

Pemuliaan Padi Gogo Adaptif pada Lahan Kering

Rice Improvement for Upland Areas

Aris Hairmansis, Yullianida, Supartopo, dan Suwarno

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi
Jl. Raya 9 Sukamandi, Subang, Jawa Barat, Indonesia
E-mail: aris-hairmansis@litbang.pertanian.go.id

Naskah diterima 16 Februari 2016, direvisi 25 November 2016, dan disetujui diterbitkan 1 Desember 2016

ABSTRACT

Upland area in Indonesia has a great potential for rice production. However, only a small portion of the potential upland area has been utilized for rice cultivation with very low productivity. The availability of new technologies in rice management is very important to increase rice production in this marginal area. Improved rice variety is among the most important technologies which has to be introduced to the farmers in upland areas. Upland rice breeding program aims to develop improved rice varieties which are tolerant to diverse abiotic stresses including soil acidity, nutrient deficiency, aluminium toxicity, drought, low light intensity and low temperature. Another important trait in upland rice breeding program is the resistance to blast disease which is the most devastating disease in humid upland area. The increase in genetic diversity of improved rice varieties to blast disease is the key to control the disease. A significant number of improved upland rice varieties have been developed through the breeding program in Indonesian Agency for Agricultural Research and Development. The future challenge in the development of upland rice is the delivery of the high-quality seeds of improved rice varieties to the farmers due to the lack of support from formal seed system in upland areas. Until now upland rice areas are still dominated by traditional varieties and modern varieties which are not developed for upland area but their seeds available in market. Community Based Seed System has been initiated to be implemented in upland area to overcome the problem. Through a strong support from breeding program and proper seed system it is expected the potency of upland rice in Indonesia could be maximized to support the sustainability of rice production in the country.

Keywords: Upland rice, breeding, abiotic stress, biotic stress, seed system.

ABSTRAK

Lahan kering di Indonesia potensial sebagai lumbung padi. Namun hingga saat ini baru sebagian kecil lahan kering yang telah dimanfaatkan untuk budi daya padi gogo dengan produktivitas masih di bawah padi sawah. Untuk meningkatkan produksi padi gogo dibutuhkan inovasi teknologi yang adaptif terhadap berbagai cekaman lingkungan pada lahan kering. Varietas unggul menjadi salah satu teknologi penting dalam sistem produksi padi pada lahan kering. Program pemuliaan padi gogo diarahkan untuk merakit varietas unggul yang toleran terhadap berbagai cekaman abiotik seperti kemasaman tanah, defisiensi hara, keracunan aluminium, kekeringan, intensitas cahaya rendah dan suhu rendah. Selain itu pemuliaan padi gogo juga diarahkan pada perbaikan ketahanan varietas terhadap penyakit blas. Peningkatan keragaman genetik varietas unggul dalam hal ketahanan terhadap blas menjadi kunci pengendalian penyakit penting tersebut. Sejumlah varietas unggul baru padi gogo yang adaptif terhadap berbagai cekaman lingkungan dan memiliki ketahanan terhadap blas yang beragam telah dihasilkan melalui program pemuliaan. Tantangan berikut yang harus dihadapi dalam pengembangan varietas unggul tersebut adalah ketersediaan benih bermutu di tingkat petani yang masih sangat rendah disebabkan minimnya dukungan sistem perbenihan formal. Hingga saat ini pertanaman padi gogo masih didominasi oleh varietas lokal dan varietas unggul bukan untuk lahan kering namun benihnya tersedia di pasar. Untuk memecahkan permasalahan tersebut telah diinisiasi pengembangan sistem perbenihan berbasis komunal. Dengan dukungan program pemuliaan dan sistem perbenihan yang kuat diharapkan potensi lahan kering dapat dimaksimalkan untuk mendukung keberlanjutan produksi beras nasional.

Kata kunci: Padi gogo, pemuliaan, cekaman abiotik, cekaman biotik, sistem perbenihan.

PENDAHULUAN

Padi gogo adalah padi yang dibudidayakan pada lahan kering. Produktivitas padi gogo pada tahun 2013 rata-rata 3,3 t/ha, di bawah produktivitas padi sawah yang mencapai 5,3 t/ha (Kementan 2014). Rendahnya hasil padi gogo disebabkan oleh masalah fisik dan biologis pada lahan kering. Masalah fisik yang umum dijumpai pada lahan kering antara lain kekeringan, kemasaman tanah, keracunan Al dan kesuburan tanah yang rendah (Fagi *et al.* 2004, Toha *et al.* 2009, Toha 2012, Rochayati dan Dariah 2012). Pada lahan kering dataran tinggi, suhu rendah menjadi faktor utama yang membatasi pengembangan padi gogo (Shrestha *et al.* 2012, Sipaseuth *et al.* 2007). Faktor penghambat biologis utama penanaman padi gogo adalah penyakit blas yang dapat menyebabkan penurunan hasil, bahkan dapat mengakibatkan puso (Santoso *et al.* 2007, Sudir *et al.* 2014).

Hingga saat ini pertanaman padi gogo masih didominasi oleh varietas lokal dengan produktivitas yang rendah (Suwarno *et al.* 2009, Wahyuni *et al.* 2006, Toha 2012). Padi gogo masih dibudidayakan secara subsisten dengan input rendah (Toha 2012). Berbagai inovasi teknologi padi gogo telah dikembangkan oleh Badan Litbang Pertanian, baik berupa varietas unggul maupun teknologi budi daya untuk meningkatkan produksi (Toha *et al.* 2008). Melalui program pemuliaan tanaman, telah dilepas sejumlah varietas unggul padi gogo untuk mengatasi berbagai masalah fisik dan biologis pada lahan kering. Kendati penggunaan varietas unggul potensial meningkatkan produktivitas padi gogo, tingkat adopsinya oleh petani masih rendah. Hal ini menjadi tantangan dalam pengembangan gogo. Makalah ini membahas potensi lahan kering untuk produksi padi, arah pemuliaan padi gogo, kemajuan yang telah dicapai, permasalahan yang dihadapi dan strategi pengembangannya ke depan.

POTENSI LAHAN KERING UNTUK PENGEMBANGAN PADI

Areal padi gogo tersebar di seluruh propinsi di Indonesia dan umumnya menempati lahan-lahan marginal. Total area padi gogo pada tahun 2014 sekitar 1,129 juta ha. Lima propinsi dengan panen padi gogo terluas adalah Jawa Timur, Jawa Barat, Kalimantan Barat, Jawa Tengah dan Nusa Tenggara Timur (Tabel 1). Sumarno dan Hidayat (2007) mengestimasi peluang penambahan luas areal padi gogo hingga menjadi 3,5 juta ha dengan memanfaatkan padang alang-alang di Sumatera dan hutan sekunder di Sulawesi dan NTB.

Berdasarkan ketersediaan air dan kesuburan tanahnya, terdapat empat tipe lahan kering yaitu: 1) lahan dengan musim pertanaman panjang (5-12 bulan) dan subur; 2) lahan dengan musim pertanaman panjang dan tidak subur; 3) lahan dengan musim pertanaman pendek (kurang dari 4 bulan) dan subur; 4) lahan dengan musim pertanaman pendek dan tidak subur (Fagi *et al.* 2004). Sebagian besar (92%) pertanaman padi gogo di Indonesia dibudidayakan di daerah dengan bulan basah yang panjang (5-12 bulan) (Fagi *et al.* 2004, Toha *et al.* 2009). Pertanaman padi gogo dapat dijumpai pada dataran rendah dan dataran tinggi (di atas 700 mdpl).

Selain sebagai tanaman utama dengan pola monokultur, padi gogo dapat dibudidayakan secara tumpang sari dengan tanaman perkebunan dan hutan tanaman industri (Toha *et al.* 2009). Padi ditanam di sela-sela tanaman perkebunan seperti kelapa sawit, kelapa dalam, karet, dan cokelat, dan hutan tanaman industri seperti jati, akasia dan meranti. Selain itu padi gogo juga potensial ditanam di sela-sela tanaman hortikultura tahunan seperti jeruk dan durian. Pada ekosistem tersebut padi gogo dapat ditanam di sela-sela tanaman utama sampai naungannya mencapai 50% (Sopandie *et al.* 2005). Toha *et al.* (2009) mengestimasi luas lahan perkebunan dan HTI yang potensial untuk pengembangan padi gogo mencapai 2 juta ha per tahun.

PERMASALAHAN BUDI DAYA PADI GOGO

Produktivitas padi gogo berkisar dari yang terendah 1.93 t/ha di Kalimantan Barat sampai tertinggi 4.48 t/ha di Jawa Barat (Tabel 1). Rendahnya produktivitas padi gogo disebabkan oleh masalah abiotik, biotik dan sosial ekonomi pada lahan kering. Masalah abiotik utama pada lahan kering antara lain kemasaman tanah dan keracunan aluminium, kesuburan tanah yang rendah, kekeringan, naungan dan suhu dingin. Masalah biotik utama pada pertanaman padi gogo adalah penyakit blas.

Defisiensi Hara, Kemasaman Tanah dan Keracunan Aluminium

Sekitar 80% areal lahan kering yang dimanfaatkan untuk produksi padi gogo tergolong tidak subur (Toha *et al.* 2009). Tingkat kesuburan tanah yang rendah ini antara lain disebabkan oleh reaksi fisiko-kimia yang berlangsung dalam kondisi aerobik dan oksidatif yang menyebabkan kemasaman tanah dan ketidaktersediaan unsur hara bagi tanaman (Fagi *et al.* 2004). Unsur hara yang sering tidak tersedia pada lahan kering adalah fosfor (P), besi (Fe), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan seng (Zn) (Doberman and Fairhurst 2000, Fagi *et al.* 2004).

Tabel 1. Luas panen dan produktivitas padi gogo per provinsi di Indonesia pada tahun 2012-2014.

Propinsi	2012		2013		2014	
	Luas panen (ha)	Produktivitas (t/ha)	Luas panen (ha)	Produktivitas (t/ha)	Luas panen (ha)	Produktivitas (t/ha)
Jawa Timur	137338	5,09	139205	4,75	138337	4,42
Jawa Barat	125844	4,12	131436	4,14	124934	4,48
Kalimantan Barat	107632	1,91	103972	1,88	95399	1,93
Jawa Tengah	74754	4,29	80207	4,21	83638	4,23
Nusa Tenggara Timur	63708	2,62	65352	2,24	74614	2,19
Sumatera Selatan	81015	2,69	81263	2,96	65307	2,51
Nusa Tenggara Barat	56688	3,78	55217	4,07	62108	3,42
Kalimantan Tengah	83054	2,24	77822	2,28	55979	2,30
Kalimantan Selatan	47518	3,14	46446	3,12	50836	3,12
Lampung	64630	2,98	53611	3,07	47981	3,12
Daerah Istimewa Yogyakarta	43567	4,79	44719	4,48	43236	4,64
Sumatera Utara	50792	3,21	45624	3,43	40594	3,46
Sulawesi Selatan	15871	3,89	31059	3,83	38263	3,09
Kalimantan Timur	49125	2,57	29285	2,78	28930	2,77
Banten	28768	3,34	37330	3,44	24764	3,33
Jambi	24926	3,02	23902	3,13	24268	3,19
Riau	26366	2,23	20722	2,23	20975	2,30
Sulawesi Utara	14378	2,42	13560	2,52	19503	2,61
Bengkulu	16317	1,91	11295	2,19	15417	2,16
Kalimantan Utara	0	0,00	14271	2,27	12100	2,38
Sumatera Barat	8893	3,23	8610	3,07	11694	2,82
Aceh	6374	2,47	7728	2,47	9547	2,51
Maluku Utara	4153	2,31	4421	2,64	6881	2,71
Sulawesi Tenggara	9986	2,88	10243	3,14	6858	3,15
Sulawesi Tengah	7171	2,57	6898	2,94	5959	2,62
Sulawesi Barat	7191	2,91	6841	1,91	5921	3,31
Kepulauan Bangka Belitung	3730	1,81	4203	1,87	5521	1,98
Gorontalo	38	3,16	2029	2,80	4699	2,36
Papua	1198	3,25	2773	3,20	3612	3,36
Maluku	1477	2,45	1929	2,61	1182	3,09
Papua Barat	1158	2,72	729	2,63	592	2,64
Bali	653	2,07	547	2,03	221	2,24
Kepulauan Riau	5	2,20	0	-	0	-
Total	1164318		1163249		1129870	

Sumber: Pusat Data dan Informasi Pertanian, <https://aplikasi.pertanian.go.id/bdsp/newdata.asp>

Di antara hara penting yang tidak tersedia pada lahan kering adalah P. Defisiensi P dapat mengganggu pertumbuhan dan hasil tanaman padi (Doberman and Fairhurst 2000, Ismail *et al.* 2007, Vinod and Heuer 2012). Kekurangan hara P menjadi masalah serius karena merupakan unsur hara esensial dan berperan penting dalam penyimpanan dan transfer energi serta pemeliharaan integritas membran tanaman. Tanaman kekurangan P tumbuh kerdil dengan warna daun hijau tua, perkembangan akar tertekan, dan jumlah anakan sedikit (Doberman and Fairhurst 2000).

Masalah utama lain yang terjadi pada lahan kering adalah kemasaman tanah yang tinggi, yang disebabkan oleh tercucinya basa-basa tanah akibat curah hujan yang

tinggi (Rochayati dan Dariah 2012). Tingkat kemasaman beragam antartipe tanah. Tanah Podsolik Merah Kuning (PMK) bereaksi masam dan memiliki tingkat keracunan aluminium tinggi yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman padi (Kochian *et al.* 2004). Keracunan aluminium terjadi jika kejenuhan Al lebih dari 30%, pH tanah kurang dari 5,0 dan kandungan Al di tanah lebih dari 1-2 mg Al/l (Doberman and Fairhurst 2000). Gejala umum yang ditunjukkan oleh tanaman yang mengalami keracunan aluminium adalah terhambatnya pertumbuhan akar, klorosis pada helaian daun sehingga daun menjadi berwarna oranye kekuningan, dan tanaman tumbuh kerdil (Doberman and Fairhurst 2000).

Kekeringan

Kekeringan menjadi masalah utama budi daya padi gogo di wilayah dengan periode musim hujan yang pendek. Di Indonesia luas lahan kering tipe tersebut sekitar 8% dari keseluruhan lahan kering (Fagi *et al.* 2004). Meskipun luas areal padi gogo yang rawan kekeringan tidak terlalu besar, namun ke depan diperkirakan semakin meluas akibat perubahan iklim global (Sutrisno *et al.* 2012). Fenomena El Nino yang semakin sering terjadi yang berdampak terhadap kekeringan (Irawan 2013).

Stres kekeringan merupakan masalah yang sangat kompleks dan pengaruhnya berbeda antarstadia tanaman, antarmusim, dan antarlokasi (Li and Xu 2007). Cekaman kekeringan pada fase reproduktif seperti saat primordia, pembungaan, dan pengisian gabah berpengaruh lebih besar terhadap penurunan hasil padi.

Suhu rendah

Cekaman suhu rendah menjadi masalah utama dalam pengembangan padi gogo di dataran tinggi (Shrestha *et al.* 2012, Sipaseuth *et al.* 2007). Diperkirakan terdapat sekitar 2,07 juta ha lahan kering di dataran tinggi (Abdulrachman *et al.* 2008) yang potensial untuk pengembangan tanaman pangan. Temperatur udara yang terlalu rendah pada fase vegetatif dapat mengganggu pertumbuhan padi (Andaya and Mackill 2003) dan pada fase reproduktif dapat menyebabkan kegagalan pengisian gabah atau sterilitas (Shimono *et al.* 2007, Ye *et al.* 2010).

Intensitas cahaya rendah

Masalah naungan atau intensitas cahaya yang rendah menjadi pembatas utama dalam budi daya padi gogo sebagai tanaman sela di antara tanaman tahunan. Intensitas cahaya yang rendah dapat mengganggu proses metabolisme tanaman, menurunkan laju fotosintesis dan biomas tanaman (Sopandie *et al.* 2003, Qi-Hua *et al.* 2014, Wang *et al.* 2015). Selain menurunkan hasil gabah, intensitas cahaya rendah diduga dapat menurunkan mutu gabah seperti meningkatkan butir berkapur pada beras (Qi-Hua *et al.* 2014).

Penyakit blas

Penyakit blas yang disebabkan oleh jamur *Pyricularia grisea* menjadi masalah biotik utama dalam pengembangan padi gogo khususnya pada lahan kering dengan periode musim pertanaman yang panjang. Penyakit ini dapat merusak tanaman pada semua stadia tumbuh tanaman, mulai dari fase bibit, vegetatif sampai fase reproduktif (Sudir *et al.* 2014). Pada fase vegetatif, penyakit blas umumnya

menginfeksi bagian daun yang disebut blas daun, sedangkan pada fase reproduktif menginfeksi bagian pangkal malai yang disebut blas leher. Kerugian akibat penyakit blas bervariasi dari ringan hingga gagal panen atau puso, bergantung pada virulensi patogen, varietas yang ditanam, dan karakteristik lingkungan, khususnya kelembaban udara. Patogen blas memiliki banyak varian ras dan sangat dinamis serta mudah beradaptasi pada lingkungan tumbuh yang baru. Akibatnya, varietas padi yang semua tahan blas menjadi patah ketahanannya dalam beberapa musim tanam (Suwarno *et al.* 2001b, Santoso *et al.* 2007, Cruz *et al.* 2009, Sudir *et al.* 2014).

PEMULIAAN PADI GOGO

Kompleksitas permasalahan abiotik dan biotik yang menghambat peningkatan produksi padi gogo dapat diatasi dengan teknologi budi daya yang tepat. Penggunaan varietas unggul yang adaptif pada lahan kering merupakan teknologi utama yang menentukan keberhasilan budi daya padi gogo. Untuk mendapatkan varietas unggul padi gogo yang adaptif terhadap cekaman abiotik dan biotik pada lahan kering dibutuhkan sumber gen dengan sifat-sifat penting, seperti toleransi terhadap cekaman lingkungan, sifat unggul agronomi dan sifat unggul mutu beras. Sumber-sumber sifat penting tersebut dikombinasikan melalui teknik pemuliaan tanaman, diseleksi, dan dievaluasi sehingga menjadi varietas unggul baru.

Sumber Sifat Penting untuk Perbaikan Padi Gogo

Beragam sumber genetik digunakan dalam upaya perbaikan padi gogo. Sifat-sifat penting seperti toleransi terhadap cekaman abiotik dan biotik, sifat agronomi dan mutu beras, sebagian besar dapat diperoleh dari gene pool padi *Oryza sativa* yang dapat berupa varietas lokal, galur elit, varietas unggul, dan galur introduksi (Tabel 2). Dengan pemanfaatan bioteknologi, sifat-sifat penting tersebut juga dapat diperoleh dari kerabat liar padi dan bahkan dari luar gene pool padi.

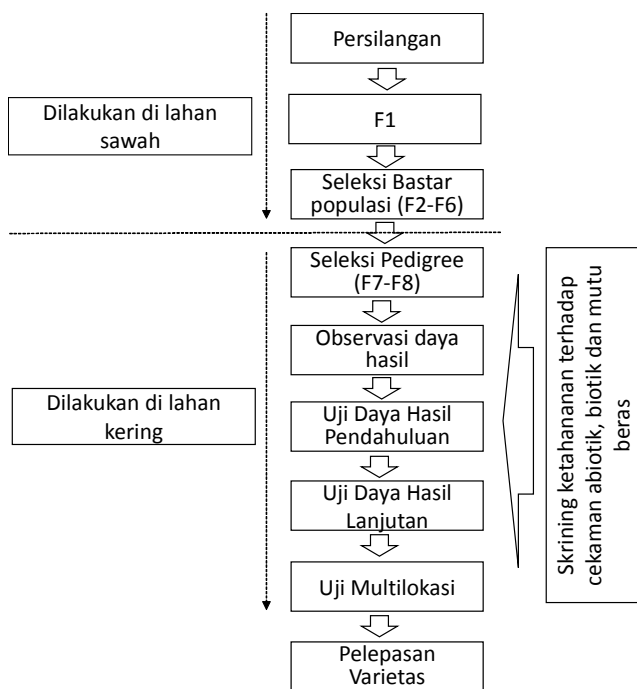
Metode Pemuliaan Padi Gogo

Pemuliaan padi gogo dilakukan secara konvensional dan bantuan bioteknologi seperti penanda molekuler (Prasetyono *et al.* 2008, Mulyaningsih *et al.* 2010a), penggunaan haploid ganda (Herawati *et al.* 2009) dan rekayasa genetika (Mulyaningsih *et al.* 2010b). Selain itu, teknik mutasi juga berpeluang digunakan untuk perbaikan sifat padi gogo (Lestari *et al.* 2010, Benny 2016). Perakitan varietas padi gogo umumnya diawali dengan persilangan untuk menggabungkan sifat-sifat penting ke dalam satu populasi. Populasi tersebut selanjutnya

Tabel 2. Sifat penting sumber genetik padi gogo.

Sifat penting	Sumber genetik
Toleran kekeringan	Salumpikit, Inpago LIPIGO 1, Inpago LIPIGO 2, Inpago LIPIGO 4, B11593F-MR-48, Ramces, Selegreng, Dular, Gajah Mungkur, Tarajo, Kainat. NERICA 4
Toleran keracunan AI	IR60080-23, ITA131, B11923F-MR-35-5, B11604E-TB-2-10-10, B12154D-MR-22-8, B12838E-TB-9-11, B11423G-MR-1, B12497E-MR-45, Batutegi, Danau Gaung, Grogol
Toleran naungan	B11604E-MR-2-4, B12165D-MR-8-6, B12151D-MR-53, Jatiluhur, C22, Seratus Malam, IR26
Toleran suhu rendah	Sigambiri Merah, Sigambiri Putih, Srintil, Padi Mandailing, Sarinah
Tahan blas	Klemas, Asahan, Gampai, Cenggong, Progol, IRBLkp-K60-IRBLta2-Re, IRBLz5-R, IRBLi-F5, IRBLkh-K3
Mutu beras baik	HSPR, Basmati, Siam Mutiara, Siam Rukut, Siam Saba
Aromatik	Sintanur, Pandawangi, Mentik Wangi
Ketan	Lusi, Ciasem, TDK 1-Sub1-MR-1-2
Beras merah	Inpago 7, Inpari 24 Gabusan
Potensi hasil tinggi	Batutegi, Inpago 4, Inpago 8, Memberamo, Cimelati, Fatmawati, Gilirang,
Vigor	Ciherang, Mekongga, Logawa

Sumber: Hairmansis et al. (2015c)



Gambar 1. Proses pemuliaan padi gogo mulai dari persilangan hingga pelepasan varietas.

diseleksi, dievaluasi, dan diuji daya adaptasinya hingga diperoleh galur harapan yang siap diusulkan untuk dilepas menjadi varietas unggul (Gambar 1).

Perbaikan Beberapa Sifat Penting Padi Gogo

Permasalahan yang terjadi pada lahan kering bersifat spesifik dan berbeda dengan lahan sawah, antara lain penyakit blas, keracunan AI, dan kekeringan. Penyakit blas menjadi masalah utama pada padi gogo karena cendawan penyebab penyakit ini sangat dinamis dan

dapat berubah dalam waktu cepat. Sejumlah gen ketahanan terhadap blas telah teridentifikasi dan galur-galur monogenik yang membawa gen ketahanan terhadap blas telah dikembangkan sebagai varietas diferensial (Tsunematsu et al. 2000, Telebanco-Yanoria et al. 2008). Sejumlah varietas lokal Indonesia juga diketahui dapat menjadi sumber penting ketahanan terhadap blas (Amir et al. 2001).

Masalah utama dalam perakitan varietas gogo adalah ketahanannya yang cepat patah terhadap penyakit blas, hanya dalam beberapa musim tanam (Suwarno et al. 2009). Oleh karenanya perbaikan ketahanan padi terhadap blas perlu menggunakan lebih beragam sumber genetik. Untuk gen-gen yang telah terkarakterisasi, introduksi gen baru dapat dirakit secara efisien menggunakan metode silang balik dengan bantuan marka molekuler (Suwarno et al. 2001a, Divya et al. 2014). Kombinasi beberapa gen ketahanan dalam satu varietas (*gene pyramiding*) berpeluang meningkatkan durabilitas ketahanan padi terhadap blas (Koide et al. 2010). Suwarno et al. (2009) mengajukan konsep paket varietas dalam pengendalian penyakit blas. Paket varietas padi gogo tersebut terdiri atas beberapa varietas dengan pola ketahanan terhadap blas yang beragam untuk ditanam di suatu kawasan guna mengantisipasi perubahan ras blas.

Perbaikan toleransi terhadap keracunan AI menjadi salah satu prioritas dalam pemuliaan padi gogo. Keragaman toleransi plasma nutfah padi terhadap keracunan AI telah diinformasikan dalam banyak literatur (Wirnas et al. 2002, Famoso et al. 2011, Shu et al. 2015). Seleksi terhadap galur padi gogo yang toleran cekaman AI pada fase vegetatif dapat dilakukan secara efisien menggunakan larutan hara (Lubis et al. 2007). Namun seleksi secara langsung terhadap sifat padi gogo pada lahan masam dinilai lebih efektif untuk mendapatkan varietas padi gogo yang toleran aluminium (Yullianida et

al. 2015). Teridentifikasinya sejumlah QTL yang mengendalikan sifat toleran aluminium pada padi berpeluang dimanfaatkan dalam program pemuliaan menggunakan bantuan penanda molekuler (Nguyen *et al.* 2001, Famoso *et al.* 2011).

Upaya perbaikan toleransi tanaman padi terhadap kekeringan telah banyak dilakukan, baik secara konvensional (Bernier *et al.* 2008) maupun dengan bantuan bioteknologi seperti marka molekuler (Steele *et al.* 2006, Bernier *et al.* 2008), kultur jaringan (Lestari dan Mariska 2006), dan rekayasa genetik (Gaudin *et al.* 2013). Meskipun telah banyak dilaporkan sifat-sifat morfologi atau fisiologi yang berperan dalam toleransi tanaman padi terhadap kekeringan, seleksi secara langsung terhadap sifat hasil padi gogo lebih efektif untuk mendapatkan varietas toleran kekeringan. Penggunaan marka molekuler yang terpaut QTL dengan pengaruh yang besar terhadap toleransi kekeringan pada padi potensial dimanfaatkan dalam membantu perbaikan sifat ini (Bernier *et al.* 2008).

Pendekatan Seleksi Varietas Partisipatif dalam Perakitan Varietas

Salah satu permasalahan dalam pengembangan varietas unggul adalah rendahnya tingkat adopsi oleh petani. Hal ini dapat disebabkan antara lain oleh keragaman preferensi petani atau ketidaksesuaian antara pilihan pemulia dan preferensi petani. Pendekatan seleksi varietas secara partisipatif (*Participatory Varietal Selection* = PVS) yang diintegrasikan ke dalam pemuliaan tanaman dapat mengakomodasi preferensi petani terhadap varietas padi gogo (Atlin *et al.* 2002, Hairmansis *et al.* 2008, Hairmansis *et al.* 2015a, Hairmansis *et al.* 2015b). Dalam PVS, petani dilibatkan untuk menyeleksi galur-galur hasil pemuliaan pada generasi lanjut. Dari sejumlah PVS yang telah dilakukan terlihat bahwa preferensi petani terhadap suatu galur sangat beragam, baik dalam satu wilayah maupun antarwilayah (Atlin *et al.* 2002, Hairmansis *et al.* 2008, Hairmansis *et al.* 2015a, Hairmansis *et al.* 2015b, Hairmansis *et al.* 2015d). Galur-galur yang terseleksi melalui PVS diharapkan dapat lebih mudah diadopsi petani.

STATUS PEMULIAAN PADI GOGO DAN ARAH PENELITIAN KE DEPAN

Program pemuliaan padi gogo di Indonesia dilakukan oleh berbagai lembaga penelitian, antara lain Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN), dan perguruan tinggi seperti Institut Pertanian Bogor (IPB), Universitas Jenderal Soedirman (Unsoed), dan Universitas Mataram. Dalam kurun waktu

2000-2015 Badan Litbang Pertanian telah menghasilkan 12 varietas unggul baru padi gogo (Tabel 3). Dari 12 varietas tersebut, delapan varietas di antaranya dilepas setelah tahun 2010 melalui Program Konsorsium Padi Nasional yang melibatkan Badan Litbang Pertanian, Perguruan Tinggi, dan Lembaga Penelitian Non-Departemen seperti LIPI dan BATAN. Melalui program konsorsium tersebut, perguruan tinggi yang memiliki program pemuliaan padi gogo seperti Universitas Jenderal Soedirman dan Universitas Mataram juga telah menghasilkan varietas unggul padi gogo. Demikian juga LIPI telah berhasil melepas varietas unggul padi gogo Inpago Lipigo 1, Inpago Lipigo 2, dan Inpago Lipigo 4.

Ketahanan blas dan toleransi terhadap keracunan Al merupakan dua sifat penting yang harus dimiliki oleh varietas unggul padi gogo. Sebagian besar areal pertanaman padi gogo di Indonesia tergolong daerah dengan musim hujan yang panjang dengan tingkat kemasaman tanah yang tinggi. Pada Tabel 3 terlihat hampir semua varietas padi gogo yang dilepas memiliki ketahanan terhadap beragam ras blas dan toleran terhadap keracunan Al. Varietas Inpago 5, Inpago 8, Inpago 9, dan Inpago 10 toleran terhadap kekeringan sehingga pengembangannya dapat direkomendasikan pada wilayah dengan musim hujan yang pendek.

Dari segi mutu berasnya, varietas unggul padi gogo baru umumnya bertekstur sedang sampai pulen dengan bentuk yang beragam, dari bulat sampai ramping. Kedua karakter mutu tersebut menjadi penentu utama penerimaan suatu varietas di samping rendemen dan kebeningan. Sebagian besar konsumen di Indonesia menyukai beras bertekstur pulen, hanya di Sumatera Barat dan sebagian Kalimantan yang penduduknya lebih menyukai beras bertekstur pera. Perbaikan varietas padi gogo masih diperlukan, terutama untuk meningkatkan rendemen beras giling karena hingga sebagian besar varietas yang dilepas masih memiliki rendemen beras giling yang lebih rendah dibandingkan dengan padi sawah varietas seperti Ciherang yang menjadi salah satu patokan mutu beras di pasar.

Hingga saat ini belum ada varietas unggul padi gogo untuk lahan kering dataran tinggi di atas 700 m dpl., padahal potensi lahan yang tersedia cukup luas. Oleh karena itu, sejak tahun 2011 dimulai program perakitan varietas unggul padi gogo untuk dataran tinggi. Dari program tersebut teridentifikasi sejumlah galur yang potensial dikembangkan pada lahan kering dataran tinggi (Hairmansis *et al.* 2015d). Beberapa galur potensial saat ini sedang diuji multilokasi sebelum dilepas menjadi varietas unggul. Hingga saat ini terdapat beberapa galur padi gogo dataran tinggi yang menunjukkan performa yang baik sampai ketinggian lokasi sekitar 900 m dpl. Pada

Tabel 3. Karakteristik varietas unggul padi gogo yang dilepas Badan Litbang Pertanian dalam periode 2000-2015.

Varietas	Nomor galur	Persilangan	Tahun dilepas	Umur (hari)	Amilosa (%)	Tekstur nasi	Bentuk gabah	Potensi hasil (t/ha)	Rata-rata hasil (t/ha)	Sifat unggul
Danau Gaung	TB165E-TB-12	ARC10372/B6135/ Way Rarem	2001	110-116	24,0	Sedang	Panjang sedang	5,5	3,4	Tahan blas, agak toleran AI, toleran Fe, bereaksi moderat terhadap kekeringan
Batutegi	TB154E-TB-2	B6876B-MR-10/ B6128B-TB-15	2001	112-120	22,3	Pulen	Bulat sedang	6,0	3,0	Tahan blas, agak toleran AI, bereaksi moderat terhadap kekeringan
Situ Patenggang	BP1153C-9-12	Kartuna/TB47H-MR-10	2003	110-120	24,0	Sedang	Agak gemuk	6,0	4,6	Tahan blas, aromatik
Situ Bagendit	S4325D-1-2-3-1	Batur/ 2*S2823-7 D-8-1-A	2003	110-120	22,0	Pulen	Panjang ramping	6,0	4,0	Agak tahan blas, agak tahan hawar daun bakteri
Inpago 4	TB490C-TB-1-2-1	Batutegi/Cigeulis/ Ciherang	2010	124	21,9	Pulen	Ramping	6,1	4,1	Tahan blas, toleran AI
Inpago 5	B11338F-TB-26	TB177E-TB-28-D-3/ B10384E-MR-1-8-3// IR60080-23// TB177E-TB-28-D-3/ B10386E-KN-36-2// BL245	2010	118	18,0	Sangat pulen	Ramping	6,2	4,0	Tahan blas, agak toleran AI, toleran kekeringan
Inpago 6	IR30176-B-2-MR-1	IRAM2165/NC1281	2010	113	22,0	Pulen	Ramping	5,8	3,9	Tahan blas, agak toleran AI
Inpago 7	B12498E-MR-1	IR68886/BP68/ Slegreng//Maninjau/ Asahan	2011	114	20,3	Pulen	Sedang	7,4	4,8	Tahan blas, beras merah
Inpago 8	TB409B-TB-14-3	Cirata/TB177	2012	119	22,3	Pulen	Panjang	8,1	5,2	Tahan blas, agak toleran AI, toleran kekeringan
Inpago 9	B12151D-MR-4	UPLRI/IRAT13	2012	109	22,3	Sedang	Bulat besar	8,4	4,6	Tahan blas, toleran AI, agak toleran kekeringan
Inpago 10	B11579E-MR-7-1-1	TB154E/IRAT144/ IRAT379	2014	115	25,0	Sedang	Sedang	7,3	4,0	Tahan blas, agak toleran AI, agak toleran kekeringan
Inpago 11	B12151D-MR-11	UPLRI/IRAT15	2015	111	21,3	Sedang	Bulat besar	6,0	4,1	Tahan blas, moderat terhadap kekeringan

elevasi yang lebih tinggi (di atas 1.000 m dpl.), penampilan galur-galur elit pemuliaan masih di bawah varietas lokal yang adaptif seperti Sigambiri Putih dari Sumatera Utara. Untuk itu program pemuliaan padi gogo dataran tinggi saat ini diarahkan untuk mendapatkan galur padi gogo yang lebih adaptif pada lahan kering dataran tinggi di atas 1.000 m dpl. Hasil persilangan varietas unggul dengan varietas lokal Sigambiri Putih saat ini dalam proses seleksi generasi awal sampai menengah dan diharapkan mampu beradaptasi pada lahan kering dengan elevasi di atas 1.000 m.

Pengembangan padi gogo selain mengarah ke dataran tinggi juga potensial dibudidayakan sebagai tanaman sela karena potensi lahannya yang cukup luas. Oleh karenanya sifat toleran naungan menjadi salah satu sifat penting yang menjadi sasaran program pemuliaan padi gogo. Pada tahun 1994 Badan Litbang Pertanian melepas varietas Jatiluhur yang toleran naungan (Puslitbangtan 2009). Namun varietas tersebut kurang berkembang di petani. Hal ini diduga karena mutu nasinya yang kurang baik dan ketahanannya terhadap penyakit blas sudah menurun. Pemuliaan padi gogo juga diarahkan untuk mendapatkan varietas yang toleran naungan, tahan blas, dan memiliki mutu beras yang baik. Persilangan dilakukan dengan memanfaatkan donor-donor toleran naungan untuk digabungkan dengan sifat penting lain seperti ketahanan terhadap blas, toleransi terhadap kekeringan, keracunan aluminium, dan mutu beras. Seleksi dilakukan dengan metode bastar populasi dan pedigree. Skrining naungan dilakukan secara *artificial* di bawah paranet dan secara alami di bawah tegakan pohon kelapa. Dari program seleksi tersebut telah diperoleh beberapa galur harapan yang akan diuji di beberapa lokasi sebagai syarat pelepasan (Tabel 4).

Tabel 4. Galur harapan padi gogo toleran naungan yang akan diuji multilokasi pada MH 2015-2016.

Galur dan varietas pembanding	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah anakan (batang)	Umur panen (hari)
B13636G-TB-8-WN-1	118,00	7,67	102
B12168D-MR-38-1-6-TB-1	122,00	10,33	112
B11579E-MR-7-1-1	134,33	6,33	112
B12154D-MR-10	114,00	4,00	103
B12492C-MR-21-2-1	113,67	6,67	102
B12159D-MR-40-1	130,67	5,67	103
B12056F-TB-1-64-6	128,67	8,67	103
B10580E-KN-28-1-1	98,33	7,33	106
B13655E-TB-13	102,33	9,00	102
B11579E-MR-7-1-1-1 (ungu)	100,33	9,67	102
B11930F-TB-2	95,33	5,67	103
B12825E-TB-2-4	88,67	10,00	103

Sumber: BB Padi (2015)

TANTANGAN PENGEMBANGAN PADI GOGO DAN STRATEGI PEMECAHAN

Permasalahan utama dalam pengembangan padi gogo adalah terbatasnya benih yang tersedia di pasar (Nugraha *et al.* 1997, Wahyuni *et al.* 2006). Usahatani padi gogo sebagian besar masih bersifat subsisten, yang menyebabkan keengganan produsen atau penangkar untuk memproduksi benih varietas unggul padi gogo. Oleh karena itu, petani di lahan kering terus berulang menanam benih padi lokal yang mereka produksi sendiri atau membeli benih varietas unggul padi sawah yang tersedia di pasar. Jalan keluar permasalahan ketersediaan benih varietas unggul padi gogo di tingkat petani, dapat melalui sistem perbenihan informal berbasis komunal (*Community Based Seed System*) (Cruz *et al.* 2009, Manzanilla *et al.* 2013). Melalui sistem tersebut petani atau kelompok tani dibina untuk mampu menghasilkan benih varietas unggul padi gogo dari pertanaman mereka sendiri.

Tantangan lain pengembangan padi gogo adalah ketahanan varietas yang mudah patah terhadap penyakit blas, hanya dalam beberapa musim tanam (Suwarno *et al.* 2009). Hal tersebut disebabkan oleh tingginya variabilitas patogen blas di lapang dan kemampuan patogen untuk melakukan rekombinasi membentuk ras yang baru (Ziegler 1998, Santoso *et al.* 2007, Sudir *et al.* 2014). Hal ini diduga menjadi salah satu penyebab bertahannya populasi padi lokal yang memiliki ketahanan stabil terhadap blas. Koleksi padi gogo lokal di Lampung mengindikasikan bahwa dalam satu populasi ditemukan keragaman yang tinggi (Suwarno *et al.* 2009).

Untuk meningkatkan stabilitas ketahanan varietas padi gogo terhadap penyakit blas perlu memanfaatkan sebanyak mungkin gen ketahanan dalam perbaikan varietas. Penggabungan beberapa gen ketahanan dalam satu varietas diharapkan dapat meningkatkan stabilitas ketahanan terhadap blas. Selain itu distribusi beragam varietas unggul dengan ketahanan terhadap blas yang berbeda di satu wilayah dapat menjadi strategi penting untuk menekan kehilangan hasil akibat penyakit blas, sekaligus meningkatkan stabilitas ketahanan varietas unggul (Suwarno *et al.* 2009). Usaha tersebut dapat dikomplementasikan dengan sistem perbenihan berbasis komunal, di mana petani dalam suatu wilayah diarahkan untuk menanam lebih beragam varietas unggul dan saling bertukar benih dari varietas yang berbeda di antara mereka. Untuk mendukung strategi tersebut dibutuhkan ketersediaan varietas unggul tahan blas yang lebih beragam.

Pengembangan padi gogo memberikan peluang bagi upaya peningkatan produksi beras nasional. Kecenderungan penurunan luas lahan sawah irigasi juga

dapat menjadi faktor pendorong bagi pengembangan lahan kering sebagai lumbung padi nasional. Dukungan program pemuliaan padi gogo untuk merakit varietas unggul yang adaptif terhadap berbagai cekaman lingkungan dan perbaikan sistem perbenihan dapat menjadi katalis dalam meningkatkan produksi padi pada lahan kering.

Perbaikan varietas padi gogo melalui program pemuliaan perlu terus diupayakan agar varietas unggul yang dihasilkan lebih sesuai dengan kebutuhan pasar dan memiliki daya adaptasi yang lebih baik pada lahan kering. Peningkatan kapabilitas program pemuliaan dapat ditingkatkan dengan memperkuat kerja sama penelitian antarlembaga penelitian pemuliaan di dalam dan luar negeri. Selain itu, pemuliaan berbasis molekuler juga perlu lebih dipertajam untuk meningkatkan efisiensi dan presisinya.

KESIMPULAN

Lahan kering di Indonesia berpotensi besar mendukung upaya peningkatan produksi beras nasional, sehingga perlu didukung oleh tersedianya varietas unggul padi yang adaptif pada lahan kering. Upaya perbaikan sifat padi gogo dihadapkan kepada tantangan yang lebih berat karena adanya keragaman sifat fisik, klimatik dan ekobiologis lahan kering. Pemuliaan dengan target agroekologi spesifik lebih berpeluang berhasil mendapatkan varietas unggul yang adaptif. Teknik pemuliaan shuttle breeding dan farmers' participatory breeding dinilai lebih sesuai.

Sifat-sifat yang perlu diprioritaskan dalam pemuliaan padi gogo antara lain tahan penyakit blas, toleran kekeringan, toleran keracunan aluminium, dan toleran naungan. Adopsi varietas unggul padi gogo oleh petani ditentukan oleh ketersediaan benih bermutu di tingkat petani. Dalam hal ini diperlukan dukungan sistem perbenihan yang kuat untuk keberlanjutan produksi padi pada lahan kering.

DAFTAR PUSTAKA

Abdurachman, A., A. Dariah, dan A. Mulyani. 2008. Strategi dan teknologi pengelolaan lahan kering mendukung pengadaan pangan nasional. *Jurnal Litbang Pertanian* 27(2):43-49.

Amir, M., A. Nasution, Santoso, and B. Courtosis. 2001. Pathogenicity of four blast races isolated from IR64. *In: Kardin, M.K., I. Prasadja, and M. Syam. Upland Rice Research in Indonesia Current Status and Future Direction. Central Research Institute for Food Crops. Bogor. p.47-54.*

Andaya, V. and D. Mackill. 2003. Mapping of QTLs associated with cold tolerance during the vegetative stage in rice. *J. Exp. Bot.* 54:2579-2585.

Atlin, G.N., T. Paris, B. Linqvist, S. Phengchang, K. Chongyikangator, A. Singh, V.N. Singh, J.L. Dwivedi, S. Pandey, P. Cenas, M. Laza, P.K. Sinha, N.P. Mandal, and Suwarno. 2002. Integrating conventional and participatory crop improvement in rainfed rice. *In: Witcombe, J, L.B. Parr, and G.N. Atlin (Eds.). Breeding rainfed rice for drought-prone environments: integrating conventional and participatory plant breeding for South and Southeast Asia. Proceedings of a DFID Plant Sciences Research Programme/IRRI Conference, 11-15 March 2002, IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines. Bangor and Manila: Department for International Development (DfID) Plant Sciences Research Programme, Centre for Arid Zone Studies, and International Rice Research Institute. pp 36-39.*

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (BBPadi). 2015. Kemajuan perakitan varietas padi gogo toleran naungan. *Dalam: Laporan Bulanan Balai Besar Penelitian Tanaman Padi Mei 2015. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi. 23p.*

Benny, W.R. 2016. Perbaikan genetik tinggi dan umur tanaman padi beras hitam lokal Sumatera Barat melalui mutasi induksi dengan iradiasi sinar gamma. *Disertasi. Universitas Andalas.*

Bernier, J., G.N. Atlin, R. Serraj, A. Kumar, and D. Spaner. 2008. Breeding upland rice for drought resistance. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88(6):927-939.

Cruz, C.V., N. Castilla, S. Suwarno, E. Hondrade, R. Hondrade, T. Paris, and F. Elazegui. 2009. Rice disease management in the uplands of Indonesia and the Philippines. *In: Haefele, S.M. and A.M. Ismail (Eds.). Natural resource management for poverty reduction and environmental sustainability in fragile rice-based systems. Limited Proceedings 15: 10-18. IRRI. Manila. Philippines.*

Divya, B., S. Robin, R. Rabindra, S. Senthil, M. Raveendran, and A.J. Joel. 2014. Marker assisted backcross breeding approach to improve blast resistance in Indian rice (*Oryza sativa*) variety ADT43. *Euphytica* 200(1):61-77.

Doberman, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice nutrient disorders and nutrient management. Potash and Phosphate Institute of Canada and International Rice Research Institute. Manila. p.191.

Fagi, A.M., H.M. Toha, dan J.S. Baharsyah. 2004. Potensi padi gogo dalam swasembada beras. *Dalam: Kasryno, F., E. Pasandaran, dan A.M. Fagi (Eds.). Ekonomi Padi dan Beras Indonesia. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta. p.347-372.*

Famoso, A.N., K. Zhao, R.T. Clark, C.W. Tung, M.H. Wright, C. Bustamante, L.V. Kochian, and S.R. McCouch. 2011. Genetic architecture of aluminum tolerance in rice (*Oryza sativa*) determined through genome-wide

- association analysis and QTL mapping. *PLoS Genet.* 7(8):1002221.
- Gaudin, A.C., A. Henry, A.H. Sparks, and I.H. Slamet-Loedin. 2013. Taking transgenic rice drought screening to the field. *Journal Experimental Botany* 64:109–117.
- Hairmansis, A., A. Jamil, and Suwarno. 2015a. Participatory approaches in varietal improvement of upland rice in Indonesia. *In: Zaini, Z., I.A. Rumanti, D.W. Soegondo, and Y. Kato. International Proceedings of Unfavorable Rice Land Securing National Rice Production in Indonesia. Indonesian Center for Food Crops Research and Development.* pp.63-71.
- Hairmansis, A., Supartopo, dan Suwarno. 2015b. Seleksi varietas partisipatif terhadap galur-galur elit padi gogo di lahan petani. *Jurnal Ilmu Pertanian* 18(2):61-68.
- Hairmansis, A., Supartopo, Yullianida, Sunaryo, Warsono, Sukirman, dan Suwarno. 2015c. Pemanfaatan plasma nutfah padi (*Oryza sativa*) untuk perbaikan sifat padi gogo. *Dalam: Setyawan, A.D., Sugiyarto, A. Pitoyo, U.E. Hernawan, dan A. Widiastuti. (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia. Masyarakat Biodiversitas Indonesia, Surakarta.* p.14-18.
- Hairmansis, A., Supartopo, Yullianida, Warsono, D. Manzanilla, C.V. Cruz, A. Jamil, and Suwarno. 2015d. Upland rice breeding lines adaptable to high elevation areas and selected through participatory approaches. Paper presented in SABRAO 13th Congress and International Conference, 14-16 September 2015, Bogor.
- Hairmansis, A., B. Kustianto, E. Lubis, and Suwarno. 2008. Increasing genetic diversity through participatory varietal selection of upland rice in Lampung. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 27(1):9-12.
- Herawati, R., B.S. Purwoko, and I.S. Dewi. 2009. Keragaman genetik dan karakter agronomi galur haploid ganda padi gogo dengan sifat-sifat tipe baru hasil kultur antera. *Jurnal Agronomi Indonesia* 37(2):87-94.
- Irawan, B. 2013. Dampak El Nino dan La Nina terhadap produksi padi dan palawija. *Dalam: Soeparno, H., E. Pasandaran, M. Syarwani, A. Dariah, S.M. Pasaribu, N.S. Saad. (Eds.). Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim. IAARD Press. Jakarta.* p.29-51.
- Ismail, A.M., S. Heuer, M.J. Thomson, and M. Wissuwa. 2007. Genetic and genomic approaches to develop rice germplasm for problem soils. *Plant Molecular Biology* 65:547-570.
- Kementrian Pertanian (Kementan). 2014. Statistik pertanian 2014. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. Kementrian Pertanian. Jakarta. 348p.
- Kochian, L.V., O.A. Hoekenga, and M.A. Pineros. 2004. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of Aluminum tolerance and Phosphorous efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55:459-493.
- Koide, Y., A. Kawasaki, M.J. Telebanco Yanoria, A. Hairmansis, N.T.M. Nguyet, J. Bigirimana, D. Fujita, N. Kobayashi, and Y. Fukuta. 2010. Development of pyramided lines with two resistance genes, Pish and Pib, for blast disease (*Magnaporthe oryzae* B. Couch) in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Breeding* 129(6): 670-675.
- Lestari, E.G. dan I. Mariska. 2006. Identifikasi somaklon padi Gajah Mungkur, Towuti, dan IR 64 tahan kekeringan menggunakan polyethylene glycol. *Buletin Agronomi* 34(2):71-78.
- Lestari, E.G., I.S. Dewi, R. Yunita, and D. Sukmadjaya. 2010. Induksi mutasi dan keragaman somaklonal untuk meningkatkan ketahanan penyakit blas daun pada padi Fatmawati. *Bul. Plasma Nutfah* 16(2):96-102.
- Li, Z.K. J.L. and Xu. 2007. Breeding for drought and salt tolerant rice (*Oryza sativa* L.): progress and perspectives. *In: Jenks et al. (Eds.). Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops, Springer, Dordrecht, The Netherlands.* pp.531-564.
- Lubis, E., R. Hermanasari, Sunaryo, A. Santika, dan E. Suparman E. 2007. Toleransi galur padi gogo terhadap cekaman abiotik. *Dalam: Suprihatno, B., A.A. Darajat, H. Suhart, H.M. Toha, A. Setiyono, Suprihanto, dan A.S. Yahya. Prosiding Seminar Apresiasi Hasil Penelitian Padi Menunjang P2BN. Buku 2. BBPadi, Sukamandi.* pp.725-732.
- Manzanilla, D.O., J.D. Janiya, dan D.E. Johnson. 2013. Membangun sistem perbenihan berbasis masyarakat. *Terjemahan. Zaini, Z., Hermanto, dan D. Wurjandari. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.* 234p.
- Mulyaningsih, E.S., H. Aswidinnoor, D. Sopandie, P.B. Ouwerkerk, dan I.H.S. Loedin, 2010b. Transformasi padi indica kultivar Batutege dan Kasalath dengan gen regulator HD-Zip untuk perakitan varietas toleran kekeringan. *Jurnal Agronomi Indonesia* 38(1):1-7.
- Mulyaningsih, E.S., H. Aswidinnoor, D. Sopandie, B.F. Pieter, and I.H.S.L. Ouwerkerk. 2010a. Toleransi genotipe padi gogo dengan marka QTL 12.1 terhadap kekeringan. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 29(2):72-81.
- Nguyen, V.T., M.D. Burow, H.T. Nguyen, V. Le, T.D. Le, and A.H. Paterson. 2001. Molecular mapping of genes conferring aluminum tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 102:1002-1010.
- Nugraha, U.S., S. Wahyuni, T.S. Kadir, dan B. Nuryanto. 1997. Cara pengelolaan benih padi gogo di tingkat petani dan mutu benih yang dihasilkan. *Prosiding Konggres Nasional XIV dan Seminar Ilmiah Perhimpunan Fitopatologi Indonesia, Palembang, 27-29 Oktober 1997.* p.647-651.
- Prasetyono, J., H. Aswidinnoor, S. Moeljopawiro, D. Sopandie, and M. Bustamam. 2008. Identifikasi marka polimorfik untuk pemuliaan padi toleran defisiensi fosfor. *Jurnal AgroBiogen* 4(2):51-58.

- Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan (Puslibangtan). 2009. Deskripsi Varietas Unggul Padi 1943-2009. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor. 220p.
- Qi-hua, L., W. Xiu, C. Bo-cong, M. Jia-qing, and G. Jie. 2014. Effects of low light on agronomic and physiological characteristics of rice including grain yield and quality. *Rice Science* 21(5):243-251.
- Rochayati, S. dan A. Dariah. 2012. Pengembangan lahan kering masam: Peluang, tantangan dan strategi, serta teknologi pengelolaan. *Dalam: Dariah, A., B. Kartiwa, N. Sutrisno, K. Suradisastra, M. Sarwani, H. Soeparno, dan E. Pasandaran. (Eds.) Prospek Pertanian Lahan Kering dalam Mendukung Ketahanan Pangan.* Balitbangtan. Jakarta. p.187-204.
- Santoso, A. Nasution, D.W. Utami, I. Hanarida, A.D. Ambarwati, S. Moeljopawiro, and D. Tharreau. 2007. Variasi genetik dan spektrum virulensi patogen blas pada padi asal Jawa Barat dan Sumatera. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 26(8):150-155.
- Shimono, H., M. Okada, E. Kanda, and I. Arakawa. 2007. Low temperature-induced sterility in rice: Evidence for the effects of temperature before panicle initiation. *Field Crops Res.* 101:221-231.
- Shrestha, S., F. Asch, J. Dusserre, A. Ramanantsoanirina, and H. Brueck. 2012. Climate effects on yield components as affected by genotypic responses to variable environmental conditions in upland rice systems at different altitudes. *Field Crops Res.* 134:216-228.
- Shu, C., J. Wu, G. Shi, L. Lou, J. Deng, J. Wan, and Q. Cai. 2015. Different aluminum tolerance among Indica, Japonica and hybrid rice varieties. *Rice Science* 22(3):123-131.
- Sipaseuth, J. Basnayake, S. Fukai, T. Farrell, M. Senthonghae, Sengkeo, S. Phamixay, B. Linquist, and M. Chanphengsay. 2007. Opportunities to increasing dry season rice productivity in low temperature affected areas. *Field Crops Res.* 102:87-97.
- Sopandie, D., M.A. Chozin, S. Sastrosumarjo, T. Juhaeti, dan Sahardi. 2003. Toleransi padi gogo terhadap naungan. *Hayati* 10(2):71-75.
- Steele, K.A., A.H. Price, H.E. Shashidhar, and J.R. Witcombe, 2006. Marker-assisted selection to introgress rice QTLs controlling root traits into an Indian upland rice variety. *Theoretical and Applied Genetics* 112(2):208-221.
- Sudir, A. Nasution, Santoso, dan B. Nuryanto. 2014. Penyakit blas *Pyricularia grisea* pada tanaman padi dan strategi pengendaliannya. *IPTEK Tanaman Pangan* 9(2):85-96.
- Sumarno dan J.R. Hidayat. 2007. Perluasan areal padi gogo sebagai pilihan untuk mendukung ketahanan pangan nasional. *Iptek Tanaman Pangan* 2(1):26-40.
- Sutrisno, N., M. Sarwani, dan E. Pasandaran. 2012. Memperkuat kemampuan pertanian lahan kering dalam menghadapi perubahan iklim. *Dalam: Dariah, A., B. Kartiwa, N. Sutrisno, K. Suradisastra, M. Sarwani, H. Soeparno, dan E. Pasandaran. (Eds.) Prospek Pertanian Lahan Kering dalam Mendukung Ketahanan Pangan.* Balitbangtan. Jakarta. p.123-142.
- Suwarno, E. Lubis, and E. Soenarjo. 2001a. Breeding of upland rice in Indonesia. *In: Kardin, M.K., I. Prasadja, dan M. Syam. Upland Rice Research in Indonesia Current Status and Future Direction.* Central Research Institute for Food Crops. Bogor. p.1-6.
- Suwarno, E. Lubis, and E. Soenarjo. 2001b. Breeding upland rice for resistance to blast in Indonesia. *In: Kardin, M.K., I. Prasadja, dan M. Syam. Upland Rice Research in Indonesia Current Status and Future Direction.* Central Research Institute for Food Crops. Bogor. p.7-14.
- Suwarno, E. Lubis, A. Hairmansis, and Santoso. 2009. Development of a package of 20 varieties for blast management on upland rice. *In: Wang, G.L. and B. Valent (Eds.). Advances in genetics, genomics and control of rice blast disease.* Springer Science + Business B.V. p.347-357.
- Telebanco-Yanoria, M. J., T. Imbe, H. Kato, H. Tsunematsu, L.A. Ebron, C.M. Vera Cruz, N. Kobayashi, and Y. Fukuta. Y. (2008) A set of standard differential blast isolates (*Magnaporthe grisea* (Hebert) Barr.) from the Philippines for rice (*Oryza sativa* L.) resistance. *JARQ* 42:23-34.
- Toha, H.M. 2012. Pengembangan padi gogo mengatasi rawan pangan wilayah marginal. *Dalam: Dariah A., B. Kartiwa, N. Sutrisno, K. Suradisastra, M. Sarwani, H. Soeparno, dan E. Pasandaran (Eds.). Prospek Pertanian Lahan Kering dalam Mendukung Ketahanan Pangan.* Balitbangtan. Jakarta. p.143-163.
- Toha, H.M., K. Pirngadi, K. Permadi, dan A.M. Fagi. 2009. Meningkatkan dan memantapkan produktivitas dan produksi padi gogo. *Dalam: Daradjat, A.A., A. Setyono, A.K. Makarim, A. Hasanuddin (Eds.). Padi Inovasi Teknologi Produksi Buku 2.* LIPI Press. Jakarta.
- Toha, H.M., Suwarno, M.Y. Samaullah, A. Guswara, dan T.S. Kadir. 2008. Petunjuk teknis lapang pengelolaan tanaman terpadu padi gogo. Balitbangtan. Jakarta.
- Tsunematsu, H., M.J.T. Yanoria, L.A. Ebron, N. Hayashi, I. Ando, H. Kato, T. Imbe, and G.S. Khush. 2000. Development of monogenic lines of rice for blast resistance. *Breeding Science* 50:229-234.
- Vinod, K.K. and S. Heuer. 2012. Approaches towards nitrogen- and phosphorus-efficient rice. *AoB Plants* 2012: pls028; doi:10.1093/aobpla/pls028
- Wahyuni, S., T.S. Kadir, dan U.S. Nugraha. 2006. Hasil dan mutu benih padi gogo pada lingkungan tumbuh berbeda. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 25(1):30-37.
- Wang, L., F. Deng, and W.J. Ren. 2015. Shading tolerance in rice is related to better light harvesting and use efficiency and grain filling rate during grain filling period. *Field Crops Research* 180:54-62.

- Wirnas, D., A. Makmur, D. Sopandie, dan H. Aswidinnoor. 2002. Evaluasi ketenggangan galur padi gogo terhadap cekaman Aluminium dan efisiensi penggunaan hara kalium. *Buletin Agronomi* 30(2):39-44.
- Ye, C., S. Fukai, I.D. Godwin, H. Koh, R. Reinke, Y. Zhou, C. Lambrides, W. Jiang, P. Snell, and E. Redoña. 2010. A QTL controlling low temperature induced spikelet sterility at booting stage in rice. *Euphytica* 176:291-301.
- Yullianida, A. Hairmansis, Supartopo, dan Suwarno. 2015. Korelasi tingkat toleransi galur-galur padi gogo terhadap keracunan aluminium hasil skrining di rumah kaca dengan keragaan tanaman di lahan kering masam. Makalah disampaikan dalam Seminar Nasional Padi. BB Padi, Sukamandi, 6 Agustus 2015.
- Ziegler, R.S. 1998. Recombination in *Magnaporthe grisea*. *Ann. Phytopathology* 36:249-275.