

Keragaan Populasi Famili Halfsib Hasil Persilangan Ubi Jalar untuk Pengkayaan Mikronutrien

Offspring Performance of Halfsib Families in Sweet Potato Crossing for Micronutrient Enrichment

Sri Umi Lestari^{1*} dan Nur Basuki²

¹Fakultas Pertanian-Universitas Tribhuwana Tungadewi; Jl. Telaga Warna, Tlogomas, Malang

²Fakultas Pertanian Universitas Merdeka Pasuruan

*email: sriumi.lestari@yahoo.com

NASKAH DITERIMA 23 AGUSTUS 2017; DISETUJUI UNTUK DITERBITKAN 30 DESEMBER 2017

ABSTRAK

Hidden hunger menjadi masalah kesehatan utama bagi masyarakat dunia, terutama di negara-negara sedang berkembang. Ubi jalar merupakan salah satu tanaman pangan pokok yang dapat diperkaya kandungan mikronutrientnya melalui program biofortifikasi, untuk mengatasi hidden hunger tersebut. Penelitian bertujuan mengevaluasi keragaan keturunan yang berasal dari persilangan antara klon-klon berpotensi hasil tinggi dan klon-klon kaya mikronutrien. Dua ratus sembilan puluh tujuh genotipe tersebar pada delapan famili halfsib hasil persilangan dievaluasi bobot umbi dan brangkasannya, estimasi hasil/hektar, serta kandungan mikronutrientnya (Fe dan Zn). Rancangan acak kelompok augmented dengan delapan blok ulangan dilakukan untuk evaluasi keragaan genotipe-genotipe tersebut. Dalam setiap blok juga ditanam klon-klon induk sebagai kultivar kontrol. Hasil penelitian memperlihatkan keragaan kultivar yang diuji berbeda terhadap keragaan kultivar kontrol, maupun di antara kultivar uji sendiri. Hal ini memberi peluang mendapatkan genotipe terpilih berdasarkan kriteria seleksi bobot umbi dan kandungan mikronutrientnya. Diantara 297 genotipe yang dievaluasi diperoleh 140 genotipe yang mempunyai hasil umbi ≥ 0.5 kg/tanaman dan enam diantaranya mempunyai bobot umbi ≥ 1.5 kg/tanaman. Berdasarkan kriteria gabungan bobot umbi dan kandungan mikronutrien terseleksi enam genotipe dengan kisaran hasil umbi antara 0.598–1.631 kg/tanaman dan kandungan mikronutrien berkisar antara 95–618 mg Fe/kg umbi dan 10 – 12 mg Zn/kg umbi berdasar bobot kering umbi.

Kata kunci: Ubi jalar, persilangan, mikronutrien

ABSTRACT

Hidden hunger is a major health problem for the world populations, especially in developing countries. Sweet potato is one of the main staple crops to be enriched with micronutrient content through biofortification program, to overcome the hidden hunger. The study was to evaluate the offspring performance derived from the controlled crosses between the high yielding clones and rich-micronutrient content clones. A number of hybrid genotypes (297) distributed in eight families of halfsibs were evaluated, especially on weight of storage root and vines, estimated storage root and

vines yields per hectare, and its micronutrient content (Fe and Zn). Augmented randomized block design with eight replicates was applied for this trial. In each block, the parent clones was also planted as the control cultivars. The results showed that performance of the tested cultivars on all observed parameters was different to control cultivars, as well as among the tested cultivars. This allows to obtain a desired genotype based on the selection criteria of storage root weight/plant and its micronutrient content. Among the 297 genotypes evaluated, there were 140 genotypes having storage root yields ≥ 0.5 kg/plant and six of them had storage root weight of ≥ 1.5 kg/plant. Based on the storage root weight and micronutrient content six genotypes were selected, where the storage root weight ranged between 0.598 - 1.631 kg/plant and Fe and Zn content respectively ranged from 95 to 618 mg Fe/kg and 10-12 mg Zn/kg based on the basis of storage root dry weight.

Keywords: sweet potato, crossing, micronutrient

PENDAHULUAN

Ubi jalar kaya mikronutrien sangat diperlukan bagi upaya mengatasi *hidden hunger*. *Hidden hunger* merupakan istilah kekurangan mikronutrien atau gizi mikro, umumnya meliputi zat besi (Fe), seng (Zn), iodium (I), vitamin A, asam folat, dan beberapa jenis vitamin lainnya (Kennedy *et al.* 2003). Saat ini *hidden hunger* menjadi masalah kesehatan utama bagi masyarakat dunia, terutama di negara-negara sedang berkembang. Prevalensi penderita *hidden hunger* semakin meningkat, baik secara global maupun secara nasional (Sharma *et al.* 2016; Welch 2000; Harahap *et al.* 2015). Diperkirakan empat miliar orang telah menderita kekurangan zat besi, 2,7 miliar diantaranya beresiko kekurangan Zn, dan ratusan juta orang kekurangan satu atau lebih vitamin penting (WHO 2002; Hotz dan Brown 2004; UN-SCN 2004; McGuire 2015). Menurut Kennedy *et al.* (2003), defisiensi gizi mikro saat ini tidak hanya diderita penduduk yang kekurangan pangan, namun ditemukan pula pada masyarakat

yang suplai pangannya cukup. Dampak defisiensi gizi mikro sangat luas bagi kelangsungan hidup, tumbuh kembang dan kesehatan masyarakat, terutama pada wanita dan anak-anak balita (Bailey *et al.* 2015; Sharma *et al.* 2016).

Penyebab terjadinya defisiensi mikronutrien pada penduduk terutama yang berpenghasilan rendah dan miskin adalah rendahnya asupan Fe dan Zn yang diperoleh melalui bahan pangan pokok yang dominan dikonsumsi sehari-hari, terutama yang berasal dari bahan nabati (Welch 2002; Kennedy *et al.* 2003; Keatinge *et al.* 2010). Sebaliknya pada penduduk yang suplai pangannya cukup, terutama disebabkan oleh kebiasaan penduduk yang susunan menu pangannya kurang beragam, hanya berasal dari satu jenis tanaman pangan (Tulchinsky 2015).

Ubi jalar merupakan salah satu tanaman pangan pokok yang menjadi sasaran untuk diperkaya dengan kandungan mikronutrien melalui program biofortifikasi. Biofortifikasi tersebut telah dikumandangkan melalui Program *HarvestPlus* untuk mengatasi defisiensi unsur-unsur mineral esensial seperti Fe, Zn, dan provitamin A (Pfeiffer dan McClafferty 2007; Mayer *et al.* 2008). Program biofortifikasi dikembangkan dengan memanfaatkan kebiasaan penduduk miskin dan berpenghasilan rendah di negara-negara sedang berkembang yang mengkonsumsi bahan pangan pokok dalam jumlah besar, sehingga kandungan Fe, Zn dan provitamin A yang tinggi pada tanaman pangan pokok tersebut menjamin terjadinya peningkatan asupannya bagi penduduk (Stein 2007). Biofortifikasi juga merupakan program yang komplementer dengan program diversifikasi pangan, suplementasi, dan fortifikasi (White dan Broadley 2009). Saat ini *HarvestPlus* berfokus pada tiga mikronutrien yang diakui oleh Organisasi Kesehatan Dunia sebagai pembatas bagi kesehatan manusia, yakni Fe, Zn, dan vitamin A (Pfeiffer dan McClafferty 2007) yang perlu diperbaiki melalui program biofortifikasi.

Dalam program *HarvestPlus*, ubi jalar hanya diarahkan untuk diperkaya kandungan beta-karotennya, dimanfaatkan untuk mengatasi defisiensi vitamin A (Bouis *et al.* 2011), namun karena di

Indonesia tanaman ubi jalar termasuk tanaman lokal yang sangat penting untuk dikembangkan, maka melalui serangkaian penelitian biofortifikasi, tanaman ini perlu diperkaya dengan kandungan Fe dan Zn. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan mengevaluasi keragaan keturunan hasil persilangan antara klon-klon berpotensi hasil tinggi dan klon-klon kaya mikronutrien.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Universitas Brawijaya yang berlokasi di Desa Jatikerto, Kecamatan Kromengan, Kab. Malang, sejak Maret–Juli 2016. Tahapan penelitian ini menurut Gruneberg *et al.* (2010) termasuk pada tahapan penelitian *observational yield trial* yang mengevaluasi ribuan bibit (*seedling*) yang berasal dari *true seed*. Pada tahap ini dimungkinkan dilakukan percobaan tanpa ulangan dengan *augmented design* (Sharma 2006; Gruneberg *et al.* 2010).

Penelitian menggunakan 297 genotipe dari 422 genotipe keturunan hasil persilangan terkontrol antara empat induk yang mengandung kadar Fe dan Zn relatif tinggi dengan 10 kultivar lain yang mempunyai potensi hasil tinggi. Sejumlah genotipe tersebut dikelompokkan berdasarkan famili keturunan dari klon induk untuk pengkayaan kandungan Fe dan/atau Zn. Klon-klon induk tersebut meliputi BIS OP-61, Jago, Beta 2, dan Cangkuang hasil penelitian Lestari *et al.* (2013: Laporan hasil Penelitian Stranas) yang dipilih sebagai sumber gen untuk pengkayaan mikronutrien Fe dan Zn karena klon-klon tersebut memiliki kedua mikronutrien yang relatif tinggi dan bersifat stabil setelah melalui pengujian di dua lokasi yang berbeda. Dari ke empat klon tersebut dapat dibentuk 40 populasi *fullsib* dan 40 populasi *fullsib* resiproknya. Dari 40 famili populasi *fullsib* digabung dijadikan 4 famili *halfsib* berdasarkan ke-empat klon sebagai induk betina. Demikian juga untuk 40 famili *fullsib* resiproknya dikelompokkan menjadi 4 famili *halfsib* berdasarkan keempat klon sebagai induk jantan. Secara rinci masing-masing famili tersebut dengan masing-masing jumlah genotipe keturunannya yang dievaluasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah genotipe per famili induk hasil persilangan pengkayaan kandungan mikronutrien

Tetua betina	Jumlah keturunan	Tetua jantan	Jumlah keturunan
BIS OP-61	77	BIS OP-61	35
Cangkuang	27	Cangkuang	40
Jago	30	Jago	35
Beta 2	30	Beta 2	23

Genotipe-genotipe dari masing-masing famili tersebut di atas berasal dari biji hasil persilangan yang disemaikan pada kantong-kantong plastik yang telah diisi tanah sebanyak + 0,25 kg. Setiap kantong ditanami 1 biji. Sebelum ditanam, biji direndam dalam asam sulfat pekat selama 10-20 menit, kemudian dicuci dengan air yang mengalir sampai bersih. Setelah berumur 30 hari bibit tanaman di *transplanting* ke lahan percobaan sebagai kultivar uji. Dengan demikian kultivar uji yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 297 genotipe. Di samping 297 genotipe dari delapan famili halvesib yang digunakan (Tabel 1), juga ditanam klon-klon induk yang meliputi BIS OP-61, Cangkuang, Jago, dan Beta 2 sebagai kultivar kontrol atau kultivar standar. Klon-klon induk ini diperbanyak menggunakan stek +25 cm panjangnya, ditanam bersama-sama dengan kultivar uji di lahan percobaan.

Percobaan untuk evaluasi individu dilaksanakan tanpa ulangan, ditanam selama satu musim tanam, ditanam dalam baris tanaman tunggal. Jumlah baris per set persilangan menyesuaikan jumlah biji yang disemaikan dan berhasil berkecambah. Klon tetua juga ditanam dalam petak percobaan sebagai tanaman kontrol untuk setiap set pasangan persilangan. Jarak tanam dalam barisan dan antar barisan selebar satu meter. Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok *augmented* (Sharma 2006). Prinsip penggunaan rancangan ini membedakan antara kultivar uji dan kultivar kontrol. Kultivar uji terdiri dari banyak genotipe keturunan hasil persilangan, masing-masing genotipe ditanam sebagai individu tanaman tunggal; sebaliknya kultivar kontrol atau kultivar standar ditanam secara berulang. Kultivar kontrol yang ditanam secara berulang digunakan untuk mengestimasi pengaruh faktor lingkungan. Setiap famili kultivar uji ditanam dalam satu blok percobaan bersama-sama dengan semua kultivar kontrol. Dalam setiap blok jumlah stek kultivar kontrol yang ditanam masing-masing sebanyak delapan stek. Dengan demikian dalam penelitian ini terdapat delapan blok percobaan sesuai dengan jumlah famili halvesib yang dievaluasi dan blok percobaan sekaligus bertindak sebagai ulangan. Tanaman diamati secara individual dengan sifat yang diamati meliputi bobot segar umbi, bobot brangkasan, estimasi hasil umbi dan hasil brangkasan per hektar, kandungan Fe dan Zn pada umbi. Estimasi hasil umbi dan brangkasan per hektar dikerjakan berdasarkan asumsi jumlah populasi tanaman per hektar sebanyak 40 000 tanaman. Persiapan sampel dan analisis kandungan Fe dan Zn pada ubi jalar dilakukan berdasarkan metode yang diadaptasi dari Norbotten *et al.* (2000) dan

pengukurannya dilakukan menggunakan AAS serta dianalisis di Balittanah Bogor.

Data dianalisis menggunakan metode *rancangan acak kelompok augmented* (Sharma 2006) seperti disajikan pada Tabel 2. Pada metode ini, ulangan atau replikasi hanya dikerjakan pada kultivar kontrol, sedangkan kultivar uji hanya ditanam sebagai tanaman tunggal atau tidak diulang. Analisis kultivar kontrol dilakukan untuk memperkirakan pengaruh faktor lingkungan (σ_E^2), sedangkan evaluasi kultivar uji digunakan untuk mengestimasi varians fenotipik (σ^2_P). Langkah penghitungannya seperti tahapan di bawah ini:

$$\text{Menghitung pengaruh blok ke } j \text{ (} b_j \text{)} = \frac{1}{C} (Y_j - \sum \bar{Y}_{ij} - \sum \chi_{ij})$$

dimana C = jumlah kultivar standar (kontrol) yang diikuti dalam pengujian, dalam percobaan ini terdapat 4 kultivar kontrol

Y_j = jumlah nilai kultivar kontrol dan kultivar uji pada seluruh blok ke-j

$$\bar{Y}_{ij} = \text{rerata nilai kultivar kontrol}$$

χ_{ij} = jumlah nilai kultivar uji pada blok ke-j

Nilai penyesuaian (*adjusted value*) untuk kultivar uji = nilai fenotip (x_i)

$x_i = X_i - b_j$ dimana X_i nilai yang belum terkoreksi, dan b_j = pengaruh blok

Menghitung pengaruh rerata (m),

$$m = \frac{1}{e} (GT - (b-1)\bar{c} - \sum_1^b n_j b_j)$$

dimana n_j adalah jumlah kultivar uji pada blok ke-j dan b_j adalah pengaruh blok ke-j

Menghitung pengaruh kultivar kontrol ke-i (c_i),

$$c_i = \bar{c}_i - m$$

Menghitung nilai kultivar uji terkoreksi (*adjusted mean of test varieties*, V_i'') dan pengaruh genotip dengan rumus sebagai berikut:

Pengaruh nilai fenotip terkoreksi (V_i'') = $V_i - b_j$, V_i adalah nilai kultivar uji yang belum dikoreksi. Pengaruh nilai genotip = $V_i'' - m$, dimana m adalah pengaruh rerata. Data hasil perhitungan nilai fenotip dan genotip ini perlu ditabulasikan dalam melakukan analisis.

Tabel 2. Analisis ragam didasarkan pada rancangan acak kelompok augmented (Sharma 2006)

Sumber Variasi	df	Kuadrat tengah	F-hitung
Blok	b - 1	M1	M1/M6
Entries (E)	(c + v - 1)	M2	M2/M6
Kultivar kontrol (C)	c - 1	M3	M3/M6
Kultivar uji (V)	v - 1	M4	M4/M6
C × V	1	M5	M5/M6
Galat	(b - 1)(c - 1)	M6	
Total	N - 1	KK (%)	\bar{Y}

Catatan: N = bc + v; KK = koefisien keragaman; $KK s_G^2$ = koefisien keragaman genetik;

$$\text{Nilai KK (\%)} = \frac{\sqrt{M_6}}{\bar{Y}} \times 100\% ; \bar{Y} ; \bar{Y} = \text{nilai rerata}$$

Selanjutnya melakukan analisis ragam berdasarkan data kultivar uji dan kultivar kontrol yang telah dilakukan penyesuaian atau koreksi sesuai langkah (1) sampai dengan (4). Tahapan ini sesuai dengan prosedur Sharma (2006).

Jika ada perbedaan yang signifikan di antara kultivar yang diuji, genotipe terpilih (\bar{Y}_v) dibandingkan dengan rata-rata kultivar kontrol (\bar{Y}_c) ditambah dengan nilai BNT. Jika $\bar{Y}_v > (\bar{Y}_c + \text{BNT})$, berbeda nyata pada tingkat $\alpha = 0,05$ atau sangat nyata pada $\alpha = 0,01$ (Petersen, 1994). Nilai BNT untuk membedakan antar kultivar kontrol digunakan rumus = $t_{(\alpha,db\ galat)} \sqrt{\frac{2KTe}{b}}$; untuk membedakan antara kultivar uji digunakan rumus = $t_{(\alpha,db\ galat)} \sqrt{2KTe}$; untuk membedakan antara kultivar uji dan kultivar kontrol dalam satu blok digunakan rumus = $t_{(\alpha,db\ galat)} \sqrt{2KTe(1 + \frac{1}{c})}$; dan untuk membedakan antara nilai rerata varietas kontrol dengan rerata kultivar uji digunakan rumus = $t_{(\alpha,db\ galat)} \sqrt{KTe(1 + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{bc})}$ dimana t adalah nilai t-tabel pada nilai α dan nilai db galat, b = jumlah blok, c = jumlah kultivar kontrol dan N = bc + v.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keragaan Populasi Keturunan Hasil Persilangan

Hasil analisis ragam pada parameter pengamatan yang meliputi bobot umbi, bobot brangkas per tanaman, dan hasil estimasinya per hektar serta kandungan mikronutrien (Fe dan Zn) disajikan pada Tabel 3. Hasil analisis ragam ini dikerjakan hanya pada data genotipe-genotipe terpilih berdasarkan kriteria hasil umbi ≥ 0.5 kg/tanaman, tidak dikerjakan terhadap seluruh genotipe keturunan hasil persilangan. Pada kedua tabel tersebut terlihat bahwa terdapat perbedaan keragaan bobot umbi

dan brangkasannya serta hasil estimasinya per hektar maupun kandungan mikronutriennya di antara kultivar uji dengan kultivar kontrol satu sama lain (Tabel 3). Adanya perbedaan secara nyata di antara kultivar uji memungkinkan adanya pilihan terhadap genotipe-genotipe hibrida hasil persilangan terkontrol yang dikelompokkan dalam set famili halvesib berdasarkan induk (BIS OP-61, Cangkuang, Jago, dan Beta 2) masing-masing sebagai induk betina atau induk jantan. Keragaan dari masing-masing kultivar kontrol dan kultivar uji disajikan pada Tabel 4 dan 5.

Diantara kultivar kontrol juga terdapat perbedaan pada parameter bobot umbi, bobot brangkas, maupun hasil estimasinya ke ton per hektar (Tabel 4), namun tidak terdapat perbedaan kandungan Fe maupun kandungan Zn pada umbi di antara kultivar kontrol (Tabel 5). Demikian pula di antara kultivar-kultivar uji, yang berupa genotipe-genotipe hibrida keturunan hasil persilangan dari setiap famili (Tabel 4 dan 5) pada semua parameter pengamatan terdapat perbedaan yang sangat nyata.

Perbedaan keragaan genotipe-genotipe pada kultivar uji memberi peluang memilih genotipe-genotipe yang diinginkan berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini kriteria yang dipilih adalah potensi hasil tinggi berdasarkan bobot umbi ≥ 0.5 kg/tanaman dan kandungan mikronutrien tinggi berdasarkan kriteria yang ditetapkan oleh program *HarvestPlus* dalam program pengembangan ubi jalar *biofortified* (Bouis dan Welch, 2010), yakni $\geq 85 \mu\text{g Fe/g}$ dan $\geq 70 \mu\text{g Zn/g}$ berdasar bobot kering umbi. Satuan $\mu\text{g/g}$ sama dengan mg/kg . Berdasarkan kriteria tersebut maka dapat dipilih beberapa genotipe seperti disajikan pada Tabel 7.

Keragaan Potensi Hasil Umbi

Kisaran bobot umbi dari semua famili halvesib keturunan hasil persilangan yang disajikan pada Tabel 6 memperlihatkan adanya nilai nol (0 kg/tanaman). Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa tidak semua

Tabel 3. Analisis ragam keragaan bobot umbi dan bobot brangkasan serta hasil estimasinya per hektar pada kultivar uji terpilih berasal dari delapan famili halvesib hasil persilangan terkontrol

Sumber Variasi	db	Kuadrat tengah					
		Bobot umbi (kg/tanaman)	Estimasi hasil umbi t/ha	Bobot brangkasan (kg/tan)	Estimasi hasil brangkasan (t/ha)	Kandungan Fe umbi (mg/g)	Kandungan Zn umbi (mg/g)
Blok	7	0.151 **	241.185 **	0.179 **	285.868 **	16673.195 **	6.740 **
Entries	56	0.351 **	560.599 **	0.387 **	618.403 **	14339.590 **	3.664 **
Kultivar kontrol (C)	3	0.096 **	153.339 **	0.009 **	15.181 *	1465.281 ns	0.865 ns
Kultivar uji (V)	52	0.114 **	182.296 **	0.230 **	368.408 **	15245.233 **	3.372 **
C vs V	1	13.418 **	21454.153 **	9.642 **	15427.803 **	5869.075 *	27.258 *
Galat	21	0.003	5.918	0.002	3.377	1125.186	0.603
		0.791	31.632	0.605	24.214	154.141	6.447
KK (%)		7.23	7.69	7.59	7.59	21.76	12.04

Keterangan: * = berbeda nyata, ** = berbeda sangat nyata

Tabel 4. Keragaan bobot umbi, bobot brangkasan dan estimasinya hasil per hektar pada kultivar kontrol dan kultivar uji terpilih pada famili halvesib hasil persilangan terkontrol

Kultivar kontrol/uji	Bobot umbi (kg/tan)	Estimasi hasil umbi (t/ha)	Bobot brangkasan (kg/tan)	Estimasi hasil brangkasan (t/ha)
BIS OP-61	0,185 a	7,405 a	0,138 a	5,535 a
Cangkuang	0,178 a	7,130 a	0,099 a	3,950 a
Jago	0,414 c	16,550 c	0,173 b	6,935 b
Beta 2	0,263 b	10,530 b	0,169 b	6,755 b
Rerata kultivar kontrol	0,260	10,404	0,145	5,794
BNT ₁ 0,05	0,059	2,530	0,048	1,911
BNT ₁ 0,01	0,081	3,443	0,065	2,601
Fam HS BIS OP-61 ♀	1,224 c	48,947 c	0,627 a	25,093 a
Fam HS BIS OP-61 ♂	1,169 bc	46,770 bc	1,045 bc	41,790 bc
Fam HS Cangkuang ♀	1,207 c	48,275 c	0,975 b	39,000 b
Fam HS Cangkuang ♂	0,928 a	37,102 a	1,000 b	40,000 b
Fam HS Jago ♀	1,029 ab	41,160 ab	0,615 a	24,613 a
Fam HS jago ♂	0,914 a	36,567 a	0,680 a	27,180 a
Fam Beta 2 ♀	1,112 b	44,462 b	0,951 b	38,022 b
Fam HS Beta 2 ♂	1,325 c	53,016 c	1,143 c	45,736 c
Rerata kultivar uji	1,113	44,537	0,879	35,179
BNT ₂ 0,05	0,168	7,156	0,135	5,406
0,01	0,229	9,739	0,184	7,358
BNT ₃ 0,05	0,188	8,000	0,151	6,044
BNT ₃ 0,01	0,256	10,889	0,206	8,226
BNT ₄ 0,05	0,141	6,000	0,113	4,533
BNT ₄ 0,01	0,192	8,167	0,154	6,170

Keterangan: BNT₁ = pembeda antar kultivar control; BNT₂ = pembeda antar kultivar uji; BNT₃ = Pembeda antar entries dalam satu blok; BNT₄ = Pembeda antar kultivar uji dengan kultivar control; huruf yang berbeda pada kolom yang sama untuk masing-masing pada baris kultivar control dan kultivar uji berbeda satu sama lain

genotip keturunan persilangan dapat menghasilkan umbi, sehingga diperoleh nilai bobot umbi nol (0). Beberapa genotipe yang mempunyai bobot umbi nol (0 kg) tersebut disebabkan tanaman tidak

membentuk umbi, atau membentuk umbi tetapi berukuran kurang dari 50 g/umbi atau hanya membentuk umbi pensil. Dari nilai kisaran yang disajikan, kemudian setiap famili juga dipilah yang

Tabel 5. Keragaan kandungan Fe dan Zn pada kultivar kontrol dan kultivar uji terpilih pada famili *halfsib* hasil persilangan terkontrol

Kultivar kontrol/uji	Kandungan Fe umbi ($\mu\text{g Fe/g umbi}$)		Kandungan Zn umbi ($\mu\text{g Zn/g umbi}$)	
BIS OP-61	126,125	a	5,000	a
Cangkuang	99,875	a	5,625	a
Jago	101,375	a	5,125	a
Beta 2	96,750	a	5,625	a
Rerata kultivar kontrol	106,031		5	
BNT ₁ 0,05	34,886		0,807	
BNT ₁ 0,01	47,481		1,099	
Fam HS BIS OP-61 ♀	148,667	a	5,344	a
Fam HS BIS OP-61 ♂	412,750	c	6,000	b
Fam HS Cangkuang ♀	150,625	a	8,000	a
Fam HS Cangkuang ♂	148,667	a	6,250	a
Fam HS Jago ♀	162,667	a	6,222	a
Fam HS Jago ♂	145,667	a	6,333	b
Fam HS Beta 2 ♀	220,556	b	7,333	b
Fam HS Beta 2 ♂	166,000	a	9,000	b
Rerata kultivar uji	194,450		8,200	
BNT ₂ 0,05	98,671		2,284	
0,01	134,297		3,108	
BNT ₃ 0,05	110,318		2,553	
BNT ₃ 0,01	150,149		3,475	
BNT ₄ 0,05	82,738		1,915	
BNT ₄ 0,01	112,612		2,606	

Keterangan: BNT₁ = pembeda antar kultivar kontrol; BNT₂ = pembeda antar kultivar uji; BNT₃ = Pembeda antar entries dalam satu blok; BNT₄ = Pembeda antar kultivar uji dengan kultivar kontrol; huruf yang berbeda pada kolom yang sama untuk masing-masing pada baris kultivar kontrol dan kultivar uji berbeda satu sama lain

memenuhi kriteria bobot umbi ≥ 0.5 kg/tanaman, ≥ 0.75 kg/tanaman, ≥ 1.0 kg/tanaman atau ≥ 1.5 kg/tanaman. Kriteria tersebut dimaksudkan untuk memberi gambaran berapa banyak genotipe dapat dipilih berdasarkan masing-masing kriteria. Kriteria bobot umbi ≥ 0.5 kg/tanaman setara dengan hasil umbi 20 t/ha, ≥ 0.75 kg/tanaman setara 30 t/ha, ≥ 1.0 kg/tanaman setara 40 t/ha, atau ≥ 1.5 kg/tanaman setara 60 t/ha dengan asumsi jumlah populasi tanaman sebanyak 40 000 tanaman/ha.

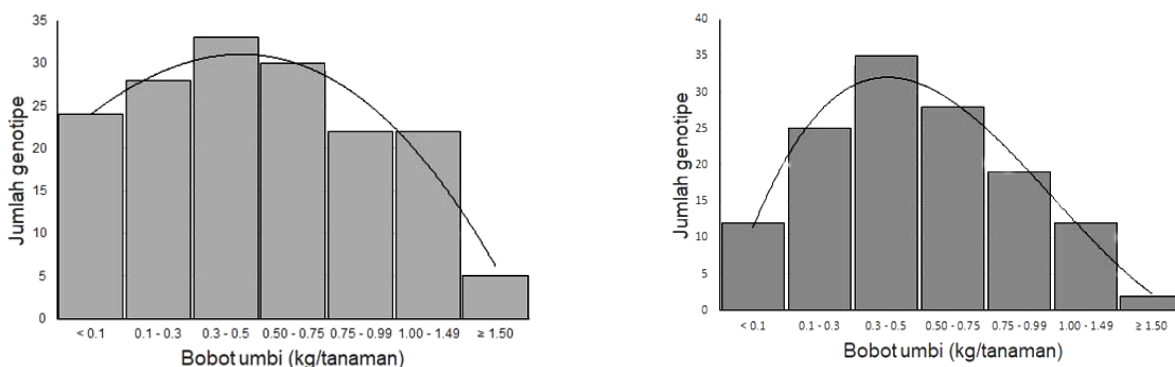
Distribusi frekuensi dari semua genotipe keturunan hasil persilangan terkontrol secara resiprokal dapat dilihat pada Gambar 1. Terlihat pada grafik sebelah kiri pada Gambar 1 tersebut merupakan populasi keturunan hasil persilangan dengan klon-klon kaya mikronutrien sebagai induk betina, sedangkan grafik yang sebelah kanan keturunan dari klon-klon yang sama sebagai induk jantan.

Keragaan potensi hasil umbi pada ke-4 famili *halfsib* keturunan hasil persilangan pada posisi sebagai induk betina (♀) berbeda secara relatif dari famili keturunan persilangan resiproknya (♂) (Tabel

6). Rata-rata dari famili keturunan induk betina dapat menghasilkan jumlah genotipe terpilih yang lebih banyak, baik pada kriteria bobot umbi $\geq 0,5$ kg/tanaman, $\geq 0,75$ kg/tanaman, $\geq 1,0$ kg/tanaman, maupun $\geq 1,5$ kg/tanaman, kecuali pada kultivar induk Jago, Perbedaan keragaan famili keturunan dari persilangan ke empat kultivar pada posisi sebagai induk betina atau induk jantan memperlihatkan adanya pengaruh induk betina. Hasil penelitian Lin *et al.* (2007) juga menemukan pengaruh induk betina pada penelitian ubi jalar untuk berbagai parameter hasil umbi dan kualitas kandungan nutrisinya (protein). Dengan demikian, pemilihan induk betina pada pemuliaan ubi jalar untuk hasil umbi maupun kualitasnya dapat secara efektif memperbaiki skema seleksinya. Hasil penelitian ini mendukung hasil penelitian Lin *et al.* (2007) tersebut, diperlihatkan pada parameter pengamatan yang disajikan pada Tabel 4 dan 5, pada rerata bobot umbi, bobot brangkas dan estimasinya dalam satuan hektar, maupun pada kandungan mikronutrien. Demikian juga pada penelitian Rukundo *et al.* (2017) pada parameter hasil umbi dan brangkas-

Tabel 6. Kisaran bobot umbi dan jumlah genotipe terseleksi dari delapan famili halvesib keturunan persilangan berdasarkan ukuran bobot umbi per tanaman

Famili halvesib	N	Kisaran bobot umbi (kg/tanaman)	Jumlah genotipe terpilih dengan kriteria bobot segar umbi			
			≥ 0,50 kg/tanaman	≥ 0,75 kg/tanaman	≥ 1,00 kg/tanaman	≥ 1,50 kg/tanaman
BIS OP-61 (♀)	77	0 – 1,619	34	18	11	1
BIS OP-61 (♂)	35	0 – 1,341	15	9	3	0
Cangkuang (♀)	27	0 – 1,908	15	7	2	1
Cangkuang (♂)	40	0 – 1,558	14	6	6	1
Jago (♀)	30	0 – 1,215	10	6	1	0
Jago (♂)	35	0 – 1,361	22	9	2	0
Beta 2 (♀)	30	0 – 1,632	20	14	8	2
Beta 2 (♂)	23	0 – 2,218	10	9	3	1



Gambar 1. Distribusi frekuensi dari 297 genotipe keturunan yang berasal dari persilangan terkontrol secara resiprokal antara 10 klon berpotensi hasil tinggi dengan empat klon kaya mikronutrien pada parameter bobot umbi per tanaman (kiri: keturunan kultivar kaya mikronutrien sebagai induk betina; kanan: keturunan kultivar kaya mikronutrien sebagai induk jantan)

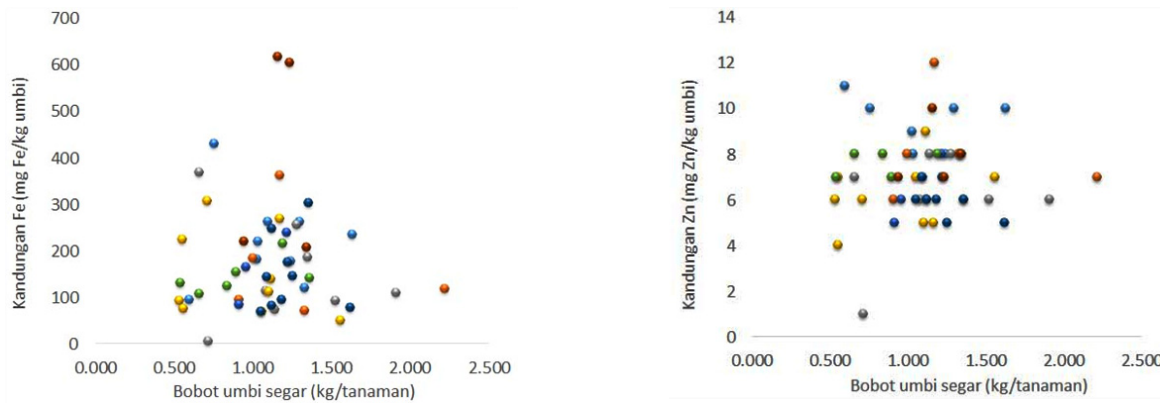
an ubi jalar serta warna kulit dan daging umbi maupun kadar bahan kering umbinya juga terdapat pengaruh induk betina. Adanya pengaruh induk betina membawa implikasi dalam penentuan skema seleksinya. Kultivar induk untuk sumber gen kaya mikronutrien sebaiknya diletakkan sebagai induk betina dalam persilangan terkontrol dan seleksi keturunannya hanya difokuskan pada keturunan dari induk betina saja. Implikasi lebih lanjut adalah penggunaan sistem persilangan polycross menjadi lebih efisien secara teknis dalam program biofortifikasi ubi jalar.

Dengan demikian, diantara 297 genotipe yang dievaluasi terdapat sejumlah genotipe pilihan, di mana sebanyak 140 genotipe mempunyai hasil umbi $\geq 0,5$ kg/tanaman dan enam genotipe diantaranya mempunyai bobot umbi $\geq 1,5$ kg/tanaman (≈ 60 t/ha). Keenam genotipe yang mempunyai bobot umbi $\geq 1,5$ kg/tanaman meliputi Cangkuang -♀-23, Cangkuang -♂-26, BIS OP61-♀-36, Beta 2-♀-29, Cangkuang -♀-8, dan Beta 2-♂-2. Dari keenam genotipe ini yang mana yang dapat

dipilih yang memenuhi kriteria tambahan kandungan mikronutrien tinggi, dijelaskan pada sub-bab selanjutnya.

Keragaan Hasil Umbi dan Kandungan Mikronutrien pada Keturunan Hasil Persilangan

Keragaan karakter gabungan hasil umbi dan kandungan mikronutrien (Fe dan Zn) pada genotipe-genotipe terpilih berdasarkan bobot umbi $\geq 0,5$ kg/tanaman dapat dilihat pada Gambar 2. Keragaan kandungan Fe mempunyai rentang yang lebar, berkisar antara 5–618 mg Fe/kg umbi dan kandungan Zn berkisar antara 1–12 mg Zn/kg umbi berdasarkan bobot kering umbi. Menurut Bouis dan Welch (2010) bahwa kriteria kandungan Fe dan Zn yang ditargetkan oleh *HarvestPlus* sebesar masing-masing ≥ 85 mg Fe dan ≥ 70 mg Zn per kg umbi berdasarkan bobot kering umbi. Dengan demikian berdasarkan kriteria gabungan bobot umbi $\geq 0,5$ kg/tanaman dan kriteria kandungan Fe dan Zn tinggi menurut Bouis dan Welch (2010) dapat diseleksi sejumlah



Gambar 2. Keragaan potensi hasil dan kandungan mikronutrien (Fe dan Zn) pada genotipe hasil persilangan terkontrol

genotipe, meskipun genotipe-genotipe yang terpilih masih belum memenuhi kedua kriteria untuk kandungan Fe dan kandungan Zn (Tabel 7). Genotipe-genotipe yang terpilih memiliki potensi hasil umbi ≥ 0.5 kg/tanaman (≈ 20 t/ha) dan kandungan Fe tinggi saja (≥ 85 mg Fe/kg umbi). Apabila kandungan Zn diturunkan kriterianya menjadi ≥ 10 mg Zn per kg umbi, maka masih dapat dipilih cukup banyak genotipe yang memenuhi kriteria.

Ketika kriteria hasil umbi dinaikkan menjadi ≥ 1.5 kg/tanaman (≈ 60 t/ha) dan kriteria kandungan Fe tetap (≥ 85 mg Fe/kg umbi), tetapi kriteria kandungan Zn diturunkan menjadi (≥ 10 mg Zn per kg umbi), maka masih dapat dipilih satu genotip kaya kaya mikronutrien Fe dan Zn, yakni genotipe Beta 2-♀-29. Berdasarkan pertimbangan praktis, maka genotipe yang dipilih yang memenuhi kriteria potensi hasil tinggi apabila hasil umbinya ≥ 0.5 kg/tanaman dan kriteria kandungan Fe (≥ 85 mg Fe/kg umbi) serta kriteria kandungan Zn ≥ 10 mg Zn per kg umbi, sehingga dapat dipilih 6 genotipe unggulan. Keenam genotipe terpilih tersebut adalah Beta 2-♀-15, Beta 2-♀-7, Beta 2-♀-29, Beta 2-♀-12, Beta 2-♂-22, dan BIS OP61-♂-8; masing-masing merupakan keturunan dari Beta 2 dan BIS OP-61. Empat kultivar pertama merupakan keturunan dari persilangan dengan Beta 2 sebagai induk betina; dua kultivar terakhir masing-masing merupakan keturunan dari persilangan dengan Beta 2 dan BIS OP-61 sebagai induk jantan. Beta 2 merupakan varietas yang mempunyai kandungan beta-karoten tinggi dan telah dilepas, sedangkan klon BIS OP-61 merupakan keturunan hasil persilangan terbuka dari BIS 214 yang merupakan klon introduksi dari Nigeria (Lestari 2006).

KESIMPULAN

Berdasarkan kriteria gabungan potensi hasil tinggi dan kandungan mikronutrien tinggi, maka di antara

297 genotipe keturunan hasil persilangan dapat dipilih enam genotipe, meliputi Beta 2-♀-15, Beta 2-♀-7, Beta 2-♀-29, Beta 2-♀-12, Beta 2-♂-22, dan BIS OP61-♂-8. Genotipe-genotipe yang terpilih tersebut hanya memenuhi potensi hasil umbi dan kandungan Fe tinggi saja, sedangkan kandungan Zn-nya masih rendah. Karakteristik ke enam genotipe yang dimaksud adalah kisaran hasil umbi antara 0,598 – 1,631 kg/tanaman dan kandungan Fe dan Zn-nya masing-masing berkisar antara 95–618 mg Fe/kg umbi dan 10–12 mg Zn/kg umbi berdasar bobot kering umbi. Pengaruh induk betina terlihat pada karakter hasil umbi dan brangkas maupun kandungan mikronutrien pada umbi, membawa implikasi dalam penentuan skema seleksinya. Kuitivar induk untuk sumber gen kaya mikronutrien sebaiknya diletakkan sebagai induk betina dalam persilangan terkontrol dan seleksi keturunannya hanya difokuskan pada keturunan dari induk betina saja. Implikasi lebih lanjut adalah penggunaan sistem persilangan polycross menjadi lebih efisien secara teknis dalam program biofortifikasi ubi jalar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DRPM-Kemenristek Dikti yang telah mendanai pelaksanaan penelitian ini melalui Program Kompetitif Hibah Penelitian Strategis Nasional Tahun 2015-2017. Hal serupa disampaikan kepada Balitkabi yang telah menyediakan beberapa varietas ubi jalar yang telah dilepas dan FP-UB yang memungkinkan penulis melaksanakan penelitian dan menyimpan koleksi klon-klon ubi jalar hasil penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, serta Balittanah yang telah membantu melakukan analisis kandungan Fe dan Zn untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bailey RL, West Jr KP, Black RE. 2015. The epidemiology of global micronutrient deficiencies. *Ann.Nutr.Metab.*66 (Suppl 2): S22-S33.
- Bouis HE, Hotz C, McClafferty B, Meenakshi JV, Pfeiffer WH. 2011. Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. *Food and nutrition bulletin* 32(1_suppl1): S31-S40.
- FAO/WHO. 2004. Human Vitamin and Mineral Requirements. Report of a Joint FAO/WHO expert consultation. Rome.
- Harahap R, Lubis Z, Ardiani F. 2015. Gambaran perilaku sadar gizi pada keluarga yang memiliki balita gizi kurang dan gizi buruk di wilayah kerja Puskesmas Desa Lalang. *Gizi, Kesehatan Reproduksi dan Epidemiologi* 1(4): 1-10.
- Hotz C, Brown K. 2004. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food Nutr Bull* 25 (Suppl): S96– S203.
- Keatinge JDH, Waliyar F, Jamnadas RH, Moustafa A, Andrade M, Drechsel P, Hughes J, Kadirvel P, Luther K. 2010. Relearning old lessons for the future of food%by bread alone no longer: diversifying diets with fruit and vegetables. *Crop Science* 50 (Supplement_1): S51-S62.
- Kennedy G, Nantel G, Shetty P. 2003. The scourge of “hidden hunger”: global dimensions of micronutrient deficiencies. *Food Nutrition and Agriculture* 32: 8-16.
- Lestari SU, Basuki N. 2015. Perakitan Ubijalar Kaya Besi dan Zinc untuk Diversifikasi Bahan Pangan dan Menurunkan Malnutrisi Gizi Mikro. Laporan Penelitian Stranas. Univ.Tribhuwana Tunggadewi. Malang.
- Lestari SU. 2006. Pembentukan populasi unit seleksi, pewarisan dan pengaruh musim pada protein umbi tanaman ubijalar. Disertasi. Program Pascasarjana-UB. Malang. 137p.
- Lestari SU, Basuki N. 2013. Pengembangan tanaman ubijalar kaya besi dan seng dalam rangka menurunkan malnutrisi gizi mikro. Laporan Hasil Penelitian Stranas. Univ.Tribhuwana Tunggadewi. Malang.
- Lestari SU, Basuki N. 2015. Perakitan Ubijalar Kaya Besi dan Zinc untuk Diversifikasi Bahan Pangan dan Menurunkan Malnutrisi Gizi Mikro. Laporan Penelitian Stranas. Univ.Tribhuwana Tunggadewi. Malang.
- Lin KH, Lai YC, Chang KY, Chen YF, Hwang SY, Lo HF. 2007. Improving breeding efficiency for quality and yield of sweet potato. *Botanical Studies* 48: 283-292.
- Mayer JE, Pfeiffer WH, Beyer P. 2008. Biofortified crops to alleviate micronutrient. *Current Opinion in Plant Biology* 11: 166-170.
- McGuire S. 2015. *The state of food insecurity in the world 2015: meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress*. FAO, IFAD, and WFP. Rome.
- Peterson CJ, Graybosch RA, Shelton DR and Banziger PS. 1998. Baking quality of hard winter wheat: response of cultivars to environment in the great plains. *Euphytica* 100: 157-162.
- Pfeiffer WH, McClafferty B. 2007. HarvestPlus: breeding crops for better nutrition. *Crop Science* 47 (Supplement_3): S88-S105.
- Rukundo P, Shimelis HM, Laing M, Gahakwa D. 2017. Combining ability, maternal effects, and heritability of drought tolerance, yield and yield components in sweetpotato. *Frontiers in Plant Science* 7: 1-14.
- Sharma JR. 2006. Statistical and biometrical techniques in plant breeding. Reprint. New Age International Ltd. Publishers, New Delhi.
- Sharma P, Dwivedi S, Singh D. 2016. Global poverty, hunger, and malnutrition: a situational analysis. In *Biofortification of Food Crops* (pp. 19-30). Springer India.
- Stein AJ. 2007. Cost-effectiveness of biofortification. In *Micronutrient Deficiencies: Can Agriculture Meet the Challenge?* FAO Regional Office for the Near East, Cairo: 11-13 December (<http://www.ajstein.de/presentation/SteinFAO2007.pdf>).
- Tulchinsky TH. 2015. The key role of government in addressing the pandemic of micronutrient deficiency conditions in Southeast Asia. *Nutrients* 7(4): 2518-2523.
- UN-SCN. 2004. 5th Report on the World Nutrition Situation. United Nations, Standing Committee on Nutrition, Geneva.
- Welch RM. 2000. Micronutrients, agriculture and nutrition: linkages for improved health and well being. USDA-ARS, US Plant, Soil and Nutrition Laboratory. Ithaca, New York.
- Welch RM. 2002. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant and Soil* 247: 83-90.
- White PJ, Broadley MR. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets—iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist* 182(1): 49-84.
- WHO. 2002. The world health report 2002 – reducing risks, promoting healthy life. World Health Organization, Geneva. Available at: <http://www.who.int/whr/2002/> (Last accessed on February 16, 2012).