

Evaluasi Beberapa Galur-Pup1 Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) pada Larutan Hara dan Lapangan

Evaluation of Several Pup1-Lines of Rice (*Oryza sativa* L.) on Nutrient Solution and at the Field

**Joko Prasetyono^{1*}, Tintin Suhartini¹, Ida Hanarida Soemantri¹, Tasliah¹, Sugiono Moeljopawiro¹,
Hajrial Aswidinnoor², Didy Sopandie², dan Masdiar Bustamam¹**

¹Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian
Jl. Tentara Pelajar No. 3A Bogor 16111, Indonesia

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
(Bogor Agricultural University), Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

Diterima 22 September 2011/Disetujui 26 Maret 2012

ABSTRACT

Phosphorus (P) deficiency is one of major problems in rice cultivation. Development of a tolerant variety to P deficient soil is expected to reduce the needs of P fertilizer. The aim of this research was to evaluate the agronomic performance of Pup1-introgression rice lines. This research consisted of two separate experiments, an evaluation on rice grown in nutrient solution in the greenhouse of ICABIOGRAD, Bogor; and field evaluation at upland rice screening site Taman Bogo, Lampung. The rice lines used were BC₂F₃ derived from crossing of Situ Bagendit with Kasalath and NIL-C443, and from crossing of Batur with Kasalath and NIL-C443. Molecular analysis was conducted to verify the Pup1 introgression in the lines used and successfully confirmed the occurrence of homozygote Pup1 segment in those lines. Evaluation of rice lines grown in nutrient solution was performed in a split plot factorial design, using the dose of Al (0 and 45 ppm Al³⁺) as main plots and dose of P (0.5 and 10 ppm P) as subplots. Field evaluation was performed in split plot design, with P fertilization (0 and 500 kg SP-18 ha⁻¹) as main plots and BC₂F₃ lines as the subplots. Evaluation using Yoshida nutrient solution showed that the BC₂F₃ lines had greater total dry weight under low-P condition (37.5-112.5%), especially under Al-toxicity, compared to the respective parental varieties (Situ Bagendit and Batur). Field evaluation showed that the Pup1-introgression lines had greater shoot dry weight than the respective parental lines (10.5-74.82%). However there was no significant effect of Pup1 introgression in terms of weight of filled grain.

Keywords: Al toxicity, BC₂F₃-Pup1 lines, P-deficiency, rice, Yoshida nutrient solution

ABSTRAK

Defisiensi fosfor (P) merupakan salah satu permasalahan utama untuk pertanaman padi. Pengembangan varietas yang toleran terhadap tanah kahat P diharapkan dapat mengurangi perlunya pemupukan P. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penampilan galur-galur yang telah mendapat sisipan lokus Pup1 pada larutan hara Yoshida dan pada kondisi lapang. Penelitian ini terdiri atas dua percobaan, yaitu: (1) evaluasi menggunakan larutan hara yang dilakukan di Balai Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian, Bogor, dan (2) evaluasi lapang yang dilakukan di Kebun Percobaan Taman Bogo, Lampung. Genotipe yang digunakan merupakan galur-galur BC₂F₃ turunan dari persilangan Situ Bagendit x Kasalath, NIL-C443, dan turunan persilangan Batur x Kasalath, NIL-C443. Analisis molekuler menggunakan primer spesifik untuk lokus Pup1 berhasil memverifikasi keberadaan segmen Pup1 pada galur-galur BC₂F₃ yang digunakan. Evaluasi menggunakan larutan hara dilakukan menggunakan rancangan petak terbagi, dimana petak utama adalah dosis Al (0 and 45 ppm Al³⁺), dan anak petak adalah dosis P (0.5 and 10 ppm P). Evaluasi lapang dilakukan menggunakan rancangan petak terbagi, dimana petak utama adalah pemupukan P (0 dan 500 kg SP-18 ha⁻¹), sedangkan anak petak adalah galur-galur BC₂F₃. Evaluasi menggunakan larutan Yoshida menunjukkan adanya peningkatan bobot kering total galur-galur BC₂F₃ pada kondisi kahat P (meningkat 37.5-112.5% dibanding tetua Situ Bagendit atau Batur), khususnya pada kondisi ada cekaman Al. Hasil evaluasi lapang menunjukkan galur-galur introgresi Pup1 mengalami peningkatan bobot kering tajuk yang melebihi tetuanya (10.5-74.82%), tetapi introgresi Pup1 tidak memberi pengaruh yang nyata terhadap bobot gabah isi per tanaman.

Kata kunci: keracunan Al, galur BC₂F₃-Pup1, defisiensi P, padi, larutan hara Yoshida

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: jokoprasetyono@yahoo.com

PENDAHULUAN

Fosfor (P) merupakan unsur penting bagi tanaman padi, terutama pada tahap pembentukan anakan dan pengisian bulir padi. Diduga lebih dari 90% pemupukan P tidak mudah dimanfaatkan oleh tanaman (Wissuwa dan Ae, 2000). Pupuk P sangat diperlukan pada lahan miskin hara P, terutama pada lahan kering masam. Di Indonesia, lahan kering yang miskin hara P mencapai 60% dari total lahan kering yang ada. Areal tersebut umumnya memiliki kemasaman tanah dan kejenuhan Al tinggi, miskin hara makro K, Ca, dan Mg dan rendah kandungan bahan organik (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Salah satu cara mengatasi masalah budidaya pada lahan miskin P adalah dengan merakit galur-galur toleran defisiensi P. Saat ini telah dipetakan lokus *Pup1*, yaitu lokus yang berisi banyak gen dan bertanggung jawab secara tidak langsung di dalam penyerapan P, sehingga tanaman padi yang memiliki segmen tersebut toleran terhadap kondisi kurang P (Wissuwa *et al.*, 1998; Heuer *et al.*, 2009). Pada padi, lokus *Pup1* terletak pada kromosom 12 dan beberapa marka spesifik untuk pemuliaan telah dibuat (Chin *et al.*, 2010; 2011). Introgresi segmen *Pup1* ke dalam padi Indonesia (Situ Bagendit dan Batur) melalui persilangan dan seleksi menggunakan marka (MAB/Marker Assisted Backcrossing) telah dilakukan sejak tahun 2006 hingga tahun 2008, dan beberapa galur yang positif mengandung segmen *Pup1* tersebut telah didapatkan (Prasetyono, 2010; Chin *et al.*, 2011). Oleh karena itu diperlukan pengujian untuk mengetahui pengaruh segmen *Pup1* terhadap kondisi defisiensi P dan sekaligus melakukan seleksi galur-galur hasil persilangan.

Salah satu cara sederhana untuk menyaring galur-galur padi gogo yang efisien dalam penyerapan P adalah dengan cara menggunakan media larutan hara. Pengujian efisiensi penyerapan P menggunakan larutan hara sudah banyak dilakukan. Sudarman (2004) telah menguji galur-galur padi gogo pada larutan Yoshida dengan dosis P sebesar 0.02, 0.20, dan 2.00 ppm. Beberapa penelitian mengenai defisiensi P pada larutan hara Yoshida untuk keperluan pemetaan QTL defisiensi P pada padi juga dilaporkan oleh Ni *et al.* (1998), Hu *et al.* (2001), Ming *et al.* (2001), dan Shimizu *et al.* (2004). Selain larutan hara, pengujian P di tanah juga sering dilakukan, misalnya percobaan P pada tanah yang ditempatkan di dalam bak (Wissuwa *et al.* 1998; 2001; 2002). Kombinasi perlakuan P dan Al dapat mencerminkan kondisi riil di lapangan dimana P selalu terikat dengan unsur-unsur lain, salah satunya adalah Al.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penampilan galur-galur BC₂F₃ hasil persilangan Situ Bagendit x Kasalath, NIL-C443 dan Batur x Kasalath, NIL-C443 yang telah mendapat sisipan lokus *Pup1* pada larutan hara Yoshida dan pada kondisi lapang.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini terdiri atas dua percobaan, yaitu evaluasi galur-galur introgresi *Pup1* menggunakan kultur hara dan evaluasi galur-galur introgresi *Pup1* di lapang. Evaluasi galur-galur introgresi *Pup1* menggunakan kultur hara dilaksanakan di Rumah Kaca Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian pada April sampai dengan Mei 2009, sedangkan evaluasi galur-galur introgresi *Pup1* di lapang dilaksanakan di Kebun Percobaan Taman Bogo, Balai Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian, Lampung, pada Januari sampai dengan Juni 2009.

Materi genetik yang digunakan pada kedua percobaan adalah galur-galur BC₂F₃ dari empat persilangan, yaitu 6 galur BC₂F₃ Situ Bagendit x Kasalath (=SK), 6 galur BC₂F₃ Situ Bagendit x NIL-C443 (=SN), 6 galur BC₂F₃ Batur x Kasalath (=BK), 6 galur BC₂F₃ Batur x NIL-C443 (=BN), dan tetua-tetua yaitu Situ Bagendit, Batur, Kasalath, NIL-C443, Nipponbare, Dupa (genotipe cek toleran Al pada larutan Yoshida), dan ITA131 (genotipe cek sensitif Al pada larutan Yoshida). Genotipe Kasalath merupakan padi indica donor segmen *Pup1*, sedangkan NIL-C443 merupakan padi japonica donor segmen *Pup1*. Introgresi segmen *Pup1* pada galur-galur BC₂F₃ dikonfirmasi menggunakan analisis molekuler yang dilakukan di Laboratorium Biologi Molekuler. DNA dari masing-masing tanaman diisolasi menggunakan metode Dellaporta *et al.* (1983) yang dimodifikasi. Reaksi PCR dilakukan pada 20 µL volume yang mengandung 1 x bufer PCR, 100 µM dNTPs, 0.5 µM primer (Tabel 1), 50-100 ng µL⁻¹ DNA, dan 1 unit taq DNA polimerase. Hasil PCR kemudian dipisahkan menggunakan gel poliakrilamid 5% (*denaturing gel*). Pewarnaan DNA dilakukan dengan metode *silver staining*.

Evaluasi Galur-galur Introgresi *Pup1* menggunakan Kultur Hara

Percobaan dilaksanakan menggunakan rancangan petak terbagi (*split plot design*), dengan petak utama adalah konsentrasi Al (0 ppm Al³⁺ dan 45 ppm Al³⁺) dan anak petak adalah konsentrasi P (0.5 ppm P untuk P-kurang dan 10

Tabel 1. Primer spesifik untuk segmen *Pup1* yang digunakan

Primer*)	Persilangan	Sekuen Primer F (5' - 3')	Sekuen Primer R (5' - 3')
Kas 19-C2	SK,SN	CTTGATGCTGTAGGCCCTTA	ACGTTGAGAAAATGCGATG
Kas 5n-NK-C	BK,BN	CGTAGGACAGTGATGGAGTACG	GCAAATGCACAAGCAAATG
Kas30-1n	semua	ATGGCCAACGGGGTAGAG	GTCCAGGTAACCACGAGGAA

Keterangan: *) Dr. Jong Hyoun Chin, komunikasi pribadi, tidak dipublikasi; SK = BC₂F₃ Situ Bagendit x Kasalath; SN = BC₂F₃ Situ Bagendit x NIL-C443; BK = BC₂F₃ Batur x Kasalath; BN = BC₂F₃ Batur x NIL-C443

ppm P untuk P-cukup). Rata-rata tiap persilangan dihitung dari 6 galur, dimana masing-masing galur terdiri atas 4 ulangan dan 1 ulangan terdiri atas 1 tanaman. Homogenitas antar galur pada tiap persilangan dihitung berdasarkan uji "outlier" di dalam program Microsoft Excell. Sumber Al³⁺ adalah AlCl₃.6H₂O (Yoshida *et al.*, 1976). Keasaman larutan (pH 4) diatur dengan menambahkan NaOH atau HCl sesuai dengan kebutuhan. Pada akhir minggu keempat dilakukan pengamatan panjang akar, tinggi tajuk, jumlah anakan, dan bobot kering.

Evaluasi Galur-galur Introgresi Pup1 di Lapangan

Percobaan dilaksanakan menggunakan rancangan petak terbagi dengan petak utama adalah dosis pupuk (0 dan 500 kg SP-18 ha⁻¹), dan anak petak adalah genotipe yang diuji. Rata-rata tiap persilangan dihitung dari 6 galur, dimana masing-masing galur terdiri atas 3 ulangan dan 1 ulangan terdiri atas 5 tanaman. Homogenitas antar galur pada tiap persilangan dihitung berdasarkan uji "outlier" di dalam program Microsoft Excell.

Sumber P yang digunakan berasal dari pupuk SP-18. Pupuk lain yang digunakan terdiri atas 250 kg urea ha⁻¹ dan 100 kg KCl ha⁻¹. Peubah yang diamati adalah waktu berbunga, tinggi tanaman, jumlah anakan produktif, bobot kering tajuk, dan komponen hasil yang berasal dari dua malai. Skoring toleransi terhadap defisiensi P dilakukan berdasarkan standar IRRRI (1996), yakni nilai relatif yang dihitung dengan persamaan: nilai relatif = (nilai pada kondisi defisien P / nilai pada kondisi cukup P) x 100%. Kriteria toleransi terdiri atas: 80-100% = sangat toleran, 60-79% = toleran, 40-59% = sedang, 20-39% = peka, dan 0-19% = sangat peka.

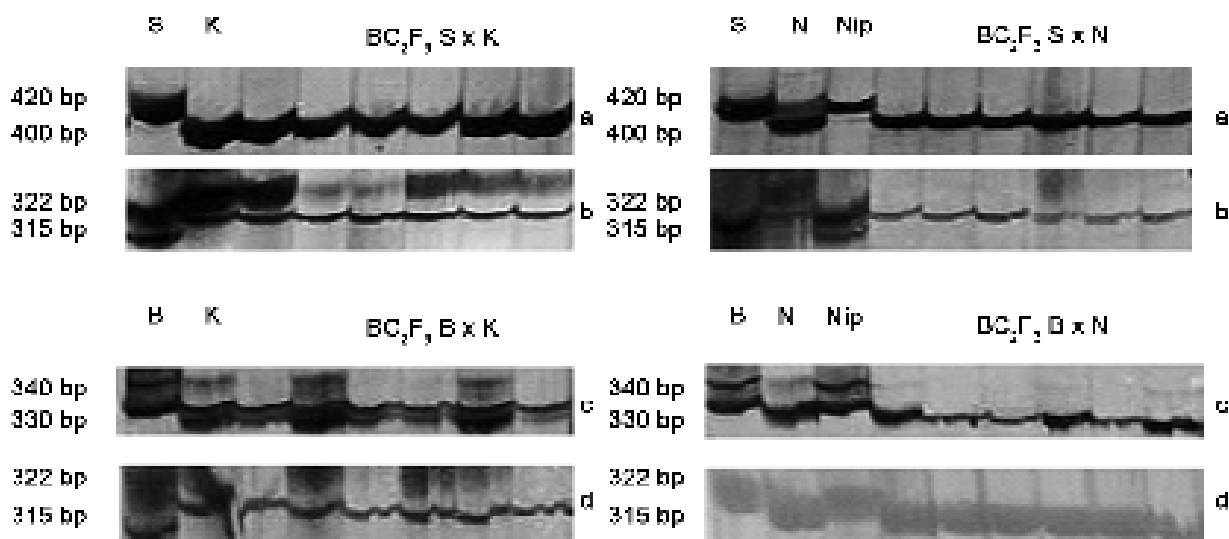
Berdasarkan hasil analisis tanah lengkap, tanah di KP Taman Bogo didominasi oleh partikel liat. Kandungan P totalnya sangat rendah (13.45 mg (100 g⁻¹)), dengan

kandungan P tersedia tergolong sedang (0.955 mg (100 g⁻¹)). Kandungan Al tergolong tinggi (68.73 ppm), sedangkan kejenuhan Al yang mencapai 67.36%. Dobermann dan Fairhurst (2000) menyatakan bahwa tanah dengan pH (H₂O) kurang dari 5, kejenuhan Al > 30% dan kandungan Al > 1-2 mg Al L⁻¹ memiliki potensi keracunan Al untuk padi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengkonfirmasi bahwa seluruh galur BC₂F₃ yang digunakan dalam penelitian ini telah memiliki segmen *Pup1*, analisis molekuler dilakukan menggunakan primer-primer spesifik untuk segmen *Pup1*. Primer Kas19-C2 mengamplifikasi pita berukuran 400 pasang basa (pb) pada genotipe Kasalath dan NIL-C443, donor segmen *Pup1*, sedangkan primer Kas30n-1 mengamplifikasi pita berukuran 322 pb pada genotipe Kasalath dan pita berukuran 315 pb pada genotipe NIL-C443 (Gambar 1). Primer Kas5n-NK-C mengamplifikasi pita berukuran 330 pb, baik pada genotipe Kasalath dan NIL-C443. Teramplifikasinya pita berukuran 400 pb dengan primer Kas19-C2 dan pita berukuran 322 pb dengan primer Kas30n-1 pada galur-galur BC₂F₃ persilangan Situ Bagendit x Kasalath menunjukkan bahwa segmen *Pup1* telah terintegrasi ke dalam genom galur-galur BC₂F₃ tersebut. Demikian pula, teramplifikasinya pita berukuran 400 pb dengan primer Kas19-C2 dan pita berukuran 315 pb dengan primer Kas30n-1 pada galur-galur BC₂F₃ persilangan Situ Bagendit x NIL-C443 menunjukkan bahwa segmen *Pup1* telah terintegrasi dengan baik.

Pada galur-galur BC₂F₃ persilangan Batur x Kasalath dan Batur x NIL-C443, pita berukuran 330 pb yang teramplifikasi oleh primer Kas5n-NK-C juga menunjukkan integrasi segmen *Pup1* ke dalam genom galur-galur tersebut. Keseluruhan hasil analisis molekuler tersebut menunjukkan bahwa seluruh galur BC₂F₃ yang digunakan dalam penelitian ini telah memiliki segmen *Pup1* di dalam genomnya.



Gambar 1. Segmen *Pup1* sudah terintegrasi semua ke dalam galur-galur BC₂F₃; a = Kas 19_C2; b = Kas30n-1; c = Kas 5n-NK-C; d = Kas30n-1; S = Situ Bagendit; B = Batur; K = Kasalath; N = NIL-C443; Nip = Nipponbare

Evaluasi Galur-galur Introgresi Pup1 menggunakan Kultur Hara

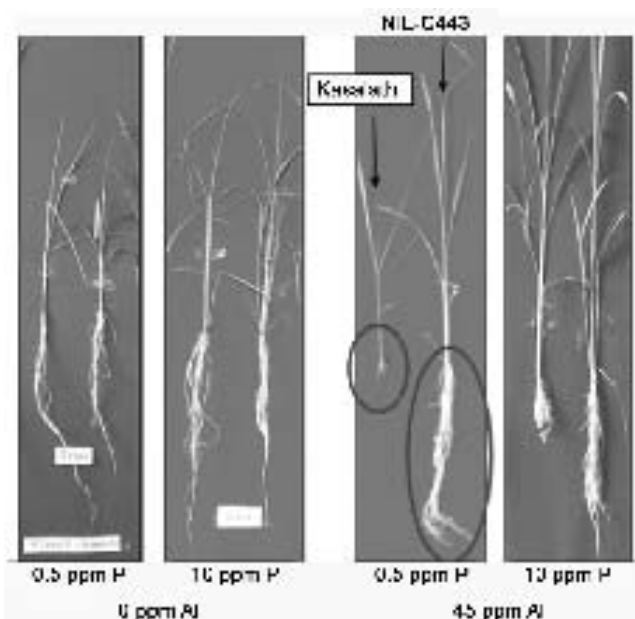
Tanpa kehadiran Al, genotipe Kasalath dan NIL-C443 yang merupakan donor segmen *Pup1* memiliki pertumbuhan yang sama baiknya pada kondisi defisiensi P (0.5 ppm P) (Gambar 2). Hal tersebut menunjukkan peran *Pup1* dalam efisiensi pengambilan dan atau penggunaan P. Sebaliknya, 45 ppm Al secara signifikan menurunkan pertumbuhan genotipe Kasalath, namun tidak pada genotipe NIL-C443. Ma *et al.* (2002) menunjukkan bahwa genotipe Kasalath sangat peka terhadap toksisitas Al. Kekurangan unsur P pada umumnya dipicu oleh kandungan Al yang tinggi disebabkan terbentuknya kompleks Al-Fosfat baik di larutan tanah maupun di dalam sel sehingga P tidak dapat digunakan oleh tanaman (Ryan *et al.*, 1993). Oleh karena itu, walaupun genotipe Kasalath merupakan donor segmen *Pup1*, namun kehadiran 45 ppm Al sangat menghambat pertumbuhannya baik pada 0.5 ataupun 10 ppm P.

Evaluasi galur-galur BC₂F₃ dilakukan dengan membandingkan parameter-parameter pertumbuhan galur-galur tersebut dengan tetuanya. Galur-galur BC₂F₃ persilangan persilangan Situ Bagendit x Kasalath dan Situ Bagendit x NIL-C443 dibandingkan dengan Situ Bagendit, sedangkan galur-galur BC₂F₃ persilangan Batur x Kasalath dan Batur x NIL-C443 dibandingkan dengan Batur. Pada kondisi tanpa cekaman Al, rata-rata panjang akar galur-galur BC₂F₃ tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan tetuanya, baik pada 0.5 maupun 10 ppm P (Tabel 2). Pada kondisi cekaman Al dengan 0.5 ppm P, rata-rata panjang akar galur BC₂F₃ persilangan Situ Bagendit x NIL-C443 dan persilangan Batur x NIL-C443 lebih tinggi

dibandingkan tetuanya, yaitu berturut-turut Situ Bagendit dan Batur. Peningkatan panjang akar tersebut tidak terjadi pada galur-galur BC₂F₃ persilangan Situ Bagendit x Kasalath dan persilangan Batur x Kasalath. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi defisien P dan toksisitas Al segmen *Pup1* yang diintrogresikan dengan menyilangkan NIL-C443 sebagai tetua dapat meningkatkan panjang akar tanaman padi.

Rata-rata tinggi tajuk galur BC₂F₃ persilangan Situ Bagendit x Kasalath dan Situ Bagendit x NIL-C443 lebih tinggi dibandingkan Situ Bagendit pada kondisi cekaman Al, baik pada 0.5 dan 10 ppm P (Tabel 2). Sebaliknya galur BC₂F₃ persilangan Batur x Kasalath dan Batur x NIL-C443 tidak mengalami peningkatan tinggi tajuk dibandingkan Batur pada kondisi cekaman Al, baik pada 0.5 dan 10 ppm P. Rata-rata jumlah anakan galur-galur BC₂F₃ tidak berbeda dengan tetuanya, baik pada 0 dan 45 ppm Al, maupun 0.5 dan 10 ppm P. Rata-rata jumlah anakan seluruh genotipe sangat dipengaruhi oleh konsentrasi P dalam larutan hara, baik pada kondisi 0 maupun 45 ppm Al. Pada kondisi 0.5 ppm P seluruh tanaman memiliki jumlah anakan yang lebih sedikit dibandingkan pada 10 ppm P (Tabel 2).

Berdasarkan nilai relatif bobot kering total, genotipe Kasalath terkategori sebagai genotipe peka terhadap defisiensi P pada kondisi tanpa cekaman Al dan sangat peka pada kondisi cekaman Al (Tabel 3). Ma *et al.* (2002) menyebutkan akumulasi Al³⁺ pada ujung akar Kasalath (1-2 cm) jauh lebih tinggi dibandingkan varietas yang toleran Kosihikari (japonica) ketika dipaparkan pada cekaman Al 100 µM. Galur-galur BC₂F₃ turunan Situ Bagendit (Situ Bagendit x Kasalath dan Situ Bagendit x NIL-C443) dan Batur (Batur x Kasalath dan Batur x NIL-C443) pada kondisi kurang P (baik ada cekaman Al atau tidak) menunjukkan peningkatan bobot kering total dibandingkan tetuanya. Peningkatan bobot kering total galur BC₂F₃ persilangan Situ Bagendit x NIL-C443 bahkan mencapai 112.5% lebih tinggi dibandingkan Situ Bagendit pada kondisi defisiensi P dan cekaman Al. Hal tersebut mengindikasikan bahwa introgresi segmen *Pup1* dapat meningkatkan toleransi tanaman pada kondisi defisiensi P dan cekaman Al.



Gambar 2. Kondisi perakaran Kasalath dan NIL-C443 pada larutan Yoshida dengan konsentrasi P dan Al yang berbeda. Pada tiap gambar, kiri = Kasalath; kanan = NIL-C443. Lingkaran mengindikasikan perbedaan pertumbuhan akar yang signifikan pada kondisi defisien P

Evaluasi Galur-galur Introgresi Pup1 di Lapangan

Evaluasi galur-galur BC₂F₃ di lapang menunjukkan hasil yang berbeda dengan evaluasi di kultur hara. Berdasarkan nilai relatif tinggi tanaman, hampir seluruh genotipe yang diuji terkategori sebagai genotipe yang sangat toleran terhadap kondisi defisiensi P, dalam hal ini tanpa pemupukan P (Tabel 4). Hubungan dosis P dan tinggi tanaman umumnya selalu bernilai positif dan nyata, artinya pengurangan dosis P akan mengurangi tinggi tanaman (Dobermann dan Fairhurst, 2000). Demikian pula pada parameter jumlah anakan produktif. Gejala umum tanaman padi yang kekurangan P adalah penurunan jumlah anakan produktif pada kondisi kahat P. Akan tetapi pada evaluasi di lapang nilai rata-rata jumlah anakan produktif galur-galur BC₂F₃ Situ Bagendit x Kasalath dan Situ Bagendit x NIL-C443 tidak berbeda dibandingkan dengan tetua Situ Bagendit

Tabel 2. Rata-rata panjang akar, tinggi tajuk, dan jumlah anakan beberapa genotipe padi dan galur BC₂F₃ dalam larutan hara dengan taraf P dan Al yang berbeda

Genotipe	0 ppm Al						45 ppm Al					
	0.5 ppm P			10 ppm P			0.5 ppm P			10 ppm P		
	PA	TJ	JA	PA	TJ	JA	PA	TJ	JA	PA	TJ	JA
Kasalath	54.28	44.88	1.00	40.25	77.93	2.00	1.13	21.78	1.00	7.63	53.48	1.00
NIL-C443	36.48	36.25	1.00	29.00	57.08	3.00	20.20	31.03	1.00	19.75	54.05	3.00
Nipponbare	22.60	38.88	1.00	27.43	58.98	2.75	18.18	31.65	1.00	13.95	56.55	2.25
Dupa	47.38	52.73	1.00	31.75	71.25	1.00	28.05	37.52	1.00	30.93	79.50	1.25
ITA131	49.48	33.55	3.00	33.75	48.90	6.75	5.58	17.15	1.00	12.55	33.88	3.25
Situ Bagendit	31.55	41.18	1.00	28.88	57.35	3.25	9.65	18.48	1.00	17.33	46.95	3.00
SK	33.17	43.75	1.21	31.07	63.32	2.83	10.38	28.34*	1.00	17.87	58.69*	2.25
SN	28.16	45.34*	1.04	28.22	59.82	3.63	13.99*	29.07*	1.00	16.92	53.96*	3.17
Batur	43.75	44.73	1.00	37.38	72.55	2.50	9.60	23.08	1.00	20.13	59.20	1.00
BK	41.29	39.80**	1.00	33.72	63.12**	2.63	8.81	24.41	1.00	18.52	56.29	1.79
BN	47.92	41.86	1.00	36.02	66.65**	2.25	14.78**	27.57	1.00	21.74	57.33	1.46**

Keterangan: Rata-rata dihitung dari 6 galur pada masing-masing persilangan, dimana masing-masing galur terdiri atas 4 ulangan dan tiap ulangan terdiri atas satu tanaman; Beda nyata dengan tetua Situ Bagendit (*) dan Batur (**) berdasarkan uji t-Student pada taraf $\alpha = 5\%$; SK = BC₂F₃ Situ Bagendit x Kasalath; SN = BC₂F₃ Situ Bagendit x NIL-C443; BK = BC₂F₃ Batur x Kasalath; BN = BC₂F₃ Batur x NIL-C443; PA = panjang akar (cm); TJ = tinggi tajuk (cm), JA=jumlah anakan

Tabel 3. Rata-rata bobot kering total beberapa genotipe padi dan galur BC₂F₃ dalam larutan hara dengan taraf P dan Al yang berbeda

Genotipe	0 ppm Al		Relatif (%)	Kriteria	45 ppm Al		Relatif (%)	Kriteria
	0.5 ppm P	10 ppm P			0.5 ppm P	10 ppm P		
	Bobot kering total (g)				Bobot kering total (g)			
Kasalath	0.38	1.19	32	Peka	0.04	0.36	11	Sangat peka
NIL-C443	0.32	0.74	43	Sedang	0.21	0.56	38	Peka
Nipponbare	0.34	0.68	50	Sedang	0.20	0.63	32	Peka
Dupa	0.46	0.64	72	Toleran	0.25	0.74	34	Peka
ITA131	0.55	1.03	53	Sedang	0.12	0.45	27	Peka
Situ Bagendit	0.39	0.85	46	Sedang	0.08	0.60	13	Sangat peka
SK	0.40	0.85	47	Sedang	0.13	0.55	24*	Peka
	(+2.63%)	(0%)			(+62.5%)	(-8.3%)		
SN	0.43	0.83	52	Sedang	0.17*	0.65	26*	Peka
	(+10%)	(-2.4%)			(+112.5%)	(+7.7%)		
Batur	0.38	0.87	44	Sedang	0.08	0.55	15	Sangat peka
BK	0.39	0.84	46	Sedang	0.11	0.52	22	Peka
	(+2.63%)	(-3.5%)			(+37.5%)	(-5.45%)		
BN	0.38	0.82	46	Sedang	0.13	0.59	22**	Peka
	(0%)	(-2.3%)			(+62.5%)	(+12.73%)		

Keterangan: Rata-rata dihitung dari 6 galur pada masing-masing persilangan, dimana masing-masing galur terdiri atas 4 ulangan dan tiap ulangan terdiri atas satu tanaman; Beda nyata dengan tetua Situ Bagendit (*) dan Batur (**) berdasarkan uji t-Student pada taraf $\alpha = 5\%$; SK = BC₂F₃ Situ Bagendit x Kasalath; SN = BC₂F₃ Situ Bagendit x NIL-C443; BK = BC₂F₃ Batur x Kasalath; BN = BC₂F₃ Batur x NIL-C443

(Tabel 4). Rata-rata jumlah anakan produktif galur BC₂F₃ persilangan Batur x Kasalath lebih tinggi dibandingkan tetua Batur pada kondisi tanpa pemupukan P. Berdasarkan

parameter tinggi tanaman dan jumlah anakan produktif, pengaruh introgresi segmen *Pup1* pada Situ Bagendit dan Batur belum tampak nyata pada evaluasi di lapang.

Berdasarkan hasil analisis tanah, tanah di KP Taman Bogo didominasi oleh partikel liat. Walaupun kandungan P totalnya sangat rendah (13.45 mg (100 g)⁻¹), namun kandungan P tersedia tergolong sedang (0.955 mg (100 g)⁻¹). Tanah di lokasi penelitian ini memiliki kandungan Al yang tergolong tinggi (68.73 ppm) dengan kejenuhan Al mencapai 67.36%. Dobermann dan Fairhurst (2000) menyatakan bahwa tanah dengan pH (H₂O) < 5, kejenuhan Al > 30%, dan kandungan Al > 1-2 mg Al L⁻¹ memiliki potensi keracunan Al untuk tanaman padi. Walaupun memiliki toksisitas Al, status P di lokasi penelitian diduga masih dapat mencukupi kebutuhan tanaman untuk pertumbuhan vegetatif (tinggi tanaman), walaupun tidak diberi tambahan pupuk P. Hal ini sejalan dengan penelitian Agustina *et al.* (2010) yang melaporkan tidak adanya perbedaan yang nyata pada peubah tinggi tajuk sorgum pada tanah Podsolik Merah Kuning Bogor yang diberikan perlakuan pengapuran dan pemupukan P.

Secara umum perbedaan status P dalam media tanam menyebabkan perbedaan bobot kering tajuk. Pada kondisi tanpa pemupukan P, rata-rata bobot kering tajuk galur BC₂F₃ Situ Bagendit x Kasalath dan Situ Bagendit x NIL-C443 menurun 14.84% dan 3.5% berturut-turut, dibandingkan tanaman yang dipupuk P (Gambar 3). Nilai rata-rata bobot kering tajuk galur BC₂F₃ Situ Bagendit x Kasalath lebih tinggi dibandingkan tetua Situ Bagendit. Hal tersebut diduga karena *Pup1* yang ada dalam galur-galur BC₂F₃ memberi pengaruh positif terhadap pembentukan tajuk. Namun demikian, pembentukan tajuk yang responsif tersebut tidak diikuti oleh jumlah anakan yang lebih banyak.

Rata-rata bobot kering tajuk galur BC₂F₃ persilangan Batur x Kasalath dan Batur x NIL-C433 lebih tinggi dibandingkan tetua Batur, baik pada kondisi dipupuk ataupun tidak dipupuk P (Gambar 3). Hal ini menunjukkan peranan *Pup1* cukup besar mempengaruhi bobot kering tajuk tanaman. Fenomena ini sebenarnya juga terjadi pada persilangan Situ Bagendit, namun peningkatan bobot kering

tajuk sangat terlihat jelas pada persilangan Batur (Gambar 3). Peningkatan bobot kering tajuk pada galur-galur *Pup1* ternyata tidak diikuti dengan peningkatan bobot gabah isi per tanaman. Pada pengujian lapang ini pengaruh *Pup1* terlihat jelas pada pertumbuhan vegetatif (bobot kering tajuk), sedangkan hasil (bobot gabah isi per tanaman) justru tidak mengalami peningkatan dibandingkan tetuanya (Situ Bagendit atau Batur). Hasil ini bertolak belakang dengan penelitian Wissuwa dan Ae (2000) sewaktu memasukkan segmen *Pup1* dari Kasalath ke dalam padi Nipponbare. Ketika segmen *Pup1* dari Kasalath diintrogresikan ke dalam Nipponbare, beberapa galur turunannya mengalami peningkatan hasil jumlah bulir sebesar 250% dibandingkan Nipponbare pada kondisi kurang P, sedangkan pada Situ Bagendit dan Batur hanya mengalami kenaikan bobot kering tajuk. Perbedaan hasil yang mencolok ini diduga disebabkan perbedaan latar belakang dari masing-masing tetua. Kasalath sebagai padi indica ketika sebagian segmennya dimasukkan ke dalam padi japonica (Nipponbare) memberi pengaruh positif pada Nipponbare, sementara pada penelitian ini segmen yang dimasukkan (*Pup1*) adalah dari padi indica ke dalam padi indica, sehingga efek yang ditimbulkan berbeda.

Berdasarkan penelitian Chin *et al.* (2011), Situ Bagendit tidak memiliki segmen *Pup1*. Dengan demikian, efek masuknya segmen *Pup1* pada Situ Bagendit diharapkan akan jauh lebih terlihat. Sebaliknya Batur memiliki segmen *Pup1* secara parsial, artinya sebagian segmen *Pup1* sudah dimiliki Batur sehingga efek tambahan dari adanya *Pup1* diperkirakan tidak begitu besar. Namun demikian, pengaruh *Pup1* pada peningkatan bobot kering tajuk terlihat lebih besar pada Batur dibandingkan Situ Bagendit. Hal tersebut diduga disebabkan karena pengaruh interaksi antar gen atau karena memang *Pup1* bukan merupakan gen dominan tetapi sebuah lokus yang mengendalikan mekanisme penangkapan P secara tidak langsung, dan ekspresi *Pup1*

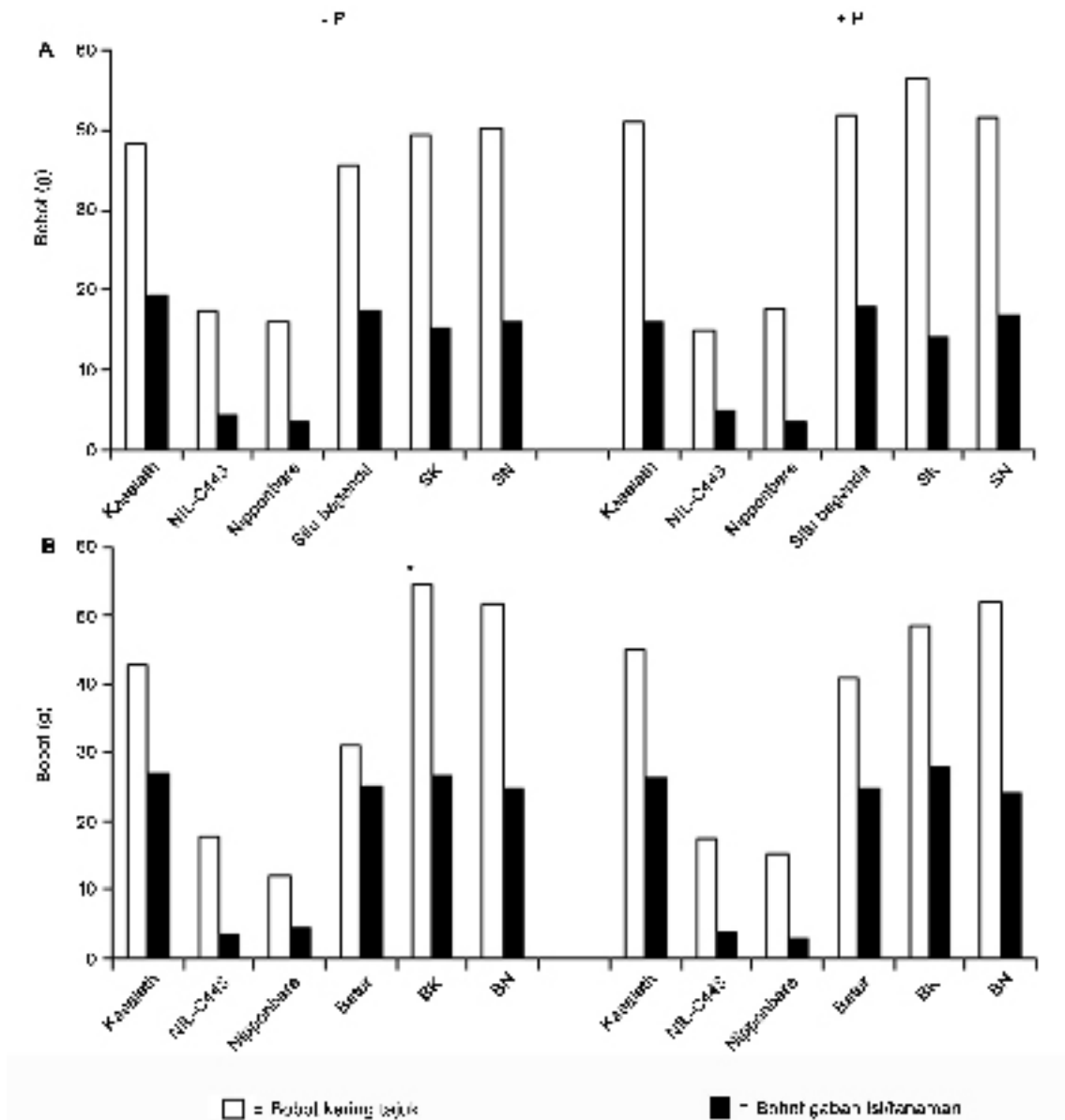
Tabel 4. Rata-rata peubah tinggi tanaman dan jumlah anakan produktif pada persilangan Situ Bagendit dan Batur di KP Taman Bogo Lampung

Genotipe	Tinggi tanaman (cm)			Jumlah anakan produktif			Kriteria
	(-) P	(+) P	Relatif (%)	(-) P	(+) P	Relatif (%)	
Kasalath	100.30	88.33	113.59	14.93	17.07	87.46	Sangat Toleran
NIL-C443	59.60	55.47	107.45	15.33	12.73	120.42	Sangat Toleran
Nipponbare	52.60	54.67	96.21	15.20	13.47	112.84	Sangat Toleran
Situ Bagendit	66.84	62.70	106.60	21.47	18.90	113.60	Sangat Toleran
SK	89.52*	85.20*	106.07	16.69	17.51	95.32	Sangat Toleran
SN	63.61	69.15	91.99	21.62	19.63	110.14	Sangat Toleran
Batur	107.07	112.10	95.51	9.10	10.50	86.67	Sangat Toleran
BK	106.66	117.99	90.40	10.85*	10.97	98.91	Sangat Toleran
BN	119.41	118.01	101.19	9.03	11.42	79.07	Toleran

Keterangan: Rata-rata dihitung dari 6 galur pada masing-masing persilangan, dimana masing-masing galur terdiri atas 3 ulangan dan tiap ulangan terdiri atas 5 tanaman; Beda nyata dengan tetua Situ Bagendit (*) berdasarkan uji t-Student pada taraf α = 5%; SK = BC₂F₃ Situ Bagendit x Kasalath; SN = BC₂F₃ Situ Bagendit x NIL-C443; BK = BC₂F₃ Batur x Kasalath; BN = BC₂F₃ Batur x NIL-C443; (-) dan (+) berturut-turut menunjukkan tanpa- dan dengan pemupukan P

ini selalu tidak bisa berdiri sendiri (Heuer *et al.*, 2009). Hal tersebut diperkuat dengan penelitian Gamuyao *et al.* (2012) yang membuktikan bahwa gen *PSTOL1* yang terletak di dalam lokus *Pup1* bertindak sebagai *enhancer* di dalam

penangkapan P. Gen tersebut bekerja sama dengan gen lain untuk meningkatkan proses penangkapan P, sehingga tanpa adanya gen tersebut konsentrasi P di dalam tanaman menjadi lebih rendah.



Gambar 3. Bobot kering tajuk dan bobot gabah isi per tanaman pada tetua dan galur-galur persilangan BC_2F_3 Situ Bagendit (A) dan Batur (B); SK = BC_2F_3 Situ Bagendit x Kasalath; SN = BC_2F_3 Situ Bagendit x NIL-C443; BK = BC_2F_3 Batur x Kasalath; BN = BC_2F_3 Batur x NIL-C443; * = berbeda nyata berdasarkan uji t-Student

KESIMPULAN

Pengaruh *Pup1* lebih jelas terlihat pada kondisi kurang P dan terecekam Al dibandingkan pada kondisi cukup P pada percobaan larutan hara dan lapangan. Pengaruh *Pup1* pada turunan Situ Bagendit dan Batur dapat meningkatkan bobot kering tajuk, tetapi tidak meningkatkan bobot gabah isi per tanaman dibanding tetuanya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Abdelbagi M. Ismail, Dr. Sigrud Heuer, Dr. Jong Hyoon Chin (IRRI) dan Dr. Matthias Wissuwa (JIRCAS) atas bantuan pendanaan dan diskusi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, K., D. Sopandie, Trikoesoemaningtyas, D. Wirnas. 2010. Tanggapan fisiologi akar sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) terhadap cekaman defisiensi fosfor di dalam rhizotron. J. Agron. Indonesia 38:88-94.
- Chin, J.H., X. Lu, S.M. Haefele, R. Gamuyao, A.M. Ismail, M. Wissuwa, S. Heuer. 2010. Development and application of gene-based markers for the major rice QTL Phosphorus uptake 1. Theor. Appl. Genet. 120:1073-1086.
- Chin, J.H., R. Gamuyao, C. Dalid, M. Bustamam, J. Prasetyono, S. Moeljopawiro, M. Wissuwa, S. Heuer. 2011. Developing rice with high yield under phosphorus deficiency: *Pup1* sequence to application. Plant Physiol. 156:1202-1216.
- Dellaporta, S.L., J. Wood, J.B. Hicks. 1983. A plant DNA miniprep: Version II. Plant Mol. Biol. Rep. 1:19-21.
- Dobermann, A., T. Fairhurst. 2000. Rice : Nutrient Disorders and Nutrient Management. IRRI. Philippines.
- Gamuyao, R., J.H. Chin, J.P. Tanaka, P. Pesaresi, S. Catausan, C. Dalid, I.S. Loedin, E.M.T. Mendoza, M. Wissuwa, S. Heuer. 2012. The protein kinase *Pstoll* from traditional rice confers tolerance of phosphorus deficiency. Nature 488:535-541.
- Heuer, S., X. Lu, J.H. Chin, J.P. Tanaka, H. Kanamon, T. Matsumoto, T.D. Leon, V.J. Ulat, A.M. Ismail, M. Yano, M. Wissuwa. 2009. Comparative sequence analyses of the major quantitative trait locus phosphorus uptake 1 (*Pup1*) reveal a complex genetic structure. Plant Biotech. J. 7:456-471.
- Hu, B., P. Wu, C.Y. Liao, W.P. Zhang, J.J. Ni. 2001. QTLs and epistasis underlying activity of acid phosphatase under phosphorus sufficient and deficient condition in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Soil 230:99-105.
- [IRRI] International Rice Research Institute. 1996. Standard Evaluation System for Rice. 4th Ed. IRRI, Manila, Philippines.
- Ma, J.F., R. Shen, Z. Zhao, M. Wissuwa, Y. Takeuchi, T. Ebitani, M. Yano. 2002. Response of rice to Al stress and identification of quantitative trait loci for Al tolerance. Plant Cell Physiol. 43:652-659.
- Ming, F., X. Zheng, G. Mi, L. Zhu, F. Zhang. 2001. Detection and verification of quantitative trait loci affecting tolerance to low phosphorus in rice. J. Plant Nutr. 24:1399-1408.
- Ni, J.J., P. Wu, D. Senadhira, N. Huang. 1998. Mapping QTLs for phosphorus deficiency tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). Theor. Appl. Genet. 97:1361-1369.
- Prasetyo, B.H., A.A. Suriadikarta. 2006. Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. J. Litbang. Pertanian 25:40-46.
- Prasetyono, J. 2010. Studi efek introgresi *Pup1* (P uptake) untuk meningkatkan toleransi padi terhadap defisiensi fosfor. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ryan, P.R., J.M. Ditomaso, L.V. Kochian. 1993. Aluminum toxicity in roots: An investigation of spatial sensitivity and the role of the root cap. J. Exp. Bot. 44:437-446.
- Shimizu, A., S. Yanagihara, S. Kawasaki, H. Ikehashi. 2004. Phosphorus deficiency-induced root elongation and its QTL in rice (*Oryza sativa* L.). Theor. Appl. Genet. 109:1361-1368.
- Sudarman, O. 2004. Teknik penyaringan galur padi gogo toleran terhadap defisiensi fosfat. Bul. Teknik Pertanian 9:50-52.
- Wissuwa, M., M. Yano, N. Ae. 1998. Mapping of QTLs for phosphorus-deficiency tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). Theor. Appl. Genet. 97:777-783.
- Wissuwa, M., N. Ae. 2000. Genotypic variation for tolerance to phosphorus deficiency in rice and the potential for its exploitation in rice improvement. Plant Breed. 120:43-48.
- Wissuwa, M., N. Ae. 2001. Further characterization of two QTLs that increase phosphorus uptake of rice (*Oryza sativa* L.) under phosphorus deficiency. Plant Soil 237:275-286.
- Wissuwa, M., J.N. Wegner, N. Ae, M. Yano. 2002. Substitution mapping of *Pup1*: a major QTL increasing phosphorus uptake of rice from a phosphorus-deficient soil. Theor. Appl. Genet. 105:890-897.
- Yoshida, S., D.A. Forno, J. Cock, K.A. Gomez. 1976. Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice. IRRI. Los Banos. Philippines.