

fil
12/7/2010

DISERTASI

**STUDI EFEK INTROGRESI *PUP1 (P Uptake1)* UNTUK
MENINGKATKAN TOLERANSI PADI TERHADAP
DEFISIENSI FOSFOR**

JOKO PRASETTYONO



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2010**

DISERTASI

**STUDI EFEK INTROGRESI *PUP1 (P Uptake1)* UNTUK
MENINGKATKAN TOLERANSI PADI TERHADAP
DEFISIENSI FOSFOR**

JOKO PRASETIYONO

AGR/361050141



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2010**

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi saya yang berjudul "STUDI EFEK INTROGRESI *PUP1 (P Uptake1)* UNTUK MENINGKATKAN TOLERANSI PADI TERHADAP DEFISIENSI FOSFOR" adalah hasil karya sendiri dengan arahan Komisi Pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun untuk memperoleh gelar program sejenis di perguruan tinggi lain mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun yang tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Bogor, Agustus 2010

Joko Prasetyono

NRP. 361050141

ABSTRACT

JOKO PRASETIYONO. Study on the effect of *Pup1* (*P Uptake1*) introgression for increasing rice tolerancy to Phosphorus deficiency. Supervised by HAJRIAL ASWIDINNOOR, SUGIONO MOELJOPAWIRO, and DIDY SOPANDIE

Phosphorus is one of the major nutrient for plant. P-deficiency occurs in most of soil, mostly due to the bounding of P to minerals, such as Ca, Fe, and Al, therefore, P is not available for plants. Rice plant having tolerance to P-deficiency is very important, because it can decrease the input of P fertilizer, lime, and organic matter. Genes related to P uptake had been mapped (*Pup1/P Uptake1*) and some molecular markers for selection purposes have already been developed. Activities for introgression of *Pup1* into Indonesian modern rice varieties were conducted to increase the yield and to observe effect of *Pup* in the Indonesian varieties. *Pup1* from Kasalath and NIL-443 was introgressed into Situ Bagendit and Batur, through conventional breeding (backcross method). They are Situ Bagendit x Kasalath, Situ Bagendit x NIL-C443, Batur x Kasalath, and Batur x NIL-C443. Their progenies were selected using molecular markers (specific markers for *Pup1* and SSR markers). This experiments were conducted in Indonesia and IRRI (Philippines) since August 2006 up to June 2009. Development of *Pup1* lines were conducted using foreground, recombinant, dan background markers up to BC2F3 lines for each crossing. Based on molecular analysis, genotype condition of *Pup1* locus indicated homozygote locus for all of BC2F2 selected lines, and this result was also found in the subsequent generation. Small part of donor segment (Kasalath or NIL-C443) still remaining in the BC2F3 lines in different location, so it will influence plant performance. These donor parent segment were 1.6 – 2.6 % of genome total lenght of rice genome. Testing on BC2F3 lines were performed using 3 methods : nutrient solution (0.5 ppm P and 10 ppm P under 0 ppm Al and 45 ppm Al), Ultisol soil from Kentrong Village (2 kg P/ha and 25 kg P/ha), and field experiment at Taman Bogo, Lampung (no P fertilizer and add P fertilizer). The results showed that many variation of agronomic characters at each BC2F3 lines occurs for each experiment, but effect of *Pup1* on agronomic characters can be clearly detected on less P compared with adequate P. *Pup1* on BC2F3 lines influenced on the increasing of plant dry weight compared the parent, but tend to decrease on generative phase (especially weight of filled grain/plant), eventhough some lines showed better performance than their parent on both, dry weight and the weight of filled grain/plant. For further experiment, the BC2F3 lines had been selected at Taman Bogo field experiment, Lampung, by individual plant.

Keywords : *Pup1*, P deficiency, molecular analysis, nutrient solution, Ultisol soil, Taman Bogo

RINGKASAN

JOKO PRASETIYONO. Studi efek introgresi *Pup1* (*P Uptake1*) untuk meningkatkan toleransi padi terhadap defisiensi fosfor. Dibimbing oleh : HAJRIAL ASWIDINNOOR, SUGIONO MOELJOPAWIRO, and DIDY SOPANDIE

Defisiensi P biasanya terjadi pada hampir semua jenis tanah, karena kebanyakan P dalam kondisi terikat oleh unsur-unsur lain, seperti Ca, Fe, dan Al, sehingga P yang tersedia untuk tanaman menjadi sedikit. P merupakan salah satu unsur utama bagi pertumbuhan tanaman padi, sehingga kekurangan P akan mengurangi jumlah anakan dan produksi bulir padi. Tanaman padi yang toleran terhadap defisiensi P dapat mengurangi input tambahan seperti pemupukan P, kapur, dan bahan organik. Input ini memerlukan biaya yang besar, dan barangkali tidak terjangkau oleh petani kecil. Pada saat ini gen-gen yang terkait dengan penangkapan P (dinamakan *Pup1/P Uptake1*) telah dipetakan dengan baik dan telah dibuat marka-marka yang spesifik untuk lokus tersebut. *Pup1* ini disinyalir dapat merangsang pembentukan akar yang lebih banyak pada kondisi kurang P dibandingkan jenis padi yang lain.

Oleh karena itulah dilakukan penelitian memasukkan segmen *Pup1* ke dalam padi Indonesia dengan persilangan biasa dan seleksi menggunakan marka molekuler. Penelitian ini dilakukan di Indonesia dan IRRI dari bulan Agustus 2006 s.d. Juni 2009. Tetua yang digunakan sebagai sumber *Pup1* adalah Kasalath dan NIL-C443 sedangkan tetua Indonesia sebagai tetua penerima adalah Situ Bagendit dan Batur, sehingga didapatkan kombinasi persilangan Situ Bagendit x Kasalath, Situ Bagendit x NIL-C443, Batur x Kasalath, dan Batur x NIL-C443. Metode persilangan yang digunakan adalah silang balik (*backcross*), dan seleksi setiap individu hasil persilangan menggunakan primer *foreground*, *recombinant*, dan *background*. Marka yang digunakan adalah marka spesifik untuk *Pup1* sebagai marka *foreground*, dan marka mikrosatelit (SSR) sebagai marka *recombinant* dan *background*. Seleksi dilakukan sejak tanaman F1 sampai tanaman BC2F2, sehingga didapatkan lokus *Pup1* dalam kondisi homozigot. Lokus yang homozigot ini diperkirakan tidak akan berubah lagi untuk generasi berikutnya. Uji fenotipik menggunakan galur-galur BC2F3 dilakukan dengan menggunakan larutan hara Yoshida, perlakuan pemupukan pada tanah PMK (Podsolik Merah Kuning) dari Desa Kentrong, dan perlakuan pemupukan di lapangan (KP Taman Bogo, Lampung).

Analisis molekuler yang dilakukan dengan menggunakan marka *foreground* dan *recombinant* untuk *Pup1* telah menghasilkan lokus homozigot pada seluruh tanaman BC2F2. Namun, sebagian segmen tetua donor (Kasalath atau NIL-C443) masih tertinggal di dalam galur-galur BC2F2 dengan lokasi yang berbeda-beda, sehingga mempengaruhi penampilan tanaman. Hasil analisis molekuler menggunakan marka *background* pada individu terbaik BC2F2 menunjukkan lokus-lokus homozigot yang dideteksi lebih banyak didapatkan pada persilangan dengan NIL-C443, dibandingkan dengan Kasalath. Segmen Kasalath yang masih tertinggal pada individu BC2F2 terbaik persilangan Situ Bagendit x Kasalath diperkirakan sebesar 31,7 cM (1,77%) sedangkan Batur x

Kasalath diperkirakan sebesar 48,2 cM (2,6%). Segmen Nipponbare (dari NIL-C443) yang masih tertinggal pada individu terbaik BC2F2 persilangan Situ Bagendit x NIL-C443 diperkirakan sebesar 35,16 cM (1,96%), sedangkan Batur x NIL-C443 diperkirakan sebesar 28,8 cM (1,61 %).

Pengujian galur-galur BC2F3 dilakukan dengan menggunakan larutan hara Yoshida pada 2 dosis P, yakni 0,5 ppm P dan 10 ppm P, dimana keduanya dilakukan dalam kondisi tidak tercekam Al (0 ppm Al) dan tercekam Al (45 ppm Al). Hasil percobaan menunjukkan terdapat peningkatan nilai karakter agronomis (kecuali panjang akar) pada galur-galur BC2F3 seiring dengan peningkatan kadar P, baik pada kondisi 0 ppm Al dan 45 ppm Al. Skoring P berdasarkan bobot kering total menunjukkan kriteria bervariasi dari peka, sedang, dan toleran (kebanyakan sedang) pada galur-galur BC2F3 pada kondisi tanpa cekaman Al, namun semua galur BC2F3 yang diuji menunjukkan reaksi peka terhadap defisiensi P pada kondisi tercekam 45 ppm Al. Nilai rata-rata bobot kering total galur-galur BC2F3 pada kondisi kurang P (baik ada cekaman Al maupun tidak) menunjukkan peningkatan respon pada kondisi kurang P dibanding tetuanya (Situ Bagendit dan Batur), membuktikan *Pup1* telah memberi pengaruh positif pada galur-galur keturunan Situ Bagendit dan Batur. Nilai kadar P dan turunannya (TSP, REP, EPP, dan ESP) menunjukkan peningkatan pada kondisi kurang P dibanding tetuanya, sedangkan REP dan EPP cenderung menurun pada kondisi kurang P. Bobot kering total dan bobot kering akar pada kondisi kurang P (0,5 ppm P) dapat digunakan sebagai peubah utama untuk memilih galur-galur baru yang toleran terhadap defisiensi P menunjukkan *Pup1* memberikan pengaruh positif pada galur-galur BC2F3.

Pengujian menggunakan tanah Podsolik Merah Kuning dari Desa Kentrong (Jawa Barat) dilakukan dengan perlakuan 2 kg P/ha sebagai perlakuan kurang P dan 25 kg P/ha sebagai perlakuan cukup P. Hasil percobaan menunjukkan kondisi yang sangat ekstrim untuk percobaan P. Pada perlakuan kurang P (dosis 2 kg P/ha) hampir semua individu BC2F3 menunjukkan tekanan pertumbuhan, sehingga nilai karakter agronomisnya menurun, tidak ada yang melebihi tetuanya. Namun, pada kondisi cukup P (25 kg P/ha) terjadi peningkatan respon pertumbuhan. Hal ini menunjukkan tanah PMK dari Desa Kentrong memiliki tingkat kesuburan yang sangat rendah, sehingga bisa dipakai untuk skreening plasma nutfah padi untuk sifat defisiensi P yang sangat ekstrim. Walaupun secara umum tanaman tidak menunjukkan penampilan yang baik dibandingkan tetuanya, namun terdapat beberapa galur BC2F3 yang menunjukkan penampilan lebih baik dibanding tetua Situ Bagendit baik pada kondisi kurang P ataupun cukup P.

Pengujian di lapang dilakukan di KP Taman Bogo, Lampung, di lahan yang subur dengan perlakuan dipupuk P dan tidak dipupuk P. Pada persilangan Situ Bagendit x Kasalath, NIL-C443 pengaruh *Pup1* terlihat jelas pada peningkatan bobot kering tajuk yang jauh melebihi tetuanya, namun peningkatan bobot kering tajuk justru mengurangi bobot gabah isi/tanaman pada semua BC2F3 persilangan tersebut. Pada persilangan Batur x Kasalath, NIL-C443 *Pup1* tidak hanya meningkatkan bobot kering tajuk pada semua galur BC2F3, tapi juga meningkatkan rata-rata bobot gabah isi/tanaman pada persilangan Batur x Kasalath. Berdasarkan hal tersebut persilangan Batur (terutama Batur x Kasalath)

menunjukkan efek yang positif terhadap terhadap kondisi defisiensi P pada lahan tersebut.

Berdasarkan ketiga metode yang digunakan pada 6 galur BC2F3 terpilih, terlihat tidak ada konsistensi data untuk nomor galur yang sama pada ketiga metode tersebut setelah diuji dengan uji Dunnet 5%. Oleh karena itu dibuat tabel yang memuat tabulasi galur-galur yang diuji pada beberapa peubah penting dalam penelitian defisiensi P. Berdasarkan penjumlahan galur yang melebihi tetuanya (kurang dan cukup P), terlihat jumlah galur yang nilai agronomisnya melebihi tetuanya pada kondisi kurang P jauh lebih banyak dibandingkan dengan pada kondisi cukup P, menunjukkan ekspresi *Pup1* terlihat jelas pada kondisi kurang P dibandingkan cukup P. Berdasarkan tabulasi total dari karakter-karakter penting terlihat persilangan dengan Batur (Batur x Kasalath, Batur x NIL-C443) menunjukkan kondisi yang lebih baik dibandingkan persilangan dengan Situ Bagendit.

Seleksi galur-galur BC2F3 untuk kegiatan selanjutnya dilakukan secara individual (per tanaman) yang telah dilakukan pada percobaan lapang di Lampung. Pada tanaman BC2F3 ini segmen *Pup1* diasumsikan tetap dalam kondisi homozigot, walaupun lokus-lokus lain masih terjadi segregasi. Hal ini terlihat jelas pada saat tanaman ditanam di lapangan (KP-Taman Bogo), dimana galur-galur yang berasal dari turunan Kasalath memiliki tinggi tanaman yang tidak seragam dalam 1 nomor, sedangkan turunan dari NIL-C443 memiliki tinggi tanaman yang relatif seragam. Penelitian ini masih terus berlanjut untuk memilih satu galur terbaik yang diharapkan bisa membawa perubahan dalam pertanian di Indonesia. Dengan melihat beberapa hasil percobaan yang telah dilaksanakan, barangkali pemberian pupuk P bisa dikurangi sampai 0,5 dosis dari sekarang dengan memberikan hasil yang sama, atau bahkan lebih tinggi dari yang sudah ada. Hal ini perlu penelitian lebih lanjut dan berkesinambungan.

Kata kunci : Pup1, defisiensi P, analisis molekuler, larutan hara, tanah Ultisol (PMK), Taman Bogo

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2010
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumber.
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh Karya tulis dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB

**STUDI EFEK INTROGRESI *PUP1 (P Uptake1)* UNTUK
MENINGKATKAN TOLERANSI PADI TERHADAP DEFISIENSI
FOSFOR**

JOKO PRASETIYONO

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Agronomi

**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2010**

- Penguji pada Ujian Tertutup : 1. Dr. Ir. Sobir, MS
2. Dr. Sintho Wahyuning Ardie, SP, MSi.
- Penguji pada Ujian Terbuka : 1. Dr. Ir. Suwarno, MS
2. Dr. Ir. Anas D. Susila, MSi.

Judul Disertasi : STUDI EFEK INTROGRESI *PUP1 (P Uptake1)*
UNTUK MENINGKATKAN TOLERANSI PADI
TERHADAP DEFISIENSI FOSFOR

Nama : Joko Prasetyono
NRP : A361050141
Program Studi : Agronomi

Disetujui,
Komisi Pembimbing,

Dr. Ir. Hajrial Aswidinnoor, M.Sc.
Ketua

Dr. Ir. Sugiono Moeliopawiro, M.Sc.
Anggota

Prof. Dr. Ir. Didy Sopandic, M.Agr.
Anggota

Mengetahui,

Ketua Program Studi Agronomi

Dekan Sekolah Pascasarjana,

Dr. Ir. Munif Ghulamahdi, MS

Prof. Dr. Ir. Khairil Anwar Notodiputro, MS

Tanggal Ujian :

Tanggal Lulus :

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala pertolongan-Nya sehingga penelitian dan karya tulis ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Agustus 2006 ini ialah masalah defisiensi Fosfor, dengan judul “Studi efek introgresi *Pup1 (P Uptake1)* untuk meningkatkan toleransi padi terhadap defisiensi fosfor”.

Disertasi ini memuat 5 bab penelitian, yang mana bab yang berjudul “Identifikasi Marka Polimorfik untuk Pemuliaan Padi Toleran Defisiensi Fosfor” telah diterbitkan di dalam Jurnal Agro Biogen (Volume 4 Nomor 2, Oktober 2008), sementara keempat bab lainnya telah ditampilkan dalam beberapa poster yang telah dipamerkan pada beberapa event internasional. Disertasi ini merupakan bagian dari penelitian yang didanai oleh Proyek Generation Challenge Programme, sejak tahun 2005 sampai 2010.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Hajrial Aswidinnoor, MSc, Bapak Dr. Sugiono Moeljopawiro, MSc., dan Bapak Prof. Dr. Didy Sopandie, selaku komisi pembimbing. Dr. Munif Ghulamahdi selaku Ketua Program Studi Agronomi. Dr. Abdelbagi M. Ismail, Dr. Sigrid Heuer, dan Dra. Masdiar Bustamam, MSc. selaku penyandang dana sekolah dan penelitian. Di samping itu kepada Dr. Matthias Wissuwa dan Dr. Joong Hyoun Chin yang telah banyak membantu dalam diskusi penelitian. Ungkapan terima kasih juga penulis sampaikan ke Dr. Sutrisno dan Dr. Karden Mulya (Kepala BB-Biogen) dan Dr. Achmad Suryana (Kepala Badan Litbang Pertanian) yang telah mengizinkan penulis melaksanakan tugas belajar ini. Ungkapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada anggota Tim GCP-Indonesia lainnya: Dr. Ida Hanarida, Dr. Sarlan Abdurrahman, Ir. Tintin Suhartini, Fajar Suryawan, Mahruf, dan Iman Ridwan yang telah banyak membantu dalam kegiatan penelitian. Terakhir, ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, istri, anak, serta seluruh keluarga, atas segala doa dan semangatnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Bogor, Agustus 2010

Joko Prasetyono

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Semarang pada tanggal 6 Januari 1972 sebagai anak bungsu dari pasangan Sandi dan Seniyem. Pendidikan sarjana di Program Studi Pemuliaan Tanaman, Jurusan Agronomi, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada diperoleh pada tahun 1995. Pada tahun 2000 penulis diterima di Program Studi Bioteknologi pada Program Pasca Sarjana IPB dan tamat pada tahun 2003. Pada tahun 2005 penulis diterima di Program Studi Agronomi Sekolah Pasca Sarjana IPB, dimana biaya sekolah dan penelitian diperoleh dari Proyek Generation Challenge Program.

Penulis bekerja sebagai staf peneliti di Balai Besar Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian sejak tahun 1996 dan ditempatkan di Kelompok Peneliti Biologi Molekuler dan menekuni bidang marka molekuler untuk pemuliaan tanaman, terutama tanaman padi, sejak tahun 1996 sampai sekarang.

Selama mengikuti program S3, penulis mendapat kesempatan "on the job training" selama 3 bulan di IRRI melalui GCP Travel Grant Awards. Satu karya ilmiah telah diterbitkan pada jurnal *Agro Biogen* (2008), dan tiga buah poster yang memuat perkembangan penelitian telah ditampilkan dalam event internasional, yakni: (i) Generation Challenge Programme Annual Research Meeting (GCP-ARM), tanggal 12-16 September 2007 di Benoni, Afrika Selatan, (ii) GCP Annual Research Meeting, tanggal 16-20 September 2008, di Bangkok, Thailand, dan (iii) 6th International Rice Genetic Symposium, 16-19 Nopember 2009 di Manila, Philipina.

Penulis menikah dengan Tasliah, SSi, MSi pada tahun 1997 dan dikaruniai tiga orang anak : Zahran Fauzan (2000), Daffa Jauhari Munir (2004), dan Anas Malik Syauqi (2006).

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
GLOSSARY.....	xxi
 PENDAHULUAN	
Latar Belakang.....	1
Tujuan Penelitian.....	4
Strategi Penelitian.....	4
 TINJAUAN PUSTAKA	
Pengaruh Unsur P pada Tanaman.....	7
Mekanisme Toleransi Terhadap Defisiensi P.....	9
Perkembangan Marka Molekuler untuk Pemuliaan Tanaman	10
Mengenal <i>Pup1</i> (<i>P uptake 1</i>).....	15
 IDENTIFIKASI MARKA POLIMORFIK UNTUK PEMULIAAN PADI TOLERAN DEFISIENSI FOSFOR	
Abstrak.....	23
<i>Abstract</i>	23
Pendahuluan.....	24
Bahan dan Metode.....	25
Hasil dan Pembahasan.....	26
Simpulan.....	33
Daftar Pustaka.....	33
 APLIKASI MARKA MOLEKULER UNTUK SELEKSI GALUR- GALUR <i>PUP1</i> HASIL PERSILANGAN SITUBAGENDIT DAN BATUR	
Abstrak.....	35
<i>Abstract</i>	35
Pendahuluan.....	36
Bahan dan Metode.....	37
Hasil dan Pembahasan.....	42
Simpulan.....	61
Daftar Pustaka.....	61
 PENGUJIAN GALUR-GALUR BC2F3- <i>PUP1</i> MENGGUNAKAN LARUTAN HARA YOSHIDA	
Abstrak.....	63
<i>Abstract</i>	63
Pendahuluan.....	64
Bahan dan Metode.....	65
Hasil dan Pembahasan.....	67
Simpulan.....	88
Daftar Pustaka.....	89

PENGUJIAN GALUR-GALUR BC2F3-PUPI MENGGUNAKAN TANAH PODSOLIK MERAH KUNING

Abstrak.....	91
<i>Abstract</i>	91
Pendahuluan.....	92
Bahan dan Metode.....	93
Hasil dan Pembahasan.....	94
Simpulan.....	117
Daftar Pustaka.....	117

PENGUJIAN GALUR-GALUR BC2F3-PUPI DI LAPANGAN

Abstrak.....	120
<i>Abstract</i>	120
Pendahuluan.....	121
Bahan dan Metode.....	122
Hasil dan Pembahasan.....	123
Simpulan.....	141
Daftar Pustaka.....	141

PEMBAHASAN UMUM.....	144
SIMPULAN DAN SARAN.....	151
DAFTAR PUSTAKA.....	153
LAMPIRAN.....	158

DAFTAR TABEL

1	Perbandingan marka RFLP, RAPD, AFLP, dan mikrosatelit.....	13
2	Gen-gen yang diduga berperan dalam mekanisme toleransi terhadap defisiensi P pada Kasalath.....	21
3	Primer-primer yang digunakan untuk seleksi <i>foreground</i> dan <i>recombinant</i>	25
4	Skoring hasil amplifikasi enam tetua menggunakan primer utama.....	28
5	Hasil tabulasi polimorfisme pada 9 kombinasi persilangan dengan menggunakan 489 primer mikrosatelit untuk seleksi <i>background</i>	32
6	Marka-marka yang digunakan dalam seleksi tanaman F1, BC1F1, BC2F1, dan BC2F2.....	38
7	Jumlah benih yang dihasilkan tiap generasi	42
8	Jumlah tanaman yang dipakai untuk analisis molekuler menggunakan primer <i>foreground</i> dan <i>recombinant</i>	45
9	Tabulasi seleksi <i>background</i> untuk persilangan Situ Bagendit x Kasalath.....	56
10	Tabulasi seleksi <i>background</i> untuk persilangan Situ Bagendit x NIL-C443.....	57
11	Tabulasi seleksi <i>background</i> untuk persilangan Batur x Kasalath.....	58
12	Tabulasi seleksi <i>background</i> untuk persilangan Batur x NIL-C443.....	59
13	Analisis sidik ragam (Nilai F Hitung) beberapa peubah karakter agronomis galur-galur BC2F3 persilangan Situ Bagendit pada larutan hara Yoshida.....	70
14	Rata-rata peubah bobot kering total pada persilangan Situ Bagendit dengan dua dosis P dan Al dalam larutan hara Yoshida.....	75
15	Nilai korelasi antar peubah pada persilangan Situ Bagendit x Kasalath, NIL-C443 dan tetua Situ Bagendit pada larutan hara Yoshida	75
16	Rata-rata peubah rasio efisiensi P pada persilangan Situ Bagendit dengan dua dosis P dan Al dalam larutan hara Yoshida.....	78
17	Rata-rata peubah efisiensi penggunaan P pada persilangan Situ Bagendit dengan dua dosis P dan Al dalam larutan hara Yoshida...	78
18	Rata-rata peubah efisiensi serapan P pada persilangan Situ Bagendit dengan dua dosis P dan Al dalam larutan hara Yoshida.....	79
19	Analisis sidik ragam (Nilai F Hitung) beberapa peubah karakter agronomis galur-galur BC2F3 persilangan Batur pada larutan hara Yoshida.....	81
20	Rata-rata peubah bobot kering total pada persilangan Batur dengan dua dosis P dan Al dalam larutan hara Yoshida.....	85
21	Nilai korelasi antar peubah pada persilangan Batur x Kasalath, NIL-C443 dan tetua Situ Bagendit pada larutan hara Yoshida.....	86
22	Rata-rata peubah rasio efisiensi P pada persilangan Batur dengan dua dosis P dan Al dalam larutan hara Yoshida.....	87
23	Rata-rata peubah efisiensi penggunaan P pada persilangan Batur dengan dua dosis P dan Al dalam larutan hara Yoshida.....	88
24	Rata-rata peubah efisiensi serapan P pada persilangan Batur dengan dua dosis P dan Al dalam larutan hara Yoshida.....	89

25	Hasil analisis tanah PMK dari Desa Kentrong, Kecamatan Cipanas, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten.....	96
26	Analisis sidik ragam (Nilai F Hitung) beberapa peubah karakter agronomis galur-galur BC2F3 persilangan Situ Bagendit pada tanah PMK Desa Kentrong.....	97
27	Rata-rata peubah jumlah anakan produktif dan bobot kering total pada persilangan Situ Bagendit dengan dua dosis pemupukan pada tanah PMK Desa Kentrong.....	99
28	Rata-rata jumlah gabah isi, jumlah gabah hampa, dan jumlah gabah total/tanaman persilangan Situ Bagendit pada tanah PMK Desa Kentrong.....	104
29	Nilai korelasi antar peubah komponen agronomis persilangan Situ Bagendit pada tanah PMK Desa Kentrong.....	105
30	Rata-rata peubah rasio efisiensi P, efisiensi penggunaan P, dan efisiensi serapan P persilangan Situ Bagendit pada tanah PMK. Desa Kentrong.....	107
31	Analisis sidik ragam (Nilai F Hitung) beberapa peubah karakter agronomis galur-galur BC2F3 persilangan Batur pada tanah PMK Desa Kentrong.....	109
32	Rata-rata jumlah anakan produktif dan bobot kering total persilangan Batur pada tanah PMK Desa Kentrong.....	110
33	Rata-rata peubah jumlah gabah isi, jumlah gabah hampa, dan jumlah gabah total persilangan Batur pada tanah PMK Desa Kentrong.....	114
34	Nilai korelasi antar peubah pada persilangan Batur x Kasalath, NIL dan tetua Batur di Rumah Kaca, BB-Biogen.....	115
35	Rata-rata peubah rasio efisiensi P, efisiensi penggunaan P, efisiensi serapan P persilangan Batur pada tanah PMK Desa Kentrong.....	117
36	Hasil analisis tanah pada lokasi percobaan KP Taman Bogo, Lampung	125
37	Analisis sidik ragam (Nilai F Hitung) beberapa peubah karakter agronomis galur-galur BC2F3 persilangan Situ Bagendit di KP Taman Bogo, Lampung.....	127
38	Rata-rata peubah jumlah anakan produktif pada persilangan Situ Bagendit di KP Taman Bogo, Lampung.....	129
39	Rata-rata peubah jumlah gabah isi, jumlah gabah hampa, dan jumlah gabah total per malai pada persilangan Situ Bagendit di KP Taman Bogo, Lampung.....	131
40	Nilai korelasi antar peubah pada persilangan Situ Bagendit x Kasalath, NIL-C443 dan tetua Situ Bagendit di Taman Bogo, Lampung.....	133
41	Analisis sidik ragam (Nilai F Hitung) beberapa peubah karakter agronomis galur-galur BC2F3 persilangan Batur di KP Taman Bogo, Lampung.....	135
42	Rata-rata peubah jumlah anakan produktif pada persilangan Batur di KP Taman Bogo, Lampung.....	137
43	Rata-rata peubah jumlah gabah isi/malai pada persilangan Batur di KP Taman Bogo, Lampung.....	139
44	Nilai korelasi antar peubah pada persilangan Batur x Kasalath, NIL-C433 dan tetua Batur di Taman Bogo, Lampung.....	141

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alur penelitian.....	6
2	Peta keberadaan <i>Pup1</i> pertama kali.....	17
3	Peta lokasi <i>Pup1</i> pada kromosom 12 Kasalath berdasarkan marka RFLP.....	18
4	Konversi marka RFLP ke dalam marka mikrosatelit.....	19
5	Peta terbaru yang menunjukkan posisi <i>Pup1</i>	20
6	Perkiraan kondisi <i>Pup1</i> pada Nipponbare dan Kasalath.....	20
7	Hasil amplifikasi 6 tetua menggunakan primer utama untuk seleksi <i>foreground</i> dan <i>recombinant</i> yang dipisahkan menggunakan gel poliakrilamid 5%	28
8	Hasil amplifikasi 6 tetua menggunakan primer-primer mikrosatelit untuk seleksi <i>background</i> yang dipisahkan menggunakan gel poliakrilamid 5%.....	30
9	Perbandingan jumlah primer polimorfik pada setiap kombinasi dari 9 persilangan.....	31
10	Rata-rata jumlah primer polimorfik pada setiap kromosom dari 9 persilangan.....	31
11	Rata-rata persentase primer polimorfik pada setiap kromosom dari 9 persilangan.....	32
12	Contoh hasil amplifikasi menggunakan primer <i>foreground</i> (F) dan <i>recombinant</i> (R) pada individu BC2F1 Situ Bagendit x NIL-C443 yang dipisahkan menggunakan gel poliakrilamid 5%.....	46
13	Contoh analisis <i>background</i> individu BC2F1 menggunakan primer mikrosatelit pada <i>non-denaturing gel</i>	49
14	Contoh analisis <i>background</i> individu BC2F1 menggunakan primer mikrosatelit pada <i>denaturing gel</i>	50
15	Perkiraan grafik genotipe individu terbaik tanaman BC2F2 persilangan Situ Bagendit x Kasalath no. 960 (kiri) dan persilangan Situ Bagendit x NIL-C443 no. 1256.....	60
16	Perkiraan grafik genotipe individu terbaik tanaman BC2F2 persilangan Batur x Kasalath no. 1946 (kiri) dan persilangan Batur x NIL-C443 no. 2329 (kanan).....	60
17	Respon tetua padi pada berbagai kondisi P dan A1 dalam larutan hara Yoshida.....	68
18	Histogram panjang akar dan tinggi tajuk persilangan Situ Bagendit pada perlakuan larutan hara Yoshida.....	71
19	Histogram bobot kering akar dan bobot kering tajuk persilangan Situ Bagendit pada perlakuan larutan hara Yoshida.....	73
20	Histogram Total Serapan P persilangan Situ Bagendit pada perlakuan larutan hara Yoshida.....	77
21	Histogram panjang akar dan tinggi tajuk persilangan Batur pada perlakuan larutan hara Yoshida.....	82

22	Histogram bobot kering akar dan bobot kering tajuk persilangan Batur pada perlakuan larutan hara Yoshida.....	84
23	Histogram Total Serapan P persilangan Batur pada perlakuan larutan hara Yoshida.....	87
24	Histogram bobot kering akar dan bobot kering tajuk persilangan Situ Bagendit pada tanah PMK Desa Kentrong.....	101
25	Histogram bobot kering total dan bobot gabah isi persilangan Situ Bagendit pada tanah PMK Desa Kentrong.....	102
26	Histogram total serapan P persilangan Situ Bagendit pada tanah PMK Desa Kentrong.....	106
27	Histogram bobot kering akar dan bobot kering tajuk persilangan Batur pada tanah PMK Desa Kentrong.....	112
28	Histogram bobot kering total dan bobot gabah isi/tanaman persilangan Batur pada tanah PMK Desa Kentrong.....	113
29	Histogram total serapan P persilangan Batur pada tanah PMK Desa Kentrong.....	116
30	Histogram tinggi tanaman BC2F3 persilangan Situ Bagendit pada pengujian lapang di KP Taman Bogo, Lampung.....	128
31	Histogram bobot kering tajuk dan bobot gabah isi/tanaman persilangan Situ Bagendit pada pengujian lapang di KP Taman Bogo, Lampung.....	132
32	Histogram tinggi tanaman BC2F3 persilangan Batur pada pengujian lapang di KP Taman Bogo, Lampung.....	136
33	Histogram bobot kering tajuk dan bobot gabah isi/tanaman persilangan Batur pada pengujian lapang di KP Taman Bogo, Lampung.....	140

DAFTAR LAMPIRAN

1	Deskripsi varietas Situ Bagendit dan Batur.....	158
2	Detil perkiraan grafik genotipe pada tanaman BC2F2 terbaik empat persilangan.....	160
3	Genotipe yang digunakan dalam pengujian di rumah kaca dan lapangan.....	172
4	Komposisi larutan hara Yoshida	173
5	Rumus-rumus yang digunakan dalam penelitian.....	173
6	Kadar P jaringan tanaman BC2F3 pada pengujian larutan hara Yoshida.....	174
7	Kadar P jaringan tanaman BC2F3 pada pengujian larutan dengan tanah.....	175
8	Hasil analisis molekuler tetua-tetua Indonesia menggunakan primer-primer spesifik untuk <i>Pup1</i>	176
9	Korelasi antar percobaan pengujian P pada beberapa peubah penting..	178
10	Tabulasi peubah-peubah penting hasil pengujian galur-galur BC2F3 pada larutan hara, tanah PMK, dan lapangan.....	179

GLOSSARY

<i>Backcross</i>	: Metode persilangan dimana individu terpilih disilangkan dengan tetua pemulih
cM (centiMorgan)	: Satuan yang menunjukkan pindah silang, 1 cM $\approx$ 250 kilo base pair.
<i>Denaturing gel</i>	: Gel poliakrilamid yang menggunakan Urea, dan DNA yang dipakai dalam kondisi utas tunggal (terdenaturasi)
<i>Ethidium bromida</i>	: Metode pewarnaan DNA dengan menggunakan bahan kimia <i>Ethidium bromide</i> , dimana zat kimia ini akan menyisip di antara basa-basa dan berpendar saat diberi sinar UV sehingga bisa didokumentasikan
Larutan hara Yoshida	: Larutan hara yang mengandung komposisi lengkap nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman
LOD (<i>Logharitm of Odd</i>)	: Logaritma antara terjadi pindah silang dibandingkan dengan tidak terjadi pindah silang). LOD 3 berarti peristiwa terjadi pindah silang sebanyak 1000 kali dibandingkan dengan 1 kali tidak terjadi pindah silang
Marka <i>foreground</i>	: Marka molekuler yang terpaut sangat erat (<i>tightly linked</i>) dengan gen tertentu. Pada beberapa kasus bisa menggunakan marka-marka yang spesifik ke gen/kandidat gen itu sendiri
Marka <i>recombinant</i>	: Marka molekuler yang terletak berdekatan dengan marka <i>foreground</i> , terletak di ujung atas dan ujung bawah marka <i>foreground</i>
Marka <i>background</i>	: Marka molekuler yang terletak di seluruh kromosom. Marka SSR/mikrosatelit dapat dipakai sebagai marka <i>background</i>
Marka pengapit (<i>flanking marker</i>)	: Dua marka yang bisa menunjukkan keberadaan (perkiraan) gen-gen untuk sifat tertentu, dimana apabila dua marka ini dipakai segmen gen tersebut akan selalu terbawa
Marka SSR/mikrosatelit	: Marka molekuler yang dasar pembuatannya menggunakan sekuen-sekuen pendek yang berulang-ulang
Marka molekuler	: Marka/penanda yang berdasarkan DNA
Marka morfologi	: Marka/penanda yang berdasarkan kondisi morfologi, misalnya warna bunga
Mbp (Mega base pair)	: Ukuran DNA berdasarkan jumlah pasang basa. Mega base pair berarti 1 juta pasang basa
<i>Non denaturing gel</i>	: Gel poliakrilamid yang tidak menggunakan Urea, dan DNA yang dipakai dalam kondisi utas ganda
Pemetaan QTL	: Eksplorasi marka-marka yang terpaut dengan lokus-lokus yang mengatur sifat kuantitatif (QTL)

Peta genetik (<i>genetic map</i>)	: Pemetaan marka-marka DNA berdasarkan persilangan antara dua tanaman dengan sifat yang berbeda (mis. <i>indica</i> vs <i>japonica</i>)
Peta fisik (<i>physical map</i>)	: Pemetaan marka-marka DNA berdasarkan sekuen DNA yang tersedia
P-starvation	: Kondisi dimana tanaman selalu mengalami kekurangan P karena P yang masuk ke dalam tanaman dilokalisasi/disimpan ke dalam organel sel tanaman, misalnya vakuola. Kondisi tanah di sekitar tanaman sebetulnya cukup P
P-deficiency	: Kondisi dimana tanaman tidak bisa mendapatkan P cukup dari tanah karena P terikat oleh partikel tanah/unsur lain, atau kandungan P dalam tanah tidak mencukupi/kurang bagi tanaman
SAS	: Program perhitungan statistik yang dapat dipakai untuk menganalisis data-data pengamatan
Silver staining	: Metode pewarnaan DNA yang menggunakan perak nitrat (<i>Silver nitrat</i>)
QTL (<i>Quantitative Trait Loci</i>)	: Lokus-lokus yang mengatur sifat kuantitatif (panjang akar, tinggi tanaman, dll)
Ultisol	: Salah satu jenis tanah kering masam yang sebarannya sangat luas di Indonesia. Tanah Ultisol biasa disebut dengan tanah Podsolik Merah Kuning (PMK)