

Karakter Agronomi dan Hasil Galur Padi Toleran Rendaman

Aris Hairmansis, Supartopo, Bambang Kustianto, dan Hamdan Pane

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi
Jl. Raya IX, Sukamandi 41256, Subang, Jawa Barat

ABSTRACT. Agronomic Characteristics and Grain Yields of Submergence Tolerant Rice Lines. Use of submergence tolerant rice (*Oryza sativa* L.) cultivar for planting is an important adaptation strategy to reduce yield losses in flood prone rice areas. The aim of this study was to investigate the agronomic characteristics of submergence tolerant rice lines in a controlled environment. Six submergence tolerant rice lines carrying gene *Sub1* and their respective susceptible parents were evaluated. Rice cultivars Inpara 3 (tolerance) and IR42 (susceptible) were used as control. All rice genotypes were grown in replicated plots under two different environments, i.e., normal irrigation and 10 days complete submergence at vegetative plant stage. Results showed significant variations among rice genotypes for agronomic characteristics under the two different environments. Under the submergence condition, tolerant rice lines produced higher yields than did their parents, while under normal irrigation they performed comparably to their parents. Three tolerant lines, i.e., BR11-Sub1, Swarna-Sub1, and TDK1-Sub1 produced 5.76, 5.74, and 5.68 t/ha grain yield, respectively, under complete submergence for 10 days. These lines were considered as tolerant to submergence, and need to be tested further in a multi-location yield trial, in the targeted environments.

Keywords: Submergence tolerant rice, agronomic characteristics, controlled environments

ABSTRAK. Penanaman varietas padi toleran rendaman merupakan strategi adaptasi penting untuk menekan kehilangan hasil akibat rendaman di daerah rawan banjir. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakter agronomi galur-galur yang membawa gen toleran rendaman *Sub1* pada dua lingkungan yang terkontrol. Enam galur toleran rendaman diuji bersama-sama dengan induk masing-masing. Varietas unggul Inpara 3 dan IR42 digunakan sebagai varietas pembanding toleran dan peka rendaman. Genotipe-genotipe tersebut ditanam di dua kondisi yang berbeda yaitu di sawah irigasi normal dan sawah dengan perlakuan rendaman penuh selama 10 hari pada fase vegetatif. Hasil penelitian menunjukkan keragaman yang nyata antargenotipe untuk berbagai sifat agronomi pada dua lingkungan yang berbeda. Pada lingkungan dengan stres rendaman, galur-galur toleran menunjukkan potensi hasil yang lebih baik dari varietas induknya yang peka. Galur-galur tersebut memperlihatkan penampilan yang sebanding dengan varietas induknya di lingkungan normal. Pada lingkungan tercekam, galur toleran BR11-Sub1, Swarna-Sub1, dan TDK1-Sub1 masing-masing mampu menghasilkan 5,76; 5,74; dan 5,68 t GKG/ha, sehingga potensial untuk diikutsertakan dalam uji multilokasi pada lahan rawan banjir.

Kata kunci: Padi toleran rendaman, sifat agronomi, lingkungan terkontrol

Keberlanjutan produksi beras di Indonesia dan negara-negara penghasil padi lainnya menghadapi tantangan serius dengan adanya perubahan iklim global. Perubahan iklim dapat menyebabkan berbagai dampak negatif terhadap

pertanaman padi, antara lain peningkatan suhu udara, kekeringan, salinitas, dan rendaman (Wassman *et al.* 2009). Rendaman menjadi salah satu kendala abiotik penting karena dapat menyebabkan kerusakan fisiologis pada tanaman, meskipun secara alami padi merupakan tanaman yang dapat beradaptasi dengan baik di lahan berair (Ito *et al.* 1999; Setter *et al.* 1997). Oleh karena itu, peningkatan frekuensi banjir akibat perubahan iklim perlu segera diantisipasi. Salah satu strategi adaptasi untuk menekan dampak tersebut adalah penanaman varietas padi toleran rendaman (Mackill *et al.* 1993; Zeigler and Puckridge 1995; Wassman *et al.* 2009).

Toleransi padi terhadap rendaman bervariasi antar-varietas dan sifat tersebut diwariskan secara genetik (Suprihatno dan Coffman 1981; Mohanty and Khush 1985; Mackill *et al.* 1993; Setter *et al.* 1997). Varietas padi FR13A, misalnya, toleran terhadap rendaman penuh hingga 14 hari (Xu and Mackill 1996). Dengan bantuan teknik molekuler, Xu dan Mackill (1996) berhasil memetakan lokus sifat kuantitatif (QTL) penyandi utama toleransi terhadap rendaman, disebut gen *Sub1*, pada kromosom 9 yang berasal dari varietas toleran FR13A. Tersedianya penanda molekuler yang terpaut dengan gen *Sub1* memberikan peluang yang lebih besar dalam seleksi untuk mendapatkan galur padi toleran rendaman.

Galur-galur padi toleran rendaman yang membawa gen toleran *Sub1* telah berhasil dikembangkan oleh *International Rice Research Institute* (IRRI) di Filipina. Gen toleran rendaman tersebut diintroduksi ke dalam varietas-varietas unggul padi populer menggunakan metode silang balik dengan bantuan teknologi penanda molekuler (Neeraja *et al.* 2007; Septiningsih *et al.* 2009). Melalui program *International Network for Genetic Evaluation of Rice* (INGER), galur-galur toleran rendaman diintroduksi ke Indonesia. Galur-galur toleran tersebut diarahkan untuk ditanam di lahan yang rawan banjir dengan lama rendaman penuh yang tidak terlalu panjang, berkisar antara 1-2 minggu (*flash flood*) (Mackill *et al.* 1993). Galur-galur tersebut tidak sesuai untuk lahan rawa lebak air dalam dimana genangan air terjadi dalam jangka waktu lama. Di lahan rawa lebak dalam, padi air dalam dengan kemampuan pemanjangan batang yang cepat lebih sesuai untuk dibudidayakan dari pada padi toleran rendaman (Setter

dan Laureles 1996). Galur-galur yang membawa gen toleran rendaman Sub1 selanjutnya disebut sebagai galur Sub1.

Pengujian galur-galur hasil pemuliaan di lapangan sangat penting untuk mengetahui potensi hasil dan daya adaptasinya pada beragam kondisi. Sejumlah faktor lingkungan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman padi pada saat terjadi rendaman di lapangan. Faktor utama yang berpengaruh terhadap fisiologi tanaman padi saat terendam adalah keterbatasan pertukaran udara baik CO₂ maupun O₂ (Setter *et al.* 1997). Faktor-faktor lainnya antara lain kekeruhan air, temperatur udara, pencucian hara dari tanah, dan kerusakan mekanis akibat arus air (Setter *et al.* 1997). Untuk mengetahui pengaruh rendaman terhadap sifat agronomi galur-galur toleran diperlukan lingkungan pengujian yang terkontrol. Pengujian pada kondisi rendaman terkontrol diperlukan sebelum galur-galur toleran dievaluasi lebih lanjut di lingkungan alami rawan banjir, dimana berbagai faktor lingkungan berperan dalam menentukan fenotipe tanaman.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakter agronomi galur-galur toleran rendaman dari IRRI pada dua lingkungan yang berbeda, yaitu pada kondisi normal dan kondisi terendam dengan lingkungan yang terkontrol. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu dasar pemilihan galur toleran rendaman yang layak untuk diuji multilokasi pada lahan rawan rendaman yang menjadi syarat mutlak sebelum galur diusulkan untuk dilepas sebagai varietas unggul toleran rendaman.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan terhadap 14 genotipe padi yang terdiri atas galur-galur yang membawa gen toleran rendaman Sub1 hasil introduksi dari IRRI, varietas induk yang peka rendaman, dan varietas pembanding toleran dan peka rendaman (Tabel 1). Varietas induk seperti IR64, Swarna, BR11, Samba Mahsuri, TDK1, dan CR1009 merupakan varietas yang populer dan ditanam secara luas di Asia Selatan dan Asia Tenggara (Mackill *et al.* 1996; Neeraja *et al.* 2007; Septiningsih *et al.* 2009). Sebagai pembanding ditanam varietas peka rendaman IR42 dan varietas toleran rendaman Inpara 3.

Pengujian dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Besar Penelitian Tanaman Padi di Sukamandi pada musim kemarau (MK) 2009. Percobaan dilakukan di dua lingkungan berbeda, yakni di lahan sawah normal dan lahan sawah dalam bak buatan sedalam 1,5 m untuk pengaturan rendaman. Pada masing-masing lingkungan, percobaan disusun berdasarkan racangan acak kelompok lengkap dengan tiga ulangan. Masing-masing

genotipe ditanam pada petak berukuran 2 m x 5 m.

Perlakuan rendaman hanya dilakukan pada petak percobaan di sawah buatan. Perendaman dilakukan pada fase vegetatif awal dan dimulai pada saat tanaman berumur 21 hari setelah tanam (HST). Prosedur perendaman dilakukan berdasarkan metode yang diajukan oleh Pamplona *et al.* (2007). Lama perendaman ditentukan dengan mengamati tingkat kerusakan varietas peka IR42. Untuk itu, pada petak yang direndam ditanam juga varietas IR42 sebagai tanaman pinggir untuk memantau gejala kerusakan akibat rendaman. Pemantauan dilakukan dengan mencabut dan mengamati varietas IR42, dimulai tujuh hari setelah perendaman. Pada percobaan ini varietas IR42 menunjukkan gejala kerusakan akibat rendaman setelah dilakukan perendaman penuh selama 10 hari. Oleh karenanya ketinggian air rendaman dipertahankan di atas tajuk tanaman tertinggi selama 10 hari penuh. Setelah perendaman penuh selama 10 hari, ketinggian air dikurangi dan tanaman padi ditumbuhkan pada kondisi tanah macak-macak seperti di lahan sawah normal hingga panen.

Kedua percobaan masing-masing dipupuk dengan 150 kg urea, 100 kg SP36, dan 100 kg KCl/ha mengacu pada dosis pupuk yang digunakan untuk uji daya hasil padi di lahan rawa. Pada lahan rawan banjir, penggunaan pupuk N yang berlebihan dapat meningkatkan kepekaan tanaman padi terhadap rendaman dan mempertinggi tingkat kerebahan tanaman. Pemupukan pertama dilakukan pada saat tanam dengan dosis 75 kg urea, 100 kg SP36, dan 100 kg KCl/ha. Pemupukan susulan pada kondisi lahan sawah normal berupa 75 kg urea/ha dilakukan pada saat tanaman berumur empat minggu setelah tanam. Pada kondisi lahan sawah yang diberi perlakuan rendaman penuh selama 10 hari,

Tabel 1. Genotipe toleran dan peka rendaman yang digunakan dalam pengujian di lingkungan normal dan terendam.

Genotipe	Reaksi terhadap rendaman	Asal
IR64-Sub1 (IR07F102)	Toleran	IRRI/ Filipina
Swarna-Sub1 (IR05F102)	Toleran	IRRI/ Filipina
Samba Mahsuri-Sub1 (IR07F287)	Toleran	IRRI/ Filipina
TDK1-Sub1 (IRF07289)	Toleran	IRRI/ Filipina
CR1009-Sub1 (IRF07291)	Toleran	IRRI/ Filipina
BR11-Sub1 (IRF07290)	Toleran	IRRI/ Filipina
IR64	Peka	IRRI/ Filipina
Swarna	Peka	India
Samba Mahsuri	Peka	India
Thadokkham 1 (TDK1)	Peka	Laos
CR1009	Peka	India
BR11	Peka	Bangladesh
Inpara-3	Toleran	IRRI
IR42	Peka	IRRI

pemupukan susulan 75 kg urea/ha dilakukan seminggu setelah permukaan air rendaman diturunkan. Penyiangan gulma dan pengendalian hama penyakit dilakukan secara intensif. Pada petak yang direndam, pembersihan alga pada permukaan air dilakukan secara intensif selama perendaman.

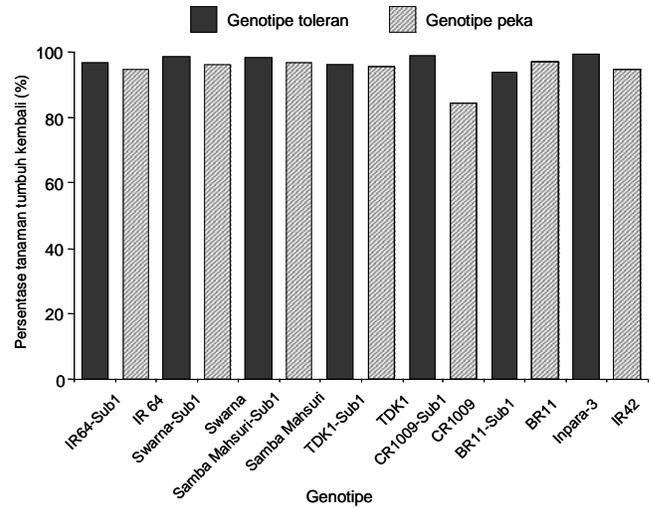
Pengamatan dilakukan terhadap tinggi tanaman, jumlah anakan, umur berbunga, umur masak fisiologis, jumlah malai per rumpun, jumlah gabah total per malai, persentase gabah isi per malai dan hasil gabah kering giling (kadar air 14%). Prosedur pengukuran karakter-karakter tersebut mengacu pada prosedur evaluasi yang telah dibakukan pada padi (IRRI 1996). Analisis ragam dilakukan dengan uji F terhadap data dari masing-masing lingkungan. Selanjutnya analisis ragam gabungan dilakukan untuk mengetahui interaksi antara genotipe dan lingkungan. Perbedaan nilai tengah antar-genotipe diuji dengan uji beda nyata terkecil (BNT) pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Tumbuh Kembali Setelah Stress

Semua genotipe yang diuji, baik genotipe toleran maupun peka, mengalami penurunan populasi tanaman yang hidup setelah direndam penuh selama 10 hari. Persentase tanaman yang mampu tumbuh kembali setelah diberi perlakuan rendaman diilustrasikan pada Gambar 1. Hampir semua genotipe tumbuh kembali di atas 90%, kecuali CR1009 yang daya tumbuhnya sekitar 85%. Percobaan di IRRI menunjukkan galur-galur Sub1 mampu hidup pada perendaman penuh hingga 17 hari (Singh *et al.* 2009). Pada percobaan ini stress rendaman hanya dilakukan sampai 10 hari karena dalam periode ini varietas peka IR42 telah menunjukkan gejala kerusakan daun yang nyata dibandingkan varietas toleran. Namun, varietas peka seperti IR42 mampu kembali tumbuh normal setelah permukaan air diturunkan meskipun relatif mengalami sedikit penurunan populasi tanaman. Pada percobaan sebelumnya di Sukamandi, perendaman selama 14 hari menyebabkan kematian hampir semua genotipe toleran, kecuali Inpara 3 dan IR64-Sub1 (Pane *et al.* 2009).

Persentase tanaman yang mampu tumbuh kembali setelah perendaman pada genotipe toleran sedikit lebih tinggi dibanding genotipe peka, kecuali BR11-Sub1 yang persentase tanaman hidupnya lebih rendah dibanding tetuanya BR11. Toleransi tanaman padi terhadap rendaman penuh dalam waktu singkat (*flash flood*) terkait erat dengan kemampuan tanaman memelihara cadangan energinya selama mengalami stress



Gambar 1. Persentase tanaman tumbuh kembali dari 14 genotipe padi setelah mengalami perlakuan rendaman penuh selama 10 hari pada fase vegetatif. Sukamandi, MK 2009.

rendaman (Setter *et al.* 1997). Gen toleran Sub1 diketahui terkait dengan faktor yang merespon hormon etilen pada tanaman padi yang menyebabkan tanaman mampu menahan proses pertumbuhannya selama perendaman untuk menyimpan energi (Fukao *et al.* 2006; Xu *et al.* 2006). Dengan demikian, varietas yang membawa gen toleran Sub1 memiliki kemampuan tumbuh kembali yang lebih baik dibanding varietas peka setelah mengalami stress rendaman.

Jumlah Anakan dan Tinggi Tanaman

Keragaman jumlah anakan genotipe padi pada dua lingkungan berbeda ditampilkan pada Tabel 2. Terdapat perbedaan yang nyata pada karakter jumlah anakan antargenotipe pada kondisi normal. Pada lingkungan tercekam, perbedaan jumlah anakan antargenotipe tidak berbeda nyata. Pengaruh interaksi antara genotipe dan lingkungan untuk karakter jumlah anakan juga tidak berbeda nyata. Hal ini mengindikasikan adanya kemiripan respon jumlah anakan antargenotipe di dua lingkungan berbeda.

Jumlah anakan galur-galur Sub1 relatif sama dengan varietas induknya, baik pada kondisi normal maupun tercekam. Galur IR64-Sub1 dan CR1009-Sub1 memiliki jumlah anakan lebih banyak dibandingkan dengan tetua masing-masing (IR64 dan CR1009) pada kondisi normal, namun tidak berbeda nyata pada lingkungan tercekam. Galur Sub1 dibentuk dengan menggunakan metode silang balik (*backcross*) dengan bantuan marka molekuler untuk memulihkan latar belakang genetik tetua induknya, sehingga galur yang dihasilkan memiliki kemiripan genetik yang sangat tinggi dengan varietas

Tabel 2. Rata-rata jumlah anakan dan tinggi tanaman genotipe padi toleran dan peka rendaman pada pengujian di lingkungan normal dan terendam. Sukamandi, MK 2009.

Genotipe	Jumlah anakan (batang)			Tinggi tanaman (cm)		
	Normal	Terendam	Rata-rata gabungan	Normal	Terendam	Rata-rata gabungan
IR64-Sub1	14,5	18,0	16,3	107,0	106,7	106,8
IR64	11,0	14,7	12,8	103,5	97,0	100,3
Swarna-Sub1	15,3	14,0	14,6	120,8	105,3	113,1
Swarna	15,7	14,3	15,0	119,2	107,7	113,4
Samba Mahsuri-Sub1	15,2	16,7	15,9	113,9	102,7	108,3
Samba Mahsuri	15,1	16,7	15,9	107,7	101,0	104,4
TDK1-Sub1	11,5	14,7	13,1	135,8	120,0	127,9
TDK1	12,1	15,0	13,5	132,7	117,7	125,2
CR1009-Sub1	14,7	16,0	15,4	144,2	123,7	133,9
CR1009	12,2	16,3	14,3	133,3	119,3	126,3
BR11-Sub1	10,9	16,7	13,8	135,2	115,3	125,3
BR11	9,9	15,7	12,8	132,5	118,0	125,2
Inpara-3	12,6	14,3	13,5	115,8	106,3	111,1
IR42	12,7	18,0	15,4	125,6	104,3	115,0
BNT 5%	1,9	ns	ns	5,2	6,7	4,1
Analisis ragam (uji F)						
Genotipe	**	ns	ns	**	**	**
Lingkungan			**			**
Genotipe x lingkungan			ns			**
KK (%)	8,7	21,2	17,3	2,4	3,6	3,0

** = berbeda nyata pada $P < 0,001$; * = berbeda nyata pada $P < 0,05$; ns= tidak berbeda nyata

induknya (Neeraja *et al.* 2007; Septiningsih *et al.* 2009). Namun adanya interaksi antara genetik dengan lingkungan dapat memunculkan variasi antara turunan hasil silang balik tersebut dengan tetuanya, khususnya untuk sifat-sifat kuantitatif seperti jumlah anakan dan karakter agronomi yang lain.

Pada sebagian besar genotipe, jumlah anakan meningkat dengan adanya perlakuan rendaman selama 10 hari. Hal ini terjadi pada genotipe yang toleran maupun yang peka. Pertambahan jumlah anakan yang cukup besar (lebih dari 50%) ditunjukkan oleh galur BR11-Sub1 dan tetuanya BR11. Pertambahan jumlah anakan akibat rendaman dapat disebabkan oleh berkurangnya kompetisi dalam petakan percobaan karena berkurangnya populasi tanaman setelah perendaman seperti yang ditunjukkan oleh hasil penelitian Singh *et al.* (2009).

Tinggi tanaman dipengaruhi oleh stress rendaman yang diperlihatkan oleh penurunan tinggi tanaman hampir semua genotipe pada kondisi stress (Tabel 2). Keragaman interaksi antara genotipe dan lingkungan untuk karakter ini terlihat sangat nyata. Gen Sub1 yang mengendalikan toleransi genotipe padi terhadap rendaman terkait dengan proses pengaturan pemanjangan batang oleh hormon ethilen dan asam giberelat (GA), dimana tanaman yang toleran mampu

mengurangi sintesis ethilen dan GA sehingga menahan proses pemanjangan batangnya (Fukao *et al.* 2006; Fukao and Serres 2008). Proses tersebut berbeda dengan mekanisme pemanjangan batang yang dimiliki oleh beberapa varietas padi yang tumbuh baik di daerah rawa air dalam, dimana genotipe toleran beradaptasi dengan mengaktifkan pembentukan GA dan mempercepat pemanjangan batang pada saat menghadapi stress rendaman (Setter *et al.* 1997; Ito *et al.* 1999). Hal yang menarik adalah respon varietas Inpara 3, yang diketahui selain toleran terhadap rendaman juga memiliki kemampuan memperpanjang batang. Pada percobaan ini varietas tersebut menunjukkan fenotipe tanaman yang lebih pendek pada kondisi terendam dibanding kondisi normal. Diperlukan studi yang lebih mendalam terhadap genotipe seperti Inpara 3 agar diketahui interaksi gen toleran rendaman dengan sifat pemanjangan batang.

Secara umum tinggi tanaman galur-galur Sub1 tidak berbeda nyata dengan varietas induknya. Pada kondisi normal, perbedaan yang nyata hanya terlihat pada galur Samba Mahsuri-Sub1 yang lebih tinggi dari varietas Samba Mahsuri, dan galur CR1009-Sub1 lebih tinggi dari tetuanya CR1009. Pada lingkungan tumbuh tercekam, kedua galur tersebut menunjukkan tinggi tanaman yang relatif sama dengan induk masing-masing.

Umur Berbunga dan Umur Masak Fisiologis

Umur berbunga dan umur matang fisiologis genotipe padi yang diuji ditunjukkan pada Tabel 3. Keragaman karakter pembungaan dan umur tanaman sangat nyata di masing-masing lingkungan. Interaksi antara genotipe dan lingkungan untuk kedua karakter tersebut juga sangat nyata, yang mengindikasikan respon yang bervariasi antargenotipe terhadap lingkungan tumbuh yang berbeda.

Pada kondisi normal umur berbunga galur padi toleran rendaman berkisar antara 80-104 hari, sedangkan umur masakannya berkisar antara 100-123 hari. Secara umum pada lingkungan tanpa stress tidak nyata perbedaan umur tanaman antara galur-galur Sub1 dengan varietas induknya. Hal ini menunjukkan keefektifan pemulihan genetik karakter pembungaan melalui metode silang balik yang telah digunakan dalam perakitan galur Sub1.

Perlakuan stress rendaman menyebabkan tertundanya umur berbunga dan masak fisiologis genotipe padi yang diuji (Tabel 3). Sejumlah genotipe menunjukkan peningkatan umur berbunga hingga lebih dari 6 minggu. Penundaan waktu berbunga disebabkan karena tanaman memerlukan tambahan waktu untuk tumbuh kembali setelah mengalami stress rendaman. Hasil penelitian Singh *et al.* (2009) menunjukkan bahwa

genotipe toleran yang mengalami stress rendaman mampu lebih cepat berbunga dibanding galur peka. Pada penelitian ini kecenderungan tersebut tidak terlihat, dimana setelah mengalami stress rendaman galur-galur Sub1 menunjukkan umur berbunga yang relatif sama dengan tetuanya. Diduga stress rendaman selama 10 hari pada percobaan ini belum memberikan tekanan yang berat terhadap genotipe peka.

Komponen Hasil

Keragaman karakter penunjang hasil genotipe padi yang diuji pada dua lingkungan ditunjukkan pada Tabel 4. Keragaman jumlah malai antargenotipe padi hanya nyata pada lingkungan normal. Jumlah malai galur-galur Sub1 secara umum tidak berbeda nyata dengan varietas induknya. Hanya galur IR64-Sub1 dan CR1009-Sub1 yang memiliki jumlah malai lebih banyak dibandingkan dengan tetuanya pada lingkungan tanpa stress. Karakter jumlah malai ini berhubungan erat dengan jumlah anakan dimana kedua galur tersebut juga memiliki jumlah anakan yang lebih banyak dibandingkan dengan induk masing-masing (Tabel 2). Hal ini mengindikasikan stress rendaman yang terjadi pada fase vegetatif (pada percobaan ini pada saat tanaman berumur 21-31 HST) tidak mempengaruhi jumlah malai. Namun, perubahan lingkungan seperti stress rendaman berpengaruh

Tabel 3. Rata-rata umur berbunga dan umur masak fisiologis genotipe padi toleran dan peka rendaman pada pengujian di lingkungan normal dan terendam. Sukamandi, MK 2009.

Genotipe	Umur berbunga (hari)			Umur masak fisiologis (hari)		
	Normal	Terendam	Rata-rata gabungan	Normal	Terendam	Rata-rata gabungan
IR64-Sub1	81,0	122,7	101,8	100,0	147,3	123,7
IR64	81,7	121,7	101,7	100,7	144,3	122,5
Swarna-Sub1	102,3	136,7	119,5	122,3	156,7	139,5
Swarna	104,7	137,7	121,2	121,0	159,3	140,2
Samba Mahsuri-Sub1	93,3	129,0	111,2	112,3	153,0	132,7
Samba Mahsuri	93,7	128,7	111,2	111,7	154,7	133,2
TDK1-Sub1	92,7	128,0	110,3	111,3	151,7	131,5
TDK1	90,3	127,3	108,8	109,3	151,0	130,2
CR1009-Sub1	103,0	126,3	114,7	123,0	152,3	137,7
CR1009	101,0	129,0	115,0	121,0	155,0	138,0
BR11-Sub1	88,0	125,3	106,7	113,7	150,7	132,2
BR11	84,0	125,0	104,5	100,3	147,0	123,7
Inpara-3	93,7	128,3	111,0	112,7	148,3	130,5
IR42	103,7	134,0	118,8	123,3	156,3	139,8
BNT 5%	5,2	1,1	2,6	1,1	2,6	1,4
Analisis ragam (uji F)						
Genotipe	**	**	**	**	**	**
Lingkungan			**			**
Genotipe x lingkungan			**			**
KK (%)	3,3	0,5	2,0	0,6	1,0	0,9

** = berbeda nyata pada P<0,001; * = berbeda nyata pada P< 0,05; ns= tidak berbeda nyata

Tabel 4. Rata-rata komponen hasil genotipe padi toleran dan peka rendaman pada pengujian di lingkungan normal dan terendam. Sukamandi, MK 2009.

Genotipe	Jumlah malai/rumpun			Jumlah gabah/malai			Persentase gabah isi			Bobot 1.000 butir		
	Normal	Terendam	Rata-rata gabungan	Normal	Terendam	Rata-rata gabungan	Normal	Terendam	Rata-rata gabungan	Normal	Terendam	Rata-rata gabungan
IR64-Sub1	12,0	16,9	14,4	99,7	85,5	92,6	85,5	85,0	85,3	23,6	23,1	23,4
IR64	7,7	15,6	11,7	111,0	117,8	114,4	81,7	82,0	81,9	23,9	23,5	23,7
Swarna-Sub1	13,1	12,1	12,6	157,4	167,1	162,2	86,8	85,9	86,3	18,7	18,3	18,5
Swarna	14,6	14,7	14,7	175,4	208,5	191,9	85,8	84,8	85,3	19,0	18,8	18,9
Samba Mahsuri-Sub1	11,5	15,6	13,6	211,1	180,9	196,0	89,9	86,7	88,3	15,7	15,3	15,5
Samba Mahsuri	12,6	14,3	13,5	183,5	154,8	169,2	89,9	89,1	89,5	15,3	15,2	15,3
TDK1-Sub1	9,7	14,5	12,1	88,5	141,3	114,9	76,5	86,5	81,5	24,6	24,4	24,5
TDK1	10,2	14,3	12,2	105,3	174,8	140,1	77,6	69,5	73,6	24,6	24,4	24,5
CR1009-Sub1	12,5	14,7	13,6	197,7	209,5	203,6	72,3	77,5	74,9	24,8	24,5	24,7
CR1009	10,3	13,2	11,8	194,3	216,3	205,3	70,1	77,3	73,7	24,7	24,4	24,5
BR11-Sub1	10,0	14,6	12,3	181,8	195,1	188,4	79,1	83,5	81,3	27,7	27,5	27,6
BR11	9,8	12,9	11,3	209,3	213,9	211,6	73,2	81,9	77,6	27,3	27,1	27,2
Inpara-3	10,9	13,5	12,2	144,7	123,3	134,0	67,4	83,0	75,2	26,3	25,4	25,9
IR42	11,2	16,5	13,9	133,1	174,1	153,6	89,5	88,3	88,9	22,4	22,1	22,3
BNT 5%	2,1	ns	ns	30,9	54,6	30,6	14,4	ns	9,8	0,4	0,27	0,2
Analisis ragam (uji F)												
Genotipe	**	ns	ns	**	**	**	*	ns	*	**	**	**
Lingkungan			**			*			ns			**
Genotipe x lingkungan			*			*			ns			ns
KK (%)	11,1	15,7	14,3	11,7	19,3	16,3	10,7	10,0	10,3	1,0	0,72	0,9

** = berbeda nyata pada $P < 0,001$; * = berbeda nyata pada $P < 0,05$; ns= tidak berbeda nyata

terhadap lamanya fase vegetatif, yang berakibat tertundanya proses inisiasi malai sehingga memperpanjang umur tanaman (Yoshida 1981).

Keragaman yang nyata antargenotipe terlihat pada jumlah gabah total per malai dan bobot 1.000 butir gabah pada kondisi normal maupun tercekam. Untuk karakter gabah isi, keragaman antargenotipe hanya terlihat nyata pada kondisi normal. Interaksi antara genotipe dan lingkungan untuk karakter jumlah gabah terlihat nyata, namun tidak berbeda nyata untuk karakter gabah bernaas dan bobot gabah. Tidak terlihat perbedaan nyata antara jumlah gabah per malai, persentase pengisian gabah, dan bobot gabah galur-galur Sub1 dengan tetua masing-masing. Hal tersebut menunjukkan kemiripan genetik yang tinggi yang dimiliki oleh galur-galur Sub1 dengan varietas induknya.

Pengaruh stress rendaman terhadap komponen hasil bervariasi antargenotipe. Sejumlah genotipe yang toleran menunjukkan jumlah gabah per malai yang lebih tinggi pada lingkungan stress dibandingkan dengan lingkungan normal, seperti TDK-Sub1, CR1009-Sub1, dan BR11-Sub1, tetapi genotipe yang lain seperti IR64-Sub1 dan Samba Mahsuri-Sub1 memperlihatkan tren sebaliknya. Demikian juga persentase pengisian gabah yang menunjukkan respon terhadap stress yang beragam antargenotipe di dua lingkungan yang berbeda. Karakter persentase pengisian gabah merupakan sifat yang kompleks dan mudah dipengaruhi oleh banyak faktor baik genetik maupun lingkungan (Yoshida 1981).

Hasil Gabah

Hasil gabah kering giling genotipe padi yang diuji pada dua lingkungan berbeda ditampilkan pada Tabel 5. Terdapat perbedaan hasil gabah yang nyata antargenotipe, baik pada lingkungan normal maupun tercekam. Interaksi antara genotipe dan lingkungan sangat nyata, yang berarti masing-masing genotipe menunjukkan respon yang berbeda pada lingkungan yang berbeda.

Pada kondisi normal, galur dengan hasil tertinggi diberikan oleh Inpara 3 (7,40 t/ha), IR64-Sub1 (6,10 t/ha), dan BR11 (5,68 t/ha). Pada pengujian di lingkungan tanpa stress, hasil galur Sub1 tidak berbeda nyata dengan hasil tetuanya, kecuali galur IR64-Sub1 yang memberikan hasil nyata lebih tinggi dibanding IR64. Hal ini mengindikasikan bahwa introduksi gen toleran rendaman Sub1 tidak mempengaruhi potensi hasil galur-galur tersebut. Hasil gabah merupakan manifestasi dari komponen-komponen hasil seperti jumlah malai, jumlah gabah per malai, persentase pengisian gabah, dan bobot gabah (Yoshida 1981). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perbaikan toleransi rendaman dengan metode silang balik untuk memasukkan gen toleran secara umum tidak menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap komponen hasil galur Sub1 dibandingkan dengan varietas induknya (Tabel 4). Dengan demikian, potensi hasil varietas-varietas populer yang dijadikan sebagai tetua juga dapat dipertahankan.

Galur dengan hasil tertinggi setelah direndam penuh selama 10 hari pada fase vegetatif adalah BR11-Sub1 (5,76 t/ha), Swarna-Sub1 (5,74 t/ha), dan TDK1-Sub1 (5,68 t/ha). Varietas IR42 yang dijadikan sebagai kontrol varietas peka memberikan hasil terendah (2,69 t/ha), sementara Inpara 3 yang merupakan varietas toleran yang dilepas pada tahun 2008 memberikan hasil cukup tinggi (4,47 t/ha).

Tambahan hasil gabah relatif galur-galur Sub1 terhadap masing-masing varietas induknya pada kondisi lingkungan tercekam ditunjukkan pada Tabel 5. Semua galur Sub1 memberikan hasil yang lebih baik pada saat mengalami stress. Sebagai contoh, pada lingkungan tercekam rendaman, IR64-Sub1 memberikan hasil 38% lebih tinggi dibanding varietas IR64. Samba Mahsuri-Sub1 dan TDK1-Sub1 bahkan memberikan hasil lebih 40% dibanding tetua masing-masing, Samba Mahsuri dan TDK1. Penelitian sebelumnya oleh Sarkar *et al.* (2006) dan Singh *et al.* (2009) juga menunjukkan kenaikan hasil galur-galur yang membawa gen Sub1 dibanding tetuanya pada saat galur-galur tersebut ditanam pada kondisi stress rendaman. Selisih hasil antara galur toleran rendaman dengan varietas peka

pada kondisi tercekam diharapkan dapat menekan dampak negatif banjir terhadap produktivitas padi.

Galur toleran yang tetap menunjukkan potensi hasil tinggi setelah mengalami stress rendaman seperti BR11-Sub1, Swarna-Sub1, dan TDK1-Sub1 berpotensi untuk diuji lebih lanjut dalam uji multilokasi untuk daerah rawan rendaman seperti lahan rawa lebak dangkal sampai tengahan atau lahan sawah rawan banjir. Namun perlu karakterisasi lebih lanjut terhadap ketahanan terhadap hama penyakit dan mutu beras mengingat galur-galur tersebut merupakan hasil introduksi. Kecuali IR64-Sub1 yang memiliki latar belakang genetik IR64 yang merupakan varietas populer di Indonesia, galur-galur toleran lainnya menggunakan varietas unggul populer dari negara lain seperti Swarna dari India, BR11 dari Bangladesh, dan TDK1 dari Laos. Hasil karakterisasi sifat-sifat agronomi yang diperoleh dari percobaan ini dapat dipadukan dengan hasil skrining ketahanan terhadap hama penyakit dan evaluasi mutu beras sebagai dasar pertimbangan untuk memilih galur yang layak untuk uji multilokasi.

KESIMPULAN

1. Hasil pengujian galur-galur padi toleran rendaman di lahan sawah normal dan tercekam rendaman menunjukkan adanya keragaman yang nyata antar genotipe pada berbagai sifat agronomi.
2. Galur-galur Sub1 memberikan potensi hasil yang sebanding dengan varietas induknya pada saat ditanam pada kondisi normal dan menunjukkan hasil yang lebih baik setelah mengalami stress rendaman. Pada lingkungan yang tercekam, BR11-Sub1, Swarna-Sub1, dan TDK1-Sub1 mampu memberikan hasil di atas 5 t GKG/ha, sehingga potensial untuk diikutsertakan dalam uji multilokasi pada lahan rawan banjir.
3. Kemiripan sifat-sifat agronomi galur Sub1 dan varietas induknya mengindikasikan keefektifan penggunaan metode silang balik dalam merakit varietas toleran rendaman. Sifat-sifat unggul yang tetap dibawa oleh galur toleran rendaman yang berasal dari varietas populer diharapkan dapat mempercepat adopsi oleh petani.

Tabel 5. Hasil genotipe padi toleran dan peka rendaman pada pengujian di lingkungan normal dan terendam. Sukamandi, MK 2009.

Genotipe	Hasil (t GKG/ha)			Kenaikan hasil gabah relatif galur sub1 terhadap tetuanya pada kondisi tercekam (%)
	Normal	Terendam	Rata-rata gabungan	
IR64-Sub1	6,10	4,22	5,16	38
IR 64	3,71	3,06	3,38	-
Swarna-Sub1	5,17	5,74	5,46	19
Swarna	4,12	4,81	4,46	-
Samba Mahsuri-Sub1	5,15	4,96	5,06	43
Samba Mahsuri	4,45	3,47	3,96	-
TDK1-Sub1	4,29	5,68	4,98	42
TDK1	4,04	4,01	4,02	-
CR1009-Sub1	4,37	5,51	4,94	19
CR1009	5,21	4,64	4,93	-
BR11-Sub1	4,87	5,76	5,31	25
BR11	5,68	4,60	5,14	-
Inpara-3	7,40	4,47	5,94	-
IR42	5,29	2,69	3,99	-
BNT 5%	1,07	2,10	ns	

Analisis ragam (uji F)			
Genotipe	**	*	ns
Lingkungan			*
Genotipe x lingkungan			**
KK (%)	12,60	27,52	20,91

** = berbeda nyata pada P<0,001; * = berbeda nyata pada P< 0,05; ns= tidak berbeda nyata

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh proyek kerjasama penelitian antara Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, dan IRRI melalui IRRI-Japan Project on Implementation Plans

to Disseminate Submergence Tolerant Rice Varieties and Associated New Production Practices. Terima kasih penulis sampaikan kepada Sdr. Oma dan Bapak Sudarna yang telah membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Fukao, T. and B.J. Serres. 2008. Ethylene-a key regulator of submergence responses in rice. *Plant Science* 175:43-51.
- Fukao, T., K.N.Xu, P.C.Ronald, and B.J. Serres. 2006. A variable cluster of ethylene response factor-like genes regulates metabolic and developmental acclimation responses to submergence in rice. *Plant Cell* 18:2021-2034.
- IRRI. 1996. Standard evaluation system for rice. International Rice Research Institute. Manila, Philippines.
- Ito, O., E. Ella, and N. Kawano. 1999. Physiological basis of submergence tolerance in rainfed lowland rice ecosystem. *Field Crops Research* 64:75-90.
- Mackill, D.J., W.R. Coffman, and D.P. Garrity. 1996. Rainfed lowland rice improvement. International Rice Research Institute. Manila, Philippines. 242 p.
- Mackill, D.J., M.M. Amante, B.S. Vergara, and S. Sarkarung. 1993. Improved semidwarf rice lines with tolerance to submergence of seedlings. *Crop Science* 33:749-753.
- Mohanty, H.K. and G.S. Khush. 1985. Diallel analysis of submergence tolerance in rice, *Oryza sativa* L. *Theoretical and Applied Genetics* 70:467-473.
- Neeraja, C.N., R. Maghirang-Rodriguez, A. Pamplona, S. Heuer, B.C.Y. Collard, E.M. Septiningsih, G. Vergara, D. Sanchez, K. Xu, A.M. Ismail, and D.J. Mackill. 2007. A marker-assisted backcross approach for developing submergence-tolerant rice cultivars. *Theoretical and Applied Genetics* 115:767-776.
- Pamplona, A., E. Ella, S. Singh, G.V. Vergara, A. Ismail, and D. Mackill. 2007. Screening procedures for tolerance of complete submergence. *Sub1 Rice News* 1 (2), Special issue December 2007.
- Pane, H., B. Kustianto, A. Hairmansis, Supartopo, Nafisah, Widiyantoro, A. Kartohardjono, Santoso, A. Nasution, and B. Raharjo. 2009. Activity report component 3- Indonesia. Second planning workshop on "Implementation plans to disseminate submergence-tolerant rice varieties and associated new production practices to Southeast Asia," March 23-25, 2009, Bogor, Indonesia.
- Sarkar, R.K., J.N. Reddy, S.G. Sharma, and A.M. Ismail. 2006. Physiological basis of submergence tolerance in rice and implications for crop improvement. *Current Science* 91:899-906.
- Septiningsih, E.M., A.M. Pamplona, D.L. Sanchez, C.N. Neeraja, G.V. Vergara, S. Heuer, A.M. Ismail, and D.J. Mackill. 2009. Development of submergence-tolerant rice cultivars: the Sub1 locus and beyond. *Annals of Botany* 103:151-160.
- Setter, T.L., M. Ellis, E.V. Laureles, E.S. Ella, D. Senadhira, S.B. Mishra, S. Sarkarung, and S. Datta. 1997. Physiology and genetics of submergence tolerance in rice. *Annals of Botany* 79:67-77.
- Setter, T.L. and E.V. Laureles. 1996. The beneficial effect of reduced elongation growth on submergence tolerance of rice. *Journal of Experimental Botany* 47:1551-1559.
- Singh, S., D.J. Mackill, and A.M. Ismail. 2009. Responses of SUB1 rice introgression lines to submergence in the field: Yield and grain quality. *Field Crops Research* 113:12-23. DOI 10.1016/j.fcr.2009.04.003.
- Suprihatno, B. and W.R. Coffman. 1981. Inheritance of submergence tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *SABRAO Journal* 13: 98-108
- Wassmann, R., S.V.K. Jagadish, S.Heuer, A.Ismail, E.Redona, R.Serraj, R. K.Singh, G. Howell, H. Pathak, and K. Sumfleth. 2009. Climate change affecting rice production: the physiological and agronomic basis for possible adaptation strategies. *Advances in Agronomy* 101:59-122.
- Xu, K. and D.J. Mackill. 1996. A major locus for submergence tolerance mapped on rice chromosome 9. *Mol Breed* 2:219-224
- Xu, K., X. Xu, T. Fukao, P. Canlas, R. Maghirang-Rodriguez, S. Heuer, A.M. Ismail, B.J. Serres., P.C. Ronald, and D.J. Mackill. 2006. *Sub1A* is an ethylene-response-factor-like gene that confers submergence tolerance to rice. *Nature* 442:705-708.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute. Manila, Philippines. 269p
- Zeigler, R.S. and D.W. Puckridge. 1995. Improving sustainable productivity in rice-based rainfed lowland systems of South and Southeast Asia. *Geojournal* 35:307-324.