaranya adalah : (i) rendahnya produktivitas kerja, (ii) kehilangan kesempatan sekolah, dan (iii) kehilangan sumberdaya karena biaya kesehatan yang tinggi. Pada tingkat nasional, pembangunan pangan, kesehatan, dan pendidikan juga ditempatkan sebagai prioritas utama dalam RPJPN (Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional) 2005-2025. Menurut data BPS 2009, penduduk Indonesia yang masih mengalami rawan pangan adalah sebanyak 14,47 % dan 4,9 % memiliki gizi buruk, (Bappenas, 2011).

UBI KAYU DAN KANDUNGAN GIZINYA

Kandungan nutrisi ubi kayu sangat tergantung pada bagian tanaman, varietas, kondisi geografis, umur tanaman, dan kondisi lingkungan (FAOSTAT 2011, Tewe & Lutaladio 2004 *cit* Montagnac *et al.*, 2009). Ubi kayu memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi, khususnya pati dan digunakan sebagai sumber energi, memiliki kadar vitamin C dan unsur mangan, namun memiliki kandungan lemak, protein, kolesterol, vitamin, dan unsur Na yang rendah. Namun, bagian daun memiliki kandungan protein yang lebih tinggi dibandingkan dengan umbi (Anonymous, 2015). Demikian pula dengan kandungan sukrosa, glukosa, fruktosa, dan maltosa biasanya juga rendah (Tewe 2004). Kadar serat pada umbi berbeda-beda tergantung pada varietas dan umur tanaman. Namun demikian ubi kayu tetap merupakan bahan pangan penting terutama di Afrika (Adenle *et al.*, 2012).

Ubi kayu merupakan tanaman yang sangat efisien dalam menghasilkan karbohidrat per hektar, yaitu menghasilkan sekitar 250.000 kalori karbohidrat/ha/hari, (Okigbo, 1980). Kandungan karbohidrat pada ubi kayu berkisar antara 32 – 35 % (basis basah) dan antara 80 – 90% (basis kering). Sekitar 80% karbohidrat ubi kayu merupakan pati yang terdiri atas 83% amilopektin dan 17% amilosa. Ubi kayu memiliki kadar karbohidrat yang lebih tinggi dibandingkan dengan kentang dan lebih rendah dibandingkan dengan padi, gandum, jagung kuning, dan sorgum. Kandungan serat ubi kayu tergantung pada varietas dan umur tanaman, yaitu sekitar 1,4% pada umbi dan 4% pada tepung (Gil dan Buitrago, 2002 *cit* Montagnac *et al.*, 2009).

Daun ubi kayu juga memiliki nilai gizi yang tinggi. Daun ubi kayu mengandung banyak kalori, protein, fosfor, karbohidrat, dan unsur besi. Vitamin yang terkandung dalam daun ubi kayu diantaranya adalah vitamin A, B1, dan C. Di samping itu, daun ubi kayu juga mengandung tanin dan sejumlah fitofarmaka yang bermanfaat untuk mempertahankan daya tahan tubuh dan mengatasi sejumlah penyakit. Daun ubi kayu memiliki protein kasar yang tinggi yaitu sekitar 29,3 –

32,4% (basis kering), demikian kadar seratnya juga tinggi (26,9 – 39%) (Awoyinka *et al.*, 1995).

Tabel 1. Komposisi Nutrisi Ubi Kayu pada Umbi dan Daun

Variabel	Unit	Umbi ^{a,b,c}	Daun ^{a,b}
Komposisi perkiraan dalam 100 g			
Energi	kcal	110 – 149	91
Energi	kj	526 – 611	209 – 251
Kadar air	g	45,9 – 85,3	64,8 – 88,6
Bahan kering	g	29,8 – 39,3	19 – 28,3
Protein	g	0,3 – 3,5	1,0 – 10,0
Lemak	g	0,03 – 0,5	0,2 – 2,9
Karbohidrat total	g	25,3 – 35,7	7 – 18,3
Serat	g	0,1 – 3,7	0,5 – 10,0
Abu	g	0,4 – 1,7	0,7 – 4,5
Vitamins			
Thiamin	mg	0,03 – 0,28	0,06 – 0,31
Riboflavin	mg	0,03 – 0,06	0,021 – 0,74
Niacin	mg	0,6 – 1,09	1,3 – 2,8
Asam askorbat	mg	14,9 – 50,0	60 – 370
Vitamin A	µg	5,0 – 35,0	8300 – 11.800
Mineral			
Kalsium (Ca)	mg	19 – 176	34 – 708
Total fosfor (P)	mg	6 – 152	27 – 211
Ca/P		1,6 – 5,48	2,5
Besi (Fe)	mg	0,3 – 14,0	0,4 – 8,3
Potasium (K)	%	0,25 – 0,72	0,35 – 1,23
Magnesium (Mg)	%	0,03 – 0,08	0,12 – 0,42
Tembaga (Cu)	ppm	2,00 – 6,00	3,00 – 12,00
Seng (Zn)	ppm	14,00 – 41,00	71,00 – 249,00
Sodium (Na)	ppm	76,00 – 213,00	51,0 – 177,0
Manganese (Mn)	ppm	3,00 – 10,00	72,00 – 252,00

Sumber : ^aBradbury & Holloway (1988),

^bWoot-Tsuen *et al.* (1968),

^cLancaster *et al.* (1982)

Di samping kandungan gizi, ubi kayu juga memiliki kandungan yang membahayakan kesehatan manusia bahkan dapat menyebabkan kematian apabila terdapat dalam jumlah yang tinggi karena bersifat racun. Komponen tersebut adalah asam sianida (HCN) yang bisa terdapat pada umbi maupun daun. Asam sianida merupakan faktor yang membatasi konsumsi ubi kayu, (Emmanuel *et al.*, 2012).

UPAYA BIOFORTIFIKASI YANG TELAH DICAPAI PADA UBI KAYU

Biofortifikasi Ubikayu Kaya Vitamin A

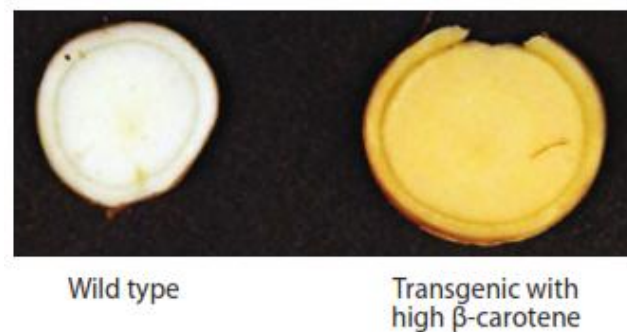
Upaya biofortifikasi ubikayu untuk vitamin A (kaya betakaroten) dipicu oleh adanya kenyataan bahwa masyarakat di daerah marginal yang banyak mengkonsumsi ubi kayu banyak yang menderita kekurangan vitamin A yang ditandai dengan banyaknya angka kebutaan pada anak-anak dan mengganggu kesehatan wanita hamil khususnya di negara-negara berkembang.

Kadar karoten total disebutkan memiliki heritabilitas tinggi, sehingga karakter tersebut digunakan oleh Ceballos *et al.*, (2013) untuk merakit varietas unggul ubi kayu kaya betakaroten melalui metode siklus cepat seleksi berulang (*rapid cycling recurrent selection*). Njoku *et al.*, (2015) memperoleh nilai heritabilitas tinggi untuk karakter kadar karoten total yaitu sebesar 0,73. Hasil penelitian Ceballos *et al.*, (2013) memperoleh kemajuan yang nyata pada kadar karotenoid total dan juga kadar betakaroten serta kadar bahan kering. Kadar betakaroten yang diperoleh lebih tinggi dengan kisaran antara 7,78 μg (pada awal seleksi) μg – 12,96 μg (pada akhir seleksi) dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilaporkan oleh Failla *et al.*, (2012) yaitu rata-rata memiliki kadar karoten sebesar 4,5 μg . Upaya tersebut telah berhasil meningkatkan kandungan beta-karoten (senyawa bakal vitamin A) sampai empat kali lipat (Ceballos *et al.*, 2013). Ceballos menunjukkan bahwa ubikayu dapat menjalani siklus pembiakan yang dipercepat. Terobosan tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan varietas ubikayu unggul lain seperti resisten terhadap penyakit tertentu (Sinar Tani, 2014).

Fregene *et al.*, (2010) melaporkan bahwa upaya meningkatkan kandungan β -karoten pada ubi kayu juga telah berhasil dilakukan dengan membentuk tanaman ubi kayu transgenik yang mengekspresikan gen *crtB* dan *DXS*. Tanaman ubi kayu transgenik tersebut memiliki kandungan β -karoten antara 30 – 60 $\mu\text{g/g}$ (basis kering) pada pengujian skala pot di rumah kaca, sedangkan pada tanaman kontrol hanya berkisar antara 1,5 – 2,5 $\mu\text{g/g}$ (basis kering). Pada pengujian di rumah kaca dengan ditanam di guludan, kadar β -karoten berkisar antara 30 – 45 $\mu\text{g/g}$ (basis kering), sedangkan pada pengujian di lapang berkisar antara 30 – 40 $\mu\text{g/g}$ (basis kering).

Skrining untuk menentukan genotip unggul yang memiliki kandungan β -karoten tinggi atau HCN rendah juga telah dilakukan dan dikombinasikan dengan induksi mutan menggunakan sinar gamma. Seleksi ini menghasilkan genotip ubi kayu yang mempunyai β -karoten tertinggi 0.392 mg/g. Dibandingkan dengan genotip asal Afrika misalnya 6044 yang kandungan β -karoten-nya kurang dari 0.005 mg/g berat kering, beberapa genotip Indonesia lebih tinggi hingga hampir 8 kali. Kandungan β -karoten pada genotip Tim-tim29 tergolong tertinggi yang dicirikan dengan warna kuning, mengindikasikan bahwa genotip ini berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pangan dan berpotensi digunakan sebagai tetua persilangan dengan genotip lain yang mempunyai karakter lain yang unggul

seperti hasil tinggi dan tahan terhadap tungau. Rekayasa genetika dapat meningkatkan kandungan karotenoid tersebut (Sudharmonowati *et al.*, 2015).

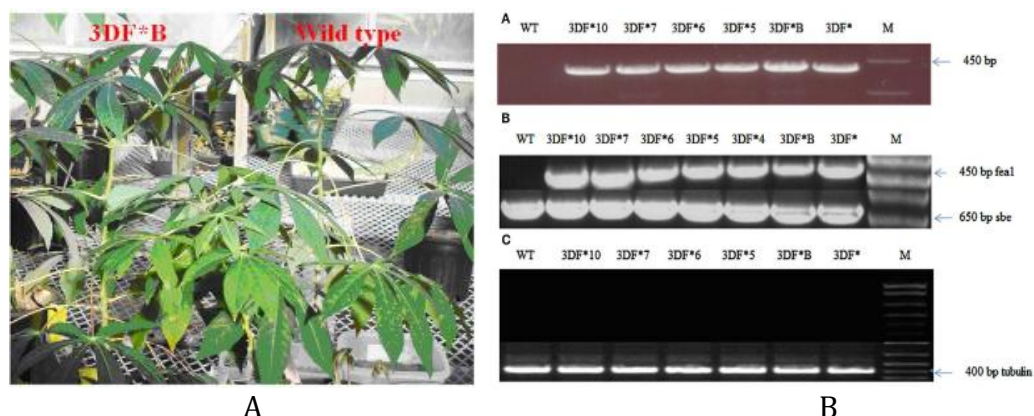


Gambar 1. Umbi dari Tanaman Ubikayu Kontrol (kiri) dan Transgenik yang Memiliki Kandungan β -karoten Tinggi (kanan)
Sumber: Solomon *et al.*, 2011.

Biofortifikasi Ubikayu Besi Tinggi

Upaya meningkatkan kandungan unsur besi (Fe) pada ubi kayu yang sangat dibutuhkan untuk mencegah penyakit anemia telah berhasil dilakukan melalui transformasi genetik. Kandungan unsur besi pada umbi ubi kayu meningkat dari 10 ppm menjadi 36 ppm pada tanaman ubi kayu transgenik dengan level unsur besi tertinggi. Level unsur besi ini cukup untuk memenuhi kebutuhan unsur Fe minimum harian dalam 500 g bahan pangan (Ihemere *et al.*, 2012).

Fregene *et al.*, (2010) juga melaporkan mengenai keberhasilan meningkatkan kandungan unsur besi pada umbi ubi kayu melalui metode transformasi genetik. Berdasarkan pengujian di rumah kaca dan pengujian lapang, diketahui bahwa kandungan unsur besi pada tanaman ubi kayu transgenik berkisar antara 30 – 40 $\mu\text{g/g}$ bahan kering, sedangkan pada tanaman kontrol hanya sekitar 10 $\mu\text{g/g}$ bahan kering.



Gambar 2. Perbandingan fenotipe tanaman ubi kayu transgenik kaya Fe umur 4 bulan (3DF*B) dan ubi kayu kontrol (Wild type) (Gambar 3A), dan hasil amplifikasi PCR, analisis ekspresi gen FEA1, serta analisis RT-PCR untuk ekspresi gen FEA1 pada daun tanaman transgenik dan kontrol (Gambar 3B). Sumber : Ihemere *et al.* 2012.

Biofortifikasi Ubikayu Zn Tinggi

Gaitan-Solis *et al.*, (2015) melaporkan hasil penelitian mengenai upaya meningkatkan kandungan Zn pada umbi ubi kayu melalui transformasi genetik. Kandungan seng pada tanaman transgenik berkisar antara 4 – 73 mg/kg (basis kering) dibandingkan dengan kontrol non-transgenik yang memiliki kandungan Zn 8 mg/kg. Perubahan mencolok pada seluruh fenotipe tanaman seperti ukuran tanaman lebih kecil dan daun klorosis teramati pada tanaman transgenik yang mengakumulasi Zn lebih tinggi. Dalam percobaan lapangan, lima tanaman transgenik tumbuh hingga umur 12 bulan dan menunjukkan kisaran konsentrasi seng 18 – 217 mg/kg (basis kering). Meskipun overekspresi dari Zn transporter berhasil meningkatkan konsentrasi seng sebesar 25% dari tanaman transgenik yang dihasilkan, namun juga mengakibatkan penurunan ukuran tanaman dan umbi.

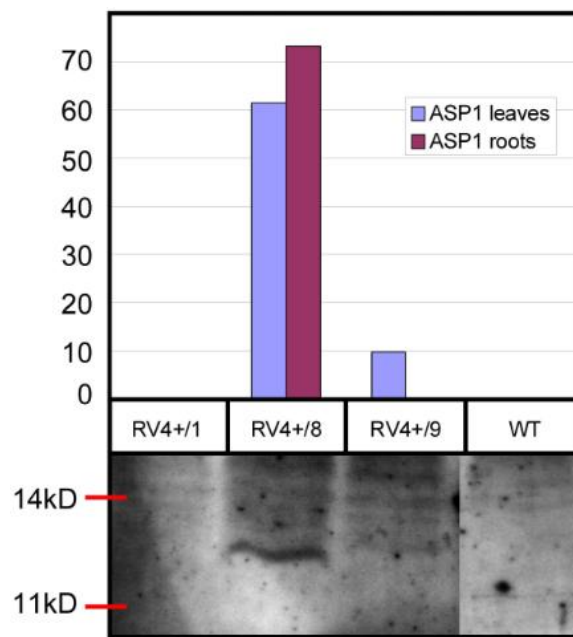


Gambar 3. Fenotipe tanaman di rumah kaca (A dan B), fenotipe tanaman di lapangan (C = tanaman kontrol, dan D = tanaman transgenik Zn tinggi), dan E adalah umbi dipanen umur sekitar 12 bulan.

Sumber : Gaitan-Solis *et al.*, 2015.

Biofortifikasi Ubikayu Protein Tinggi

Kandungan protein pada umbi ubi kayu rata-rata sekitar 1 – 2%. Stupak (2008) melaporkan upaya untuk meningkatkan kandungan protein pada ubi kayu juga telah berhasil dilakukan melalui transformasi genetik. Ubi kayu hasil transformasi meningkat kandungan protein totalnya menjadi 3,2 kali lipat dan meningkatkan asam amino tertentu menjadi 9,6 kali lipat. Demikian pula dengan Fregene *et al.*, (2010) menyatakan bahwa berdasarkan pengujian di rumah kaca dan pengujian lapang, kadar protein tanaman ubi kayu transgenik berkisar antara 9 – 11% basis kering. Tidak ada perubahan ekspresi gen selama sekitar 18 bulan pengamatan di lapang. Abhary *et al.*, (2011) juga melaporkan telah berhasil meningkatkan protein ubi kayu menjadi 12,5% (empat kali lipat dibandingkan dengan kontrol).



Gambar 4. Karakterisasi molekuler klon ubi kayu yang ditransformasi dengan Sporamin SS-ASP1-KDEL. Gambar bagian atas adalah kelimpahan transkrip ASP1 dari 3 klon yang berbeda menggunakan RT-PCR pada daun dan akar. Gambar bagian bawah adalah kelimpahan jumlah protein pada umbi yang masih muda.

Sumber : Stupak, (2008).

KESIMPULAN

Upaya biofortifikasi untuk meningkatkan nilai gizi pada ubi kayu sangat penting dilakukan karena ubi kayu merupakan bahan pangan pokok bagi penduduk Indonesia terutama yang tinggal di daerah marginal. Upaya biofortifikasi ubi kayu untuk meningkatkan kandungan β -karoten, unsur Fe, unsur Zn, dan protein telah berhasil dilakukan. Di Indonesia upaya tersebut juga telah dilakukan dan diharapkan masih terus dikembangkan karena ubi kayu merupakan bahan pangan yang memegang peranan penting dalam program ketahanan dan diversifikasi pangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhary, M., Dimuth Siritunga, Gene Stevens, Nigel J. Taylor, and Claude M. Fauquet. 2011. *Transgenic Biofortification of the Starchy Staple Cassava (Manihot esculenta) Generates a Novel Sink for Protein*. PLoS One. 2011; 6(1): e16256.
- Adenle, A.A., Ogugua C Aworh, Richard Akromah, and Govindan Parayil. 2012. *Developing GM super cassava for improved health and food security: future challenges in Africa*. Agriculture & Food Security 2012, 1:11. <http://www.agricultureandfoodsecurity.com/content/1/1/11>

- Anonim. 2014. Biofortification. <http://www.gmeducation.org/briefings/p149071-biofortification.html>. Diakses tanggal 27 Oktober 2014.
- Anonim. 2015. *World Hunger and Poverty Facts and Statistics*. <http://www.worldhunger.org/articles/Learn/world%20hunger%20facts%202002.htm>
- Awoyinka AF, Abegunde VO, and Adewusi SR. 1995. Nutrient content of young cassava leaves and assessment of their acceptance as a green vegetable in Nigeria. *Plant Foods Hum Nutr.* 1995 Jan;47(1):21-8.
- Bappenas. 2011. *Rencana aksi nasional pangan dan gizi 2011 – 2015*. ISBN 978-979-3764-68-9. 86p.
- Bafana, B. 2014. *Biofortification offers hope for Africa's malnourished, Raising the nutritional value of crops. African Renewal*. <http://www.un.org/africarenewal/magazine/august-2014/biofortification-offers-hope-africa%E2%80%99s-malnourished>. Diakses tanggal 7 oktober 2015.
- Bradbury, J.H. and W.D. Holloway. 1988. Chemistry of tropical root crops, significance for the nutrition and agriculture in the Pasific. *Australian Centre International Agriculture Research (ACIAR)* 6 : 1 – 20.
- Ceballos, H., N. Morante, T. Sánchez, D. Ortiz, I. Aragón, A.L. Chávez, M. Pizarro, F. Calle, and D. Dufour. 2013. Rapid Cycling Recurrent Selection for Increased Carotenoids Content in Cassava Roots. *Crop Science* Vol. 53 : 1 – 10 (2013).
- Emmanuel, O. A., Clement, A., Agnes, S. B., Drinah, B. N. Chiwona-Karlton, L. and Drinah, B.N. 2012. Chemical composition and cyanogenic potential of traditional and high yielding CMD resistant cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varieties. *International Food Research Journal* 19(1): 175-181 (2012).
- Failla, M.L., T. Huo, and S.K. Thakkar. 2008. In vitro screening of relative bioaccessibility of carotenoids from foods. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 17:200–203.
- Fessenden, M. 2014. *A Cassava Revolution Could Feed the World's Hungry International teams are working to bring the starchy root's genetics into the 21st century and help food-insecure countries* <http://www.scientificamerican.com/article/a-cassava-revolution-could-feed-the-worlds-hungry/>.
- Fregene, M., R. Sayre, C. Fauquet, P. Anderson, N. Taylor, E. Cahoon, D. Siritunga, and M. Manary. 2010. Opportunities for Biofortification of Cassava for Sub-Saharan Africa: The BioCassava Plus Program. p81-86. *Dalam Allan Eaglesham, Alan B. Bennett, and Ralph W.F. Hardy (Eds.) Overview of NABC 22: Promoting Health by Linking Agriculture, Food, and Nutrition.* 297p.

- Gaitan-Solis, E., N.J. Taylor, D. Siritunga, W. Steven, and D.P. Achachtman. 2015. Overexpression of the transporters AtZIP1 dan AtMTP1 in cassava changes zinc accumulation and partitioning. *Frontiers in Plant Science* Vol. 6 : 1 – 11.
- Hunger Notes. 2015. *World Hunger and Poverty Facts and Statistics*, World Hunger Education Service.
<http://www.worldhunger.org/articles/Learn/world%20hunger%20facts%202002.htm>. Diakses tanggal 7 Oktober 2015.
- Ihemere, UE., Narayanan N. Narayanan, and Richard T. Sayre. 2012. Iron biofortification and homeostasis in transgenic cassava roots expressing the algal iron assimilatory gene, FEA1. *Frontiers in Plant Science* Vol.3 : 1 – 22. doi: 10.3389/fpls.2012.00171.
- Lancaster, P.A., J.S., Ingram, M.Y. Kim, and D.G. Coursey. 1982. Traditional cassava-based foods: survey of processing techniques. *Econ. Bot.* 36: 12 – 45. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02858697>.
- Montagnac JA., CR. Davis, and SA. Tanumihardjo. 2009. Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. Vol. 8 (2009) : 181 – 194.
- Njoku, D.N., V.E. Gracen, S.K. Offei, I.K. Asante, C.N. Egesi, P. Kulakow, and H. Ceballos. 2015. Parent-offspring regression analysis for total carotenoids and some agronomic traits in cassava. *Euphytica*, publised online 17 Juni 2015. <http://link.springer.com/article/10.1007/s10681-015-1482-4#>.
- Okigbo BN. 1980. Nutritional implication of projects giving priority of the production of staples of low nutritive quality. In the case for cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in the humid tropics of West Africa. *Food Nutr Bull* vol. 2 : 1 – 10.
- Sinar Tani 2014. Cara cepat biofortifikasi ubi kayu.
[http://m.tabloidsinartani.com/index.php?id=148&tx_ttnews\[tt_news\]=569&cHash=2a4b2b451093cf93f7c662cf730d5243](http://m.tabloidsinartani.com/index.php?id=148&tx_ttnews[tt_news]=569&cHash=2a4b2b451093cf93f7c662cf730d5243)
- Solomon FS, Stevens RL, Taylor NJ, Siritunga D, Fregene M. 2011. Development of golden cassava with extended shelf life by metabolic engineering of the plastid isoprenoid pathway.
- Stupak, M. 2008. Improving protein content in cassava storage roots. Disertasi Universitas Karlsruhe, Germany. Tidak dipublikasikan. 95p.
- Tewe O.O. 2004. Cassava for livestock feed in sub-Saharan Africa. FAO 1255:1-64.

Welsch, Paul Chavarriaga, Jacobo Arango, Hernan Ceballos, Cornelia Ba, Joe Tohme, Bertha Salazar, and Peter Beyer. 2010. Provitamin A Accumulation in Cassava (*Manihot esculenta*) Roots Driven by a Single Nucleotide Polymorphism in a Phytoene Synthase Gene. *The Plant Cell*, Vol. 22: 3348–3356, October 2010, www.plantcell.org ã 2010 American Society of Plant Biologists.

WHO. 2002. Childhood and maternal undernutrition.
<http://www.who.int/whr/2002/chapter4/en/index3.html>. Diakses
tanggal 7 Oktober 2015.

Woot-Tsuen, W.L., F. Buson, and C. Jardin. 1968. *Food composition table for use in Africa*. FAO corporate document repository. Rome, Italy. Available online:
<http://www.fao.org/docrep/003/X6877E/X6877E00.HTM#TOC>.