

PEMANFAATAN SIFAT INKOMPATIBILITAS SEBAGAI SARANA PERBAIKAN GENETIK PADA UBIJALAR

Sri Umi Lestari¹⁾, Nur Basuki²⁾ dan Ricky Indri Hapsari¹⁾

¹⁾ FP-Univ. Tribhuwana Tunggaladewi, Malang

²⁾ FP-Univ. Merdeka Pasuruan

E-mail: sriumi.lestari@yahoo.com

Abstrak

Selama ini ada anggapan bahwa sifat inkompatibilitas pada ubijalar bersama-sama dengan tingkat fertilitas gamet yang rendah menjadi kendala dalam kegiatan perbaikan genetik ubijalar. Karena itu penelitian ini dilakukan, untuk mengetahui seberapa besar sifat inkompatibilitas dapat dimanfaatkan bagi kegiatan perbaikan genetik dan produksi biji dalam perakitan varietas ubijalar. Metode persilangan terkontrol, persilangan terbuka dan selfing dilakukan terhadap 10 varietas/klon ubijalar berdaya hasil tinggi (Cilembu, sari, Suku, 73-6/2, Boko, Sawentar, Kuningan Merah, Kuningan Putih, Beta 1 dan Beniazuma) dan 6 varietas/klon sebagai induk pembawa sifat kandungan besi/zinc (BIS OP-61, Papua Solossa, Jago, Beta 2, Cangkuang dan D67). Jumlah bunga disilangkan atau diselfing, jumlah kapsul terbentuk, % fruit set, jumlah biji dihasilkan dan jumlah biji/kapsul dijadikan parameter pengamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua varietas/klon yang dikaji sebagai induk persilangan mempunyai sifat inkompatibel sendiri secara penuh (100%). Enam varietas/klon untuk pengkayaan kandungan besi/zinc pada umbi, sebagian besar bersifat kompatibel terhadap 10 varietas/klon berdaya hasil tinggi, meskipun juga dijumpai beberapa pasangan menunjukkan sifat inkompatibel dan inkompatibel sebagian. Berdasarkan jumlah biji yang diperoleh dari ke-6 klon tersebut ada kecenderungan besar dapat menghasilkan jumlah biji lebih tinggi ketika diletakkan sebagai induk betina daripada sebagai induk jantan. Dari seluruh pasangan persilangan yang dibuat dapat dihasilkan cukup banyak biji, meliputi 3232 biji dari persilangan terkontrol dan 13693 biji hasil persilangan terbuka. Seluruh biji yang diperoleh merupakan hibrida yang dapat dijadikan populasi dasar untuk proses seleksi selanjutnya bagi keperluan perakitan varietas ubijalar yang diperkaya kandungan besi/zinc pada umbinya. Program ini diperuntukkan bagi upaya biofortifikasi besi/zinc melalui ubijalar.

Kata kunci: Inkompatibilitas, perbaikan genetik, ubijalar

Abstract

The incompatibility nature of sweet potato and limited fertility remains a barrier for the genetic improvement of the crop. Therefore, this study conducted to evaluate the nature of the incompatibility utilized for genetic improvement and seed production of sweet potato. Hand pollination, open-pollination and selfing conducted for 10 clones of high yielding sweet potato (namely: Cilembu, sari, Suku, 73-6/2, Boko, Sawentar, Kuningan Merah, Kuningan Putih, Beta 1 and Beniazuma) and 6 clones as a parent for high iron/zinc content (ie: BIS OP-61, Papua Solossa, Jago, Beta 2, Cangkuang and D67). The flowers number, capsules number, % fruit set, seeds number that produced and the number of seeds / capsule used as a parameter for evaluated. The results showed that all clones have full self-incompatible nature (100%). Six clones for iron/zinc content enrichment in sweet potato, is largely compatible to the 10 high yielding clones, although it is also found several pairs shows partially incompatible or full incompatible. Based on the number of seeds obtained from the 6 parent clones there is a relatively dominance can produce a higher number of seeds when placed as a female parent rather than as a male. Of all crossing pairs can be generated a lot of hybrid seeds, in the amount of 3232 seeds from hand-pollination and 13693 seeds from open-pollination. All of seeds will be used as a base population, for the next selection process in an improvement sweet potato program (biofortification).

Key words: Incompatibility, genetic improvement, sweet potato

Pendahuluan

Selama ini ada anggapan bahwa sifat inkompatibilitas pada ubijalar bersama-sama dengan tingkat fertilitas gamet yang rendah menjadi kendala dalam kegiatan perbaikan genetik ubijalar (Ahn *et al.*, 2002), karena inkompatibilitas dan fertilitas gamet yang rendah mengurangi kesempatan terjadinya rekombinasi antar gen. Kegiatan perbaikan genetik pada ubijalar ini melibatkan proses reproduksi seksual pada tanaman untuk melakukan rekombinasi genetik terhadap sifat-sifat yang diinginkan. Dari rekombinasi antar sifat yang diinginkan, yang seringkali tersebar pada beberapa klon, dapat diperoleh sejumlah besar genotipe baru (Martin dan Cabanillas, 1968).

Secara morfologis bunga ubijalar mudah disilangkan dan secara fisiologis mudah diisolasi dari kemungkinan persilangan sendiri karena adanya sifat inkompatibilitas sendiri, namun sering terjadi hanya mampu menghasilkan jumlah kapsul dan jumlah biji yang sangat sedikit. Disamping adanya sifat inkompatibilitas sendiri, inkompatibilitas silang juga dapat ditemukan pada tanaman ini, bisa bersifat searah maupun dua arah (Martin dan Cabanillas, 1968; Martin, 1982; Lestari, 2010). Inkompatibilitas sendiri pada ubijalar kadang-kadang dimanfaatkan untuk mempermudah perakitan hibrida (Sleper dan Poehlman, 2006). Pada tanaman yang perbanyakannya secara vegetatif, klon induk yang diinginkan adalah klon dengan sifat inkompatibel sendiri, tetapi kompatibel silang dengan klon-klon lain, sehingga dapat dihasilkan polycross secara acak (Saladaga, 1989; Aastveit dan Aastveit, 1990). Berdasarkan hal-hal tersebut maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengevaluasi kompatibilitas/inkompatibilitas klon-klon induk yang telah diidentifikasi oleh Lestari *et al.* (2013, 2014), yang dapat digunakan untuk pengkayaan kandungan besi/zinc terhadap beberapa varietas ubijalar berdaya hasil tinggi.

Metode Penelitian

Penelitian telah dilaksanakan pada Februari sampai dengan Agustus 2015, di Kebun Percobaan Universitas Brawijaya, yang berlokasi di Desa Jatikerto, Kecamatan Kromengan, Kabupaten Malang. Lokasi penelitian berada pada ketinggian ± 350 m dpl.

Bahan penelitian yang digunakan adalah 10 varietas/klon ubijalar yang mempunyai potensi hasil tinggi dan 6 varietas/klon yang mempunyai kandungan besi dan seng tinggi dari hasil evaluasi penelitian Lestari dan Basuki (2012; 2013). Varietas/klon yang mempunyai potensi hasil tinggi meliputi: Cilembu, Sari, Suku, 73-6/2, Boko, Sawentar, Kuningan Merah, Beta 1, Beniazuma, dan Kuningan Putih; sedangkan varietas/klon yang mempunyai kandungan besi/seng tinggi meliputi: BIS OP-61, Jago, Papua Solossa, Beta 2, D67, dan Cangkuang. Empat varietas/klon yang pertama

mempunyai kandungan besi tinggi (83–106 mg Fe/kg) dan 2 varietas/klon yang terakhir mempunyai kandungan Zn sebesar 6–12 mg Zn/kg berat kering (BK) umbi.

Persilangan yang dilakukan meliputi persilangan sendiri (*selfing*), persilangan terkontrol (*hand-pollination*) dan persilangan terbuka (*open-pollination*) secara acak (*polycross*). *Selfing* dilaksanakan dengan mengambil sampel bungan sebanyak 10 buah setiap plot dari 16 varietas/klon yang ditanam. Semua klon yang digunakan dalam penelitian diberi nomor urut seperti tercantum pada Gambar 1. Klon nomor 1 – 10 ada 6 plot; klon nomor 11-16 ada 10 plot. Masing-masing terdiri dari 10 tanaman/plot. Persilangan terkontrol dilakukan secara bolak-balik (*reciprocal*), sedangkan *polycross* terjadi secara alamiah dengan bantuan lebah atau angin. Teknik penyusunan plot agar terjadi *polycross* secara acak dilaksanakan sesuai Wilson et al. (1989), terdiri dari plot-plot baris ganda dengan pola sbb:

1 11	1 12	1 13	1 14	1 15	1 16	2 11	2 12	2 13	2 14
2 15	2 16	3 11	3 12	3 13	3 14	3 15	3 16	4 11	4 12
4 13	4 14	4 15	4 16	5 11	5 12	5 13	5 14	5 15	5 16
6 11	6 12	6 13	6 14	6 15	6 16	7 11	7 12	7 13	7 14
7 15	7 16	8 11	8 12	8 13	8 14	8 15	8 16	9 11	9 12
9 13	9 14	9 15	9 16	10 11	10 12	10 13	10 14	10 15	10 16

Catatan: 1 = Cilembu, 2 = Sari, 3 = Suku, 4 = 73-6/2, 5 = Boko, 6 = Sawentar, 7 = Kuningan Merah, 8 = Kuningan Putih, 9 = Beta 1, 10 = Beniazuma, 11 = BIS OP-61, 12 = Papua Solossa, 13 = Beta 2, 14 = D67, 15 = Cangkuang, 16 = Jago

Gambar 1. Lay-out plot-plot baris ganda untuk blok *polycross*

Setiap plot baris ganda berukuran 1.20 m x 2.5 m, ditanami 10 stek masing-masing baris, sehingga dalam setiap plot terdiri dari kombinasi antara dua klon/varietas. Untuk meningkatkan pembungaan, semua tanaman diberi lanjaran berukuran tinggi 2m. Diharapkan setiap pasangan persilangan *polycross* dalam setiap plot dapat diperoleh antara 20-40 biji per induk betina. Biji hasil persilangan *polycross* ini akan dievaluasi pada penelitian tahun kedua (2016). Parameter pengamatan yang diukur meliputi: (1) Jumlah bunga disilangkan, (2) Jumlah buah (kapsul) terbentuk, (3) Fruit set, (4) jumlah biji, dan (5) jumlah biji/buah. Untuk menentukan suatu kombinasi persilangan kompatibel atau inkompatibel digunakan klasifikasi Wang (1964), yaitu suatu kombinasi persilangan dikatakan kompatibel apabila dapat menghasilkan kapsul di atas 20%, imkompatibel sebagian apabila menghasilkan 10 – 20%, dan sangat inkompatibel sampai inkompatibel penuh apabila kapsul yang terbentuk lebih kecil dari 10%.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan jumlah bunga yang disilangkan, jumlah kapsul yang terbentuk, % fruit set, jumlah biji dan jumlah biji/kapsul dari semua persilangan yang dibuat disajikan pada Tabel 1,

2 dan 3. Data pada Tabel 1 memperlihatkan tentang keberadaan inkompatibilitas sendiri yang bersifat penuh pada ubijalar, karena dari 16 varietas/klon yang dievaluasi semuanya tidak menghasilkan kapsul atau % fruit set-nya nol. Pada tabel 2 diperlihatkan tentang kemampuan menghasilkan kapsul, biji dan %fruit set ketika klon induk yang bersangkutan diletakkan pada posisi induk jantan atau betina. Pada Tabel 3 diperlihatkan kemampuan setiap klon dalam menghasilkan bunga, kapsul, jumlah biji, % fruit set dan jumlah biji/kapsul dalam persilangan polycross.

Inkompatibilitas sendiri pada Ubijalar

Berdasarkan data Tabel 1, semua varietas/klon yang diselfing tidak menghasilkan kapsul sama sekali, ini menunjukkan 16 varietas/klon ubijalar bersifat inkompatibel sendiri secara penuh. Hasil penelitian ini mendukung pernyataan Nishiyama (1971) bahwa spesies *Ipomoea batatas*, *I. trifida*, dan *I. litoralis* bersifat *a highly self-incompatible*.

Tabel 1. Jumlah bunga, jumlah kapsul, % fruit-set, jumlah biji, dan jumlah biji/kapsul hasil selfing dari 16 varietas/klon ubijalar

No	Varietas/Klon	Jumlah Bunga	Jumlah Kapsul	% Fruit Set	Jumlah Biji	Jumlah Biji/Kapsul	Status
1.	Cilembu	60	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
2.	Sari	60	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
3.	Sukuh	60	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
4.	73-6/2	60	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
5.	Boko	60	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
6.	Sawentar	60	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
7.	Kuningan Merah	60	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
8.	Kuningan Putih	60	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
9.	Beta 1	60	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
10.	Beniazuma	60	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
11.	BIS OP-61	100	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
12.	Papua Solossa	100	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
13.	Beta 2	100	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
14.	D67	100	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
15.	Canguang	100	0	0	0	0	inkompatibel sendiri
16.	Jago	100	0	0	0	0	inkompatibel sendiri

Ket: klon no. 1 – 10 ada 6 plot; klon no. 11-16 ada 10 plot; @ 10 tanaman/plot; 10 bunga/plot

Lebih lanjut Nishiyama (1971) menyebutkan sebenarnya ada dua kelompok berdasarkan sifat kompatibilitas, pertama kelompok yang bersifat *self-compatible* dan kedua kelompok *self-incompatible*. Yang termasuk kelompok pertama adalah *I. lacunosa*, *I. triloba*, *I. trichocarpa*, *I. tiliacea* and *I. gracilis*, sedangkan kelompok kedua seperti telah disebutkan diatas. Keberadaan sifat inkompatibel sendiri secara penuh ini menguntungkan bagi kegiatan

pembuatan hibrida, karena tanpa perlu melakukan emaskulasi sebelum dilakukan persilangan. Kegiatan emaskulasi dimaksudkan untuk menghindari kontaminasi serbuk sarinya sendiri.

Kompatibilitas Silang dan Produksi Biji

Pernah dilaporkan oleh Lestari (2010) dan Vimala dan Hariprakash (2011) bahwa dijumpai sifat inkompatibilitas dan kompatibilitas pada beberapa varietas ubijalar yang digunakan dalam penelitian, bahkan beberapa pasangan tidak mampu menghasilkan biji yang viabel ketika dilakukan hibridisasi melalui penyerbukan silang maupun sendiri. Sejumlah varietas ubijalar yang digunakan dalam penelitian sekarang pun (Tabel 2) menunjukkan adanya sifat kompatibilitas dan inkompatibilitas diantara pasangan induk betina atau jantan dari enam varietas/klon pembawa gen kandungan Fe/Zn dengan 10 varietas/klon berdaya hasil tinggi. Sesuai klasifikasi Wang (1964), fruit set > 20% termasuk kelompok yang kompatibel, 10 – 20% termasuk kelompok inkompatibel sebagian dan < 10% termasuk inkompatibel silang penuh dan hasil klasifikasinya disajikan pada Tabel 2.

Diantara 6 varietas/klon pembawa gen kandungan Fe/Zn sebagai induk betina yang disilangkan dengan 10 varietas/klon berdaya hasil tinggi ternyata sebagian besar bersifat kompatibel (6 – 10 pasangan) dan hanya beberapa pasangan yang bersifat inkompatibel penuh ataupun sebagian (Tabel 2). Ketika ke enam klon yang sama dipasangkan sebagai induk jantan, jumlah pasangan yang bersifat kompatibel sebanyak 5 – 9 pasangan persilangan (Tabel 2). Tampak bahwa ada kecenderungan jumlah pasangan yang bersifat kompatibel lebih banyak ketika ke enam klon tersebut diletakkan pada posisi sebagai induk betina.

Dari pasangan persilangan yang bersifat kompatibel maupun yang inkompatibel sebagian dapat dihasilkan jumlah biji cukup banyak, yakni sebanyak 1705 biji dan 1527 biji masing-masing ketika keenam varietas/klon diletakkan sebagai induk betina dan induk jantan (Tabel 2). Jumlah total biji yang dapat diperoleh dari persilangan terkontrol ini mencapai 3232 biji yang diperoleh dari 360 tanaman yang berasal dari 16 varietas/klon ubijalar. Jumlah biji yang lebih besar lagi yang diperoleh dari persilangan terbuka dari ke enam belas varietas/klon ubijalar tersebut. Total biji yang berasal dari persilangan terbuka sebanyak 13693 biji (Tabel 3).

Jumlah kapsul dan fruit set dari keenam varietas/klon pembawa gen kandungan Fe/Zn relatif seimbang ketika diletakkan sebagai tetua betina atau tetua jantan, namun jumlah biji yang diperoleh relatif lebih banyak ketika sebagai tetua betina. Hal ini dapat terjadi, kemungkinan berkaitan dengan perbedaan viabilitas antara gamet betina dengan gamet jantan.

Tabel 2. Jumlah bunga, jumlah kapsul, % fruit-set, jumlah biji, dan jumlah biji/kapsul hasil persilangan terkontrol (*hand pollination*) dari 6 varietas/klon ubijalar pembawa sifat kandungan besi/zinc sebagai induk betina () atau induk jantan ()

Varietas/Klon	Jumlah kapsul		Jumlah Biji		Fruit set (%)		Jumlah biji/kapsul		Status kompattibel		Status Inkompattibel sebagian		Status inkompattibel	
BIS OP-61	286	276	395	399	56.19	75.82	1.38	1.45	10	8	0	1	0	1
Papua Sollosa	191	168	492	193	70.48	47.06	2.58	1.15	9	6	0	1	1	3
Jago	188	166	198	148	44.44	32.87	0.98	0.89	6	7	1	0	3	3
Beta 2	158	203	208	244	62.70	62.08	1.32	1.20	8	9	0	0	2	1
D67	172	249	202	432	41.95	42.42	1.17	1.73	8	7	0	1	2	2
Cangkuang	254	185	210	111	39.50	40.39	0.83	0.60	8	5	0	0	2	5
Rerata	208.17	207.83	284.17	254.50	52.54	50.11	1.38	1.17	8	7	0	1	2	3

Tabel 3. Jumlah bunga, jumlah kapsul, % fruit-set, jumlah biji, dan jumlah biji/kapsul hasil persilangan terbuka (*open-pollination*) pada 16 varietas/klon ubijalar

Varietas/Klon	Jumlah Bunga	Jumlah Buah	% fruit set	Jumlah biji	Jumlah biji/buah
Cilembu	350	184	52.57	349	1.90
Sari	200	52	26.00	54	1.04
Sukuh	50	17	34.00	28	1.65
73-6/2	600	370	61.67	212	0.57
Boko	1,400	926	66.14	1,174	1.27
Sawentar	750	478	63.73	619	1.29
Kuningan Merah	2,000	1059	52.95	1,242	1.17
Kuningan Putih	900	387	43.00	477	1.23
Beta 1	1,900	1104	58.11	1,006	0.91
Beniazuma	1,900	1248	65.68	1,680	1.35
BIS OP-61	2,100	1456	69.33	1,767	1.21
Papua Solossa	2,600	1823	70.12	2,544	1.40
Beta 2	1,500	493	32.87	463	0.94
D67	1,750	606	34.63	916	1.51
Cangkuang	1,300	864	66.46	665	0.77
Jago	1,100	556	50.55	497	0.89
Rerata	1,275	726	52.99	856	1.19
Jumlah	20,400	11,623		13,693	

Fakta yang memperlihatkan kemampuan suatu klon sebagai tetua betina yang mampu menghasilkan jumlah biji yang lebih tinggi menggambarkan adanya pengaruh tetua betina atau *maternal effect*. Keadaan ini dimungkinkan karena adanya perbedaan viabilitas antara polen dengan stigma. Perbedaan viabilitas antara polen dan stigma dapat terjadi sebagai akibat adanya gangguan pada kromosom selama proses meiosis ketika pembentukan gamet. Pada tanaman yang diploid, sel telur tetap viabel dan fungsional meskipun set kromosomnya menjadi $n+1$, $n+2$, dan $n+3$, sebaliknya untuk gamet jantan tetap fungsional apabila set kromosomnya dalam keadaan haploid (n) (Anonymous, 2003).

Pada ubijalar (tetraploid maupun heksaploid) terdapat sel-sel gamet (pollen atau sel telur) dengan jumlah kromosom $2n$ (*giant pollen grain*) yang mudah dibedakan dengan jumlah kromosom haploid. Pollen grain $2n$ bersifat viabel (Shiotani dan Kawase, 1987; Freyre et al., 1990; Lopez-Lavalle dan Orjeda, 2002).

Pada tanaman ubijalar, sebagian besar polennya ($> 50\%$) bersifat steril (Wang, 1964), karena tanaman ini termasuk jenis tanaman polyploid yang pada umumnya sering mengalami gangguan selama proses meiosis (Zhang et al., 2000; Wu et al., 2001; Comai et al., 2003). Hasil penelitian Zhang et al. (2000) menggunakan marker SSR (*simple-sequence repeat*) menunjukkan bahwa ubijalar yang banyak tersebar sekarang ini merupakan alloautohexaploid dengan dua macam genom yang non-homolog ($B_1B_1B_2B_2B_2B_2$). Pola pewarisannya bersifat tetra-disomic. Menurut Comai et al. (2003) bahwa kromosom-kromosom yang non-homolog pada allopolyploid tidak dapat berpasangan pada proses meiosis, sehingga allopolyploid memperlihatkan perpasangan kromosom yang menyerupai Diploid (*diploid-like pairing*). Ketidak-mampuan untuk berpasangan pada kromosom-kromosom non-homolog tersebut dikendalikan secara genetik oleh salah satu tetua dalam kombinasi persilangan.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian ini sebagai berikut:

1. Semua varietas/klon yang dikaji sebagai induk persilangan mempunyai sifat inkompatibel sendiri secara penuh (100%).
2. Enam varietas/klon untuk pengkayaan kandungan besi/zinc pada umbi, sebagian besar bersifat kompatibel terhadap 10 varietas/klon berdaya hasil tinggi, meskipun juga dijumpai beberapa pasangan menunjukkan sifat inkompatibel dan inkompatibel sebagian.
3. Berdasarkan jumlah biji yang diperoleh dari ke-6 klon tersebut ada kecenderungan besar dapat menghasilkan jumlah biji relatif lebih tinggi ketika diletakkan sebagai induk betina

daripada sebagai induk jantan. Dari seluruh pasangan persilangan yang dibuat dapat dihasilkan cukup banyak biji, meliputi 3232 biji dari persilangan terkontrol dan 13693 biji hasil persilangan terbuka.

Saran

Seluruh biji yang diperoleh merupakan hibrida yang dapat dijadikan populasi dasar untuk proses seleksi selanjutnya bagi keperluan perakitan varietas ubijalar yang diperkaya kandungan besi/zinc pada umbinya. Program ini diperuntukkan bagi upaya biofortifikasi besi/zinc melalui ubijalar.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Kemenristek-Dikti yang telah membiayai pelaksanaan penelitian ini melalui Program Hibah Penelitian Strategis Nasional TA 2015, Balitkabi yang telah menyediakan beberapa varietas ubijalar yang telah dilepas, dan Kebun Percobaan Universitas Brawijaya yang telah menyediakan tempat untuk pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Aastveit, A.H. and K. Aastveit. 1990. Theory and application of open-pollination and polycross in forage grass breeding. *Theor Appl Genet.* 79: 618-624.
- Ahn, Y.S., Min, K.S., Jeong, B.C., Chung, M.N., Lee, J.S., Oh, Y.H., Kuk, Y.I. (2002). Cross-Compatibility and Incompatibility of Korean Sweetpotato Varieties. *Korean Journal Breeding Science*, 34(3): 236-243.
- Anonymous. (2003). Changes in chromosome number. In *Introductory Cytogenetics*. http://www.umanitoba.ca/afs/plant_science/Courses?CYTO/120/120.4.html.
- Comai, L., A.P. Tyagi, and M.A. Lysak. (2003). FISH analysis of meiosis in Arabidopsis allopolyploids. *Chromosome Res.* 11:217-226.
- Freyre, R., M. Iwanaga, and G. Orjeda. 1991. Use of *Ipomoea trifida* (HBK.) G. Don germ plasm for sweet-potato improvement. 2. Fertility of synthetic hexaploids and triploids with $2n$ gametes of *I. trifida*, and their interspecific crossability with sweet potato. *Genome* Vo.34: 209-214.
- Lestari, S.U dan N. Basuki, 2013b. Variabilitas Kandungan Besi pada Beberapa Varietas Ubijalar di Indonesia. Seminar Nasional 3 in 1 Agronomi, Hortikultura dan Pemuliaan Tanaman di FP-UB, 21-22 Agustus 2013; ISBN 978-979-508-016-9; hal 342-348.
- Lestari, S.U dan N. Basuki, 2014. Stabilitas Kandungan Besi pada Klon/Varietas Ubijalar. Seminar Nasional Hasil Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian 2014, disajikan pada tgl 5 Juni 2014, di Balitkabi; ISBN 978-979-1159-65-4; hal 805-814.

- Lestari, S.U. 2010. Pengaruh Inkompatibilitas dan Sterilitas terhadap pembentukan Kapsul dan Biji Ubijalar. *Agrivita*, Vol. 32 No 1: 19-28.
- Lestari, S.U. dan N. Basuki. 2012. Pengembangan Tanaman Ubijalar Kaya Besi dan Sedalam Rangka Menurunkan Malnutrisi Gizi Mikro. Laporan Penelitian Strategis Nasional Tahun Pertama. Univ. Tribhuwana Tungadewi. Malang.
- Lestari, S.U. dan N. Basuki. 2013a. Pengembangan Tanaman Ubijalar Kaya Besi dan Sedalam Rangka Menurunkan Malnutrisi Gizi Mikro. Laporan Penelitian Strategis Nasional Tahun Kedua. Univ. Tribhuwana Tungadewi. Malang.
- Martin, F. W. and E. Cabanillas. 1968. Classification of sweetpotato varieties for incompatibility and sterility. *Proc Am Soc Hort Sci*. 93: 502-511.
- Martin, F.W. 1982. Analysis of the incompatibility and sterility of sweet potato. *In Sweet Potato (AVRDC)*. Ed.by. Villareal, R.L. and T.D. Griggs. Proc. First Intl. Symposium. P 275-283.
- Nishiyama, I. 1971. Evolution and domestication of the sweet potato. *Bot Mag*. 84: 377-387.
- Saladaga, F.A. 1989. The theoretical basis and practice of polycross as used in sweetpotato. In: Mackay, K.T., M.K. Palomar and R.T. Sanico (ed). *Sweetpotato Research and Development for Small Farmers*. 1st ed. SEAMEO SEARCA College, Laguna, the Philippines. p.83-98.
- Sleper, D.A. and J. M. Poehlman. 2006. *Breeding Field Crops*. Blackwell Publishing Professional, Iowa, USA.
- Wang, H. 1964. A study on self- and cross-incompatibilities in sweet potato in Taiwan (Formosa). *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci*. 84: 424-430.
- Wilson, J.E., F.S. Pole, N.E.J.M. Smitt, P. taufatofua, K.D. Rochers, C.I. Evensen, and D.O. Evans. 1989. *Sweet potato (Ipomoea batatas) breeding*. Agro-Facts. Crops, IRETA Pub. No. /89.
- Wu, R., M. Gallo-Meagher, R.C. Littell, and Z.B. Zeng. (2001). A general polyploid model for analyzing gene segregation in outcrossing tetraploid species. *Genetics* 159:869-882.
- Zhang, D.P., D. Carbajulca, L. Ojeda, G. Rossel, S. Milla, C. Herrera, and M. Ghislain. (2000). Microsatellite analysis of genetic diversity in sweetpotato varieties from Latin America. *CIP Program Report 1999-2000:295-301*.