

Interaksi Genotip X Lingkungan Tanaman Padi pada Cekaman Genangan

Genotype X Environment Interaction of Rice for Stagnant Flooding

Karina Ayu Larasmita^{1*)}, Nur Wulan Agustiani²⁾, Damanhuri¹⁾, dan Budi Waluyo¹⁾

¹⁾ Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Brawijaya University
 Jl. Veteran, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia

²⁾ Balai Besar Penelitian Tanaman Padi - Sukamandi

Jl. Raya 9, Sukamandi, Subang 41256, Jawa Barat, Indonesia

^{*)}E-mail: Karinaayularasmita@gmail.com

ABSTRAK

Usaha pemanfaatan lahan tergenang sepanjang tahun dapat dilakukan melalui perakitan varietas unggul baru tahan cekaman genangan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui sifat morfologi padi yang toleran genangan dan berdaya hasil tinggi. Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2017 hingga April 2018 bertempat di Kebun Percobaan Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Subang. Penelitian terbagi menjadi 2 petak lahan yang berbeda, yaitu petak percobaan optimum dan petak percobaan genangan. Bahan tanam yang digunakan yaitu 10 genotip padi, dengan 2 varietas pembanding toleran dan peka. Data dianalisis menggunakan analisis ragam gabungan taraf 5% dan dilanjutkan dengan uji BNJ taraf 5% dan Indeks toleransi (STI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi interaksi nyata antara genotip dengan lingkungan pada karakter umur berbunga, umur masak fisiologis, jumlah malai per rumpun, persentase gabah isi, bobot 1000 butir dan hasil panen.

Kata Kunci :Cekaman genangan, Interaksi GxL, Padi, Respon.

ABSTRACT

Effort to utilize submergence land can be done by assembling new superior tolerant genotype on stagnant flooding. The research purpose to determine morphological characteristic on stagnant flooding tolerant and have a high yield. This research

conducted from Desember 2017 until April 2018 in Indonesian Rice Research Center, Subang. The are two different land on this research, are normal condition and stagnant flooding condition. The material of this research are ten rice genotypes with two comparison varieties namely Tapus and IR42. The data was analyzed using Pooled Analysis of Variance at 5% level and continued with Tukey's Honestly Significant Different Test at 5% level and tested by Stress Tolerance Index (STI). The results showed that genotype interaction with environment are significantly different on flowering age, physiological age, the number of panicle, percentage of grain content, weight of thousand grains and yield.

Keywords: GxL interaction, Response, Rice, Stagnant flooding.

PENDAHULUAN

Padi merupakan salah satu komoditas pangan penting bagi masyarakat di Indonesia. Kebutuhan pangan beras setiap tahun meningkat, akan tetapi produksi yang dihasilkan masih belum mampu mencukupi kebutuhan pangan. Banyak lahan-lahan produktif yang beralih fungsi menjadi lahan non pertanian serta banyak lahan yang digunakan sebagai budidaya padi memiliki aerasi yang buruk sehingga selalu tergenang.

Salah satu upaya penanganan masalah tersebut adalah memanfaatkan lahan-lahan marjinal seperti lahan rawa lebak dan lahan banjir sepanjang tahun.

Ekspansi pertanian ke daerah rawa lebak dapat menjadi pilihan yang tepat untuk meningkatkan budidaya padi mengingat semakin rendahnya luas lahan potensial. Optimalisasi potensi rawa lebak dan lahan banjir sepanjang tahun perlu disertai adanya teknologi yang tepat, seperti varietas toleran pada kondisi rawa serta kondisipengelolaan tanah dan tata air mikro yang baik. Salah satu penghambat pemanfaatan lahan rawa lebak adalah tata air. Saat memasuki musim hujan, kondisi lahan rawa lebak akan selalu tergenang dan ketika musim kemarau kondisi lahan akan mengalami defisiensi hara, kesuburan tanah rendah dan kemasaman tanah tinggi.

Oleh sebab itu diperlukan varietas unggul padi yang mampu beradaptasi dan memiliki tingkat kestabilan tinggi yaitu mampu berproduksi tinggi ketika berada pada kondisi tercekam genangan. Metode yang dapat digunakan yaitu pengujian varietas-varietas padi pada kondisi cekaman genangan. Genangan stagnan dapat diberikan untuk menciptakan lingkungan yang hampir serupa dengan kondisi rawa lebak, yaitu genangan air dalam volume tinggi dan waktu yang lama.

Terpilihnya genotip padi yang memiliki toleran cekaman genangan dapat digunakan sebagai suatu alternatif maupun inovasi untuk perakitan varietas padi yang toleran terhadap cekaman genangan. Tanaman padi yang toleran terhadap cekaman genangan adalah tanaman padi yang memiliki gen Sub1. Gen Sub1 tersebut bekerja dengan mengurangi tingkat sensitivitas padi terhadap etilen. Pembentukan etilen dalam kondisi anaerob mengakibatkan pertumbuhan ruas dan mempercepat pertumbuhan batang sebagai respon untuk menghindari genangan yang tinggi (Metraux dan Kende, 1983).

Keragaman yang terjadi pada tanaman tidak hanya disebabkan oleh genotip akan tetapi terdapat kontribusi lingkungan. Perbedaan lingkungan mengakibatkan respon genotip yang berbeda pula. Tujuan akhir dalam pengujian padi pada kondisi *stagnant flooding* adalah untuk mendapatkan genotip tanaman yang

mampu bertahan dan memiliki produktivitas yang stabil baik dalam kondisi genangan maupun kondisi optimum.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2017 hingga April 2018 di Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi, Subang Jawa Barat. Bahan yang digunakan adalah 10 genotip padi dengan 2 varietas pembandingan, yaitu Tapus sebagai pembandingan toleran dan IR42 sebagai pembandingan peka. Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain traktor, meteran air, meteran tinggi tanaman, tiket label, cutter, kutek, selotip, penggaris, timbangan analitik, alat pengukur kadar air, amplop besar, spektrofotometer, pipet, cuvet, mikroskop, aseton, label, kamera, SPAD meter, dan alat tulis. Sedangkan bahan yang digunakan adalah 10 genotip padi, pupuk, sample daun dan sample batang.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktor tunggal yaitu genotip padi dengan 3 kali ulangan. Penelitian terdiri dari 2 petak lahan, yaitu lahan optimum dan lahan cekaman genangan. Karakter yang diamati meliputi jumlah anakan (anakan tanaman⁻¹), umur berbunga (Hss), umur masak fisiologis (Hss), jumlah malai dalam satu rumpun (malai rumpun⁻¹), persentase gabah isi (%), bobot 1000 butir (g), dan panen (ton ha⁻¹). Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis ragam gabungan pada taraf 5% dan apabila terdapat pengaruh genotip yang nyata dilanjutkan dengan uji BNJ taraf 5%. Serta dilakukan perhitungan indeks toleransi (STI) (Fernandez, 1992).

$$STI = \frac{Y_{pi} \times Y_{si}}{Y_{p2}}$$

Keterangan :

STI = Stress Tolerance Index

Y_{pi} = Nilai genotip dalam kondisi optimum

Y_{si} = Nilai genotip dalam kondisi stress

Y_p = Rata-rata seluruh genotip dalam kondisi non stress

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah Anakan

Jumlah anakan padi yang terbentuk sangat erat kaitannya dengan jumlah gabah yang akan dihasilkan. Akan tetapi jumlah anakan yang dihasilkan tidak berbanding lurus dengan hasil gabah yang akan dihasilkan. Karakter jumlah anakan menunjukkan adanya interaksi tidak nyata antara genotip dengan lingkungan. Permasalahan yang sering terjadi dalam kondisi tanaman tergenang adalah terhalangnya kebutuhan dasar tanaman, seperti pasokan oksigen, karbon dioksida, dan cahaya matahari, sehingga menurunkan produksi jumlah anakan padi (Jackson, 2008). Dalam proses metabolisme, oksigen sangat berperan penting yaitu sebagai penghasil energi di dalam sel, sehingga ketika konsentrasi oksigen rendah di daerah perakaran dapat menyebabkan terganggunya aktivitas metabolik serta produksi energi (Dennis *et al.*, 2000).

Cekaman genangan mengakibatkan seluruh genotip uji mengalami penurunan jumlah anakan (Tabel 1). Hal tersebut sesuai dengan penelitian Vergara (2014), yang menguji 17 genotip padi pada kondisi cekaman genangan yang menghasilkan sebanyak 12 genotip padi mengalami penurunan jumlah anakan. Dalam penelitian ini, jumlah anakan yang terbentuk pada lahan cekaman sebesar 10.2 anakan per tanaman, dan pada lahan optimum sebesar 17.8 anakan. Peningkatan jumlah anakan yang tinggi juga tidak diharapkan, karena dapat mempengaruhi kemampuan genotip dalam pembentukan gabah (Sheehy *et al.*, 2001).

Umur Berbunga

Munculnya bunga menjadi salah satu tanda bahwa padi telah memasuki fase generatif. Durasi pertumbuhan tanaman padi pada fase vegetatif sangat mempengaruhi fase pembungaan dan pembentukan anakan. Yoshida (1981), menyatakan bahwa semakin banyak anakan yang dihasilkan dalam fase vegetatif akan memperlambat fase pembungaan tanaman. Secara umum, seluruh genotip uji memiliki umur berbunga yang lebih lambat

ketika ditanam pada lahan cekaman genangan. Lamanya umur berbunga dalam kondisi cekaman genangan diakibatkan oleh kurangnya pasokan energi dalam proses metabolisme. Selain itu, genotip yang diuji mengalokasikan fotosintatnya untuk elongasi batang sebagai bentuk escape terhadap genangan air. Berdasarkan hasil, menunjukkan bahwa galur IR 14D157, galur IRR1 119, galur IRR1 154, varietas Inpara 8 memiliki umur berbunga yang tidak berbeda nyata dengan varietas pembandingan toleran.

Umur Masak Fisiologis

Penampilan umur masak fisiologis genotip uji dipengaruhi oleh umur berbunga. Semakin cepat tanaman berbunga maka umur panen menjadi lebih cepat ataupun sebaliknya. Umur berbunga yang terjadi menunjukkan bahwa setiap genotip memberikan tingkat responsif yang berbeda terhadap lingkungan yang ada. Interaksi antara genotip dengan lingkungan dapat mempengaruhi tingkat kestabilan tanaman, karena penampilan yang diberikan oleh genotip akan berbeda ketika dalam lingkungan yang berbeda.

Perbedaan penampilan yang diberikan bergantung dengan kondisi lingkungan dimana tempat tumbuh tanaman tersebut (Harsanti *et al.*, 2003). Rerata perbedaan umur masak lahan genangan pada lahan optimum berkisar 6 – 10 hari lebih lambat (Tabel 1.). Penentuan umur panen dan umur masak padi adalah dari menguningnya daun dan malai padi. Fase pemasakan gabah padi dimulai dari masak susu (gabah mulai terisi cairan seperti susu), gabah yang matang penuh berubah menjadi kuning dan keras.

Tanaman padi dikatakan telah matang saat malai sudah 80% menguning dan sudah terisi secara penuh (Nugraha, 2012). Fukao dan Serres (2008), menyatakan bahwa umur masak fisiologis yang dalam, dipengaruhi oleh pembentukan hormon GA dalam proses elongasi. Ketika hasil fotosintat tanaman padi lebih banyak digunakan untuk pemanjangan batang akibat genangan, maka hasil fotosintat yang digunakan sebagai pembentukan bunga menjadi berkurang. Sehingga tanaman menjadi berumur dalam.

Jumlah Malai

Malai merupakan hasil fotosintesis sebagai penentu hasil panen padi. Terjadi interaksi nyata antara genotip dengan lingkungan pada karakter jumlah malai per rumpun. Suatu genotip memiliki tingkat respon yang berbeda pada setiap lingkungan. Penurunan jumlah malai per rumpun akibat genangan mencapai 47% pada varietas Inpari 30 (Tabel 2.). Genotip yang memiliki laju penurunan jumlah malai terendah adalah varietas IR42. Genotip yang tidak mengalami penurunan jumlah malai yang terbentuk adalah galur IRR1 154 dan varietas Inpara 3 yang memiliki peningkatan jumlah malai per rumpun sebesar 5%. Kondisi genangan dapat menurunkan produktivitas sebesar 52% yang dikarenakan oleh penurunan jumlah anakan yang terbentuk (Kato *et al.*, 2014).

Persentase Gabah Isi

Persentase gabah isi merupakan salah satu karakter yang dapat menunjang hasil padi. Penurunan persentase gabah isi juga berpengaruh terhadap penurunan hasil panen. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa penurunan gabah isi akibat genangan sebesar 56%, yaitu pada varietas IR42 dan galus IRR1 119 (Tabel 2.). Hal tersebut sesuai dengan penelitian Vergara (2014), dimana varietas IR42 mengalami penurunan sebesar 85% dalam kondisi *stagnant flooding* yang diberikan. Sedangkan pada cek toleran terjadi penurunan hasil sebesar 10%. Kriteria toleransi genotip tanaman dibawah kondisi untuk menghasilkan malai isi sebanyak ketika genotip tersebut ditanam pada kondisi normal (Nugraha, 2012).

Tabel 1. Rerata Jumlah Anakan, Umur Berbunga dan Umur Masak pada 2 Lingkungan

Genotip	Jumlah Anakan		Umur Berbunga		Umur Masak Fisiologis	
	Mean	Normal	SF	Normal	SF	
IR 14D157	17.3 b	85.7 a A	86.7 a A	108.7a A	117.0bc B	
IRRI 119	14.8 ab	86.7 ab A	87.7 ab A	112.7c A	116.3bc B	
IRRI 154	15.8 b	87.7 b A	88.0 ab A	111.0bc A	122.0d B	
IR 14D121	16.8 b	86.0 ab A	88.3 ab B	108.3a A	115.7b B	
INPARA 3	12.3 ab	87.7 b A	89.0 b B	109.3a A	117.3bc B	
INPARA 4	14.7 ab	92.0 d A	106.3 d B	128.3d A	136.7f B	
INPARA 8	11.9 a	89.7 c A	89.3 b A	111.7bc A	117.7c B	
INPARI 30	11.6 a	86.7 ab A	88.7 b B	109.0a A	115.7b B	
TAPUS	13.8 ab	86.0 ab A	87.0 ab A	108.3a A	111.0a B	
IR42	16.4 b	90.3 cd A	98.3 c B	127.3d A	128.3e A	
CV (%)	21.8		1.5		1.0	
BNJ (%)	3.8		1.7		1.4	

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf besar yang sama pada baris yang sama dan huruf kecil yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ pada taraf 5%; Normal=lahan optimum; SF=Lahan genangan.

Bobot 1000 butir

Bobot 1000 butir merupakan salah satu faktor pendukung hasil panen gabah. Ketika gabah yang terbentuk memiliki bobot isi yang tinggi, maka akan memiliki bobot panen (ton ha^{-1}) yang tinggi pula. Minimnya cahaya matahari akibat batang rebah menjadikan tanaman kurang optimum dalam berfotosintesis. Cahaya yang sedikit menghasilkan penampilan bulir padi yang buruk dan mampu menurunkan bobot 1000 butir (Qi-hua *et al.*, 2014). Berdasarkan Tabel 1, galur IR 14D157, varietas Inpara 8, varietas Inpara 30 dan varietas IR42 memiliki bobot 1000 butir yang toleran terhadap cekaman genangan, karena nilai penurunannya tidak terlalu besar (Tabel 2.). Penggenangan dapat mengurangi difusi gas yang dapat menghasilkan pengurangan jumlah O_2 dan peningkatan konsentrasi CO_2

serta etilen (Watkin, Thomson dan Greenway, 1998).

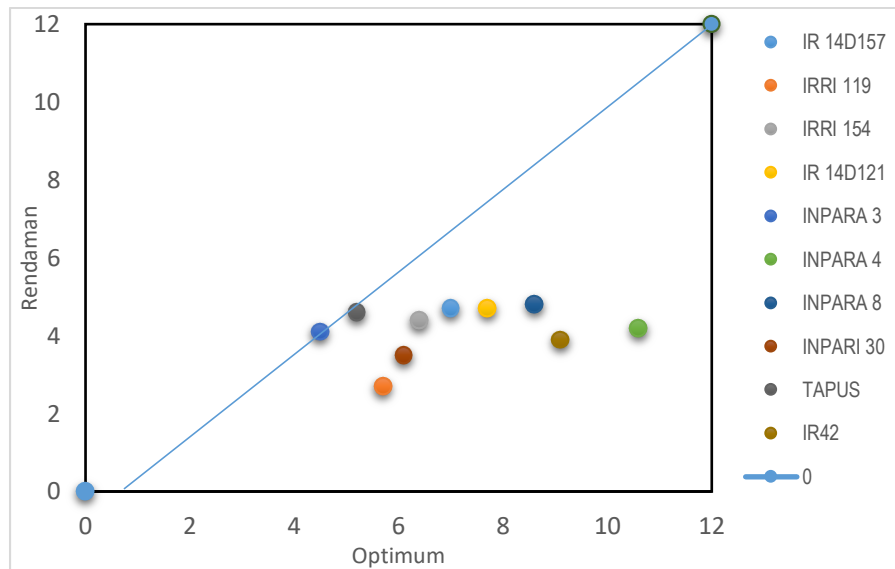
Hasil

Genotip padi yang stabil dapat ditentukan dari rendahnya nilai penurunan gabah ketika ditanam dalam kondisi genangan. Varietas Inpara 3 memiliki hasil yang tidak berbeda nyata dengan cekaman. Berdasarkan Gambar 1, genotip yang memiliki letak titik terdekat dengan garis keseimbangan adalah genotip yang stabil. Sedangkan yang paling jauh dengan garis keseimbangan adalah genotip tidak stabil. Varietas Inpara 3 yang ketika ditanam pada kondisi optimum menghasilkan 4.5 ton ha^{-1} serta ketika ditanam pada kondisi cekaman menghasilkan 4.1 ton ha^{-1} .

Tabel 2. Rerata Komponen Hasil pada 2 Lingkungan

Genotip	Jumlah Malai per Rumpun		Persentase Gabah Isi		Bobot 1000 butir	
	Normal	SF	Normal	SF	Normal	SF
IR 14D157	15.3c B	9.5ab A	75.6c B	69.0c A	24.1a B	22.3 a A
IRRI 119	13.3c B	8.3ab A	74.4c A	72.2c A	26.9 bc B	25.3 bc A
IRRI 154	10.3b A	10.8b A	56.5a A	56.8a A	26.7 b A	28.7c B
IR 14D121	12.8bc A	10.8b A	72.8c B	61.0c A	27.0bc A	26.2 bc A
INPARA 3	6.9a A	7.7ab A	52.8a A	55.0a A	26.9bc A	28.4c B
INPARA 4	18.8d B	10.3b A	74.4c B	53.8c A	26.1ab B	23.4 a A
INPARA 8	8.8ab A	6.9a A	66.0bc B	53.3c A	28.3c A	28.0 c A
INPARI 30	13.1c B	6.9a A	76.0c B	59.3c A	28.6c A	28.2 c A
TAPUS	13.9c B	10.2b A	72.4c B	61.1c A	29.1c B	27.2 c A
IR42	12.3 bc A	11.6 b A	64.4 b A	64.3 b A	25.0 a A	25.7bc A
CV (%)	18.4		9.0		4.4	
BNJ (%)	2.6		7.3		1.5	

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf besar yang sama pada baris yang sama dan huruf kecil yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ pada taraf 5%; Normal=lahan optimum; SF=Lahan genangan.



Gambar 1. Grafik Bobot Panen (ton ha⁻¹) pada 2 Lingkungan.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa varietas Inpara 3 memiliki hasil yang stabil pada 2 lingkungan.

Sedangkan pada varietas Inpara 4, ketika ditanam dalam kondisi optimum menghasilkan 10.6 ton ha⁻¹ dan dalam kondisi cekaman genangan menghasilkan 4.2 ton ha⁻¹, artinya varietas Inpara 4 merupakan varietas yang peka (Gambar 1). Tingkat toleransi tanaman terhadap genangan tergantung pada jenis dan tahap perkembangan tanaman saat penggenangan, kedalaman genangan yang diberikan, durasi genangan, suhu dan cahaya yang tersedia (Liao dan Lin, 2001). Hasil penurunan jumlah panen yang rendah menunjukkan bahwa adaptabilitas suatu genotip tinggi pada lingkungan yang ada meskipun karakteristik agroekologi kedua lahan tersebut sangat berbeda.

Interaksi genotip dengan lingkungan dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana genotip dapat tumbuh dengan baik pada suatu lokasi tertentu dan memiliki tingkat adaptasi yang tinggi sehingga hasil yang diberikan tergolong stabil. Selain itu interaksi genotip dengan lingkungan juga dapat berperan penting pada program pemuliaan karena dapat dijadikan salah satu keputusan ketika akan melepaskan varietas yang toleran pada suatu kondisi tertentu.

Indeks Toleransi

Indeks toleransi stress merupakan suatu ukuran tingkat toleransi suatu genotip dalam kondisi stress atau kurang menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman tersebut. Genotip yang memiliki nilai STI lebih tinggi dianggap lebih toleran bila dibandingkan dengan genotip yang lainnya. Berdasarkan hasil STI menunjukkan bahwa galur IR 14D157, galur IRRI 154, galur IR 14D121, varietas Inpara 3, varietas Inpara 8 dan varietas Tapus merupakan genotip uji yang medium toleran terhadap cekaman genangan. Hal tersebut didukung dengan nilai STI pada karakter hasil yang menunjukkan hasil yang toleran, sebagai contoh varietas Inpara 3 yang memiliki karakter umur masak, umur berbunga, jumlah malai dan bobot 1000 butir yang toleran (Tabel 3.). Tingkat toleransi tanaman terhadap cekaman genangan dapat diduga berdasarkan besarnya penurunan hasil karakter uji pada kondisi lingkungan optimal dan tercekam genangan. Semakin besar penurunan hasil yang terjadi menandakan bahwa genotip tersebut memiliki tingkat kestabilan yang rendah ataupun sebaliknya. Tujuan akhir dalam pengujian genotip padi dalam kondisi stagnant flooding adalah untuk mendapatkan genotip tanaman yang mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan.

Tabel 3. Indeks Cekaman Genotip Padi

No.	Genotip	Stress Tolerance Index						
		H	JA	UM	UB	JM	GI	1000B
1.	IR 14D157	0.6	0.8	0.6	0.9	0.9	0.8	0.7
2.	IRRI 119	0.3	0.4	0.6	1.0	0.7	0.9	0.9
3.	IRRI 154	0.5	0.56	0.6	1.0	0.7	0.7	1.0
4.	IR 14D121	0.7	0.6	0.6	1.0	0.9	0.7	0.9
5.	INPARA 3	0.8	0.4	0.6	1.0	0.3	0.5	1.0
6.	INPARA 4	0.3	0.6	0.8	1.2	1.2	0.8	0.8
7.	INPARA 8	0.8	0.4	0.6	1.0	0.4	0.6	1.0
8.	INPARI 30	0.4	0.3	0.6	1.0	0.8	0.7	1.1
9.	TAPUS	0.7	0.6	0.6	0.9	1.0	0.8	1.0
10.	IR 42	0.3	0.9	0.6	1.1	0.9	0.7	0.8

Keterangan: JA=Jumlahanakan; JM=Jumlahmalai per rumpun; GI= Gabahisi;1000B= Bobot 1000butir; BGM=Bobotgabah per malai; H=Hasil; UB=Umurberbunga; UM= Umurmasak STI \leq 0.5= peka; 0.5<ITC \leq 1.0 = medium toleran; STI>1.0 =toleran.

KESIMPULAN

Varietas Inpara 3 merupakan varietas yang toleran terhadap cekaman genangan yang didukung oleh karakter jumlah anakan, jumlah malai per rumpun, persentase gabah isi dan hasil panen yang toleran serta stabil ketika dalam kondisi tercekam. Serta didukung oleh nilai STI hasil, umur masak, umur berbunga, jumlah malai dan bobot 1000 butir yang menunjukkan hasil toleran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (BB Padi), Subang yang telah memberikan sarana dan prasarana dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Dennis, E.S., R.Dolferus, M. Ellis, M. Rahman, Y. Wu, F.U. Hoeren, A. Grover, K.P. Ismond, A.G. Good and W.J. Peacock. 2000.** Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. *Journal of Experimental Botany*. 51(34): 89-97.
- Fernandez, G.C.J. 1992.** Effective selection criteria for assesing plant stress tolerance. Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetable and other food crops in temperature and water stress.
- Fukao, T. and J.B. Serres. 2008.** Submergence tolerance conferred by sub1a is mediated by slr1 and slr2 restriction of gibberellin responses in rice. *PNAS United States Journal of the National Academy of Science*. 43(105): 16814-16819.
- Harsanti, R.S, S. Hartatik, A. Syamsunihar, S. Soeparjono and S. Avivi. 2015.** Uji toleransi beberapa varietas tebu pada beberapa tinggi penggenangan. *Berkala Ilmiah Pertanian*. 9(1): 1-4.
- Jackson, M. B. 2008.** Ethylene-promoted elongation: an adaptation to submergence stress. *Annals of Botany*.101(2): 229-248.
- Kato, Y, B.C.Y. Collard, E.M. Septianingsih and A.M. Ismail. 2014.** Physiological analyses of traits associated with tolerance of long-term partial submergence in rice. *AoB Plants* 6(14). 58: 1-11.
- Liao, C. and C. Lin. 2001.** Physiological adaptation to crop plants to flooding stress. Proceedings of the national science council republic of china part B. *Life Science*. 25(3):148-157.
- Metraux, J.P and H. Kende. 1983.** The Role of Ethylene in the Growth Responses of Submerged Deep Water Rice. *Plant Physiology*. 72(2): 441-446.
- Nugraha, Y., G.V. Vergara, D.J. Mackill and A.B. Ismail. 2012.** Response of Sub1 Introgression Lines of Rice to

Various Flooding Conditions. IRRI Book. Manila Philippines.

- Qi-hua, L., W. Xiu, C. Bo-cong, M. Ji-qing and G. Jie. 2014.** Effects of low light on agronomic and physiological characteristics of rice including grain yield and quality. *Rice Science*. 21(5): 243–251.
- Sheehy, J.E., M. Dionora and P.L. Mitchell. 2001.** Spikelet numbers, sink size and potential yield in rice. *Field Crop Research* 71(2): 77–85.
- Watkin, E.L.J., C.J. Thompson and H. Greenway. 1998.** Root development and aerenchyma formation in two wheat cultivars and one triticale cultivar grown in stagnant agar and aerated nutrient solution. *Annals of Botany*. 81(2): 349-354.
- Yoshida, S. 1981.** Fundamentals of Rice Crop Science. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippine.