

Mekanisme Morfologi dan Fisiologi Tanaman Padi pada Kondisi Rebah dan Strategi Adaptasinya

Morphological Mechanism and Physiology of Paddy Plants in Falling Conditions and Adaptation Strategies

Dulbari¹⁾, Edi Santosa^{2)*}, Eko Sulistyono²⁾, Yonny Koesmaryono³⁾

¹⁾ *Budidaya Tanaman Pangan, Politeknik Negeri Lampung, Jl. Soekarno Hatta Rajabasa Bandar Lampung, 35144, Indonesia*

²⁾ *Departemen Agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian IPB, Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, 16680, Indonesia*

³⁾ *Departemen Meteorologi dan Geofisika Fakultas MIPA IPB, Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, 16680, Indonesia*

*¹⁾edisang@gmail.com

Abstract

Extreme weather incident refers to high rainfall and strong winds have been speculated detriment on rice production. However, study on morphological and physiological mechanism, and its adaptation strategy on lodging are rarely reported. Thus, three experiments were conducted in Sawah Baru, Leuwikopo, and Lampung Province, Indonesia from January 2016 to June 2017. The results showed that extreme weather caused rice plant lodged on research area of 27.6% with production loss up to 11.89%. Morphology and physiological adaptations seemed important aspect in responses to extreme weather treatment. Biochemistry composition changed after lodging, especially fatty acid, terpene, alkane, and steroid. Lodging increased total biochemistry compound more than 48% of normal plant. Unlike marked production loss in the plot experiment, in the field, impact of extreme weather on reduction of rice production in Lampung Province was low, 1.03%. Shifting on rice production among agroclimates, minimized the impact of the extreme weather. It is likely that local ability to maintain annual production improvement by more than 5% through expansion of irrigated land, high yielding varieties and inputs subsidies were important factor as local strategy to adapt to extreme weather incident in Lampung.

Keywords: lodging, stomata, photosynthesis, fatty acid, rice production

I. PENDAHULUAN

Pemanasan global memicu terjadinya perubahan iklim yang berdampak terhadap munculnya cuaca ekstrem. Peningkatan insiden cuaca ekstrem berpotensi mengganggu stabilitas produksi padi (Subash *et al.* 2011; Dulbari *et al.* 2017a). Deraan cuaca ekstrem dapat menyebabkan tanaman padi rebah sebelum dipanen dan dapat mengakibatkan penurunan kualitas hasil (Dulbari *et al.* 2018b). Nilai kehilangan hasil tanaman padi akibat cuaca ekstrem selama ini cenderung *underestimate*. Kariyasa dan Djauhari (2013) melaporkan setiap tahun sekitar 400-800 ha mengalami gagal panen akibat cuaca ekstrem. Di sisi

lain, Santosa *et al.* (2016) mencatat adanya insiden cuaca ekstrem hampir merata di seluruh sentra produksi padi di Indonesia, namun lolos dari pantauan alat pencatat cuaca dan cenderung tidak dilaporkan. Nilai kerugian tahunan diestimasi mencapai 3.16 triliun rupiah.

Fenomena kerebahan pada tanaman padi telah banyak dikaji (Salasi *et al.* 2013; Wujun *et al.* 2014; Zhang *et al.* 2014a). IRRI sejak tahun 1988 mengembangkan pendekatan skoring nilai indek kerebahan: 0, 1, 3, 5, 7, dan 9; nilai 0 menunjukkan tanaman sangat tahan rebah sedangkan nilai 9 sangat peka. Namun konstruksi dan metode pendugaan kehilangan hasil pada tanaman padi rebah belum

dapat dijelaskan dengan baik. Data kuantitatif tanaman padi yang rebah akibat cuaca ekstrem dan besarnya kehilangan hasil masih terbatas. Secara visual, tanaman padi yang rebah akibat cuaca ekstrem membentuk formasi dan pola spesifik yang dapat dijadikan dasar untuk melakukan kuantifikasi kehilangan hasil.

Cekaman angin kencang dan curah hujan tinggi diduga berdampak terhadap proses metabolisme yang akan diikuti dengan perubahan respon tanaman. Respon tanaman terhadap cekaman umumnya dilakukan melalui mekanisme morfologi, fisiologi, dan biokimia (Patakas 2012). Namun informasi terkait perubahan morfologi, fisiologi, dan biokimia pada tanaman padi rebah akibat cuaca ekstrem belum banyak tersedia.

Adaptasi terhadap cuaca ekstrem di lapangan tidak sederhana di ruang laboratorium karena memerlukan pendekatan teknologi dan kebijakan (Olhoff 2014). Adaptasi lebih efektif dilakukan secara lokal (Powell dan Reinhard 2016). Provinsi Lampung dipilih sebagai lokasi studi karena merupakan salah satu sentra produksi padi nasional yang memasok beras ke berbagai wilayah di Sumatera (Fitriani *et al.* 2011). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konstruksi padi rebah akibat insiden cuaca ekstrem, menentukan dan menduga tingkat kerugian hasil, menentukan mekanisme perubahan morfologi dan fisiologi tanaman padi pada kondisi rebah, serta mengetahui strategi adaptasi terhadap cuaca ekstrem secara lokal.

II. BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan dari Januari 2016 hingga Juni 2017, terdiri dari evaluasi lahan terdampak, analisis morfologi dan fisiologi di laboratorium, dan studi adaptasi lokal terhadap cuaca ekstrem. Evaluasi lahan terdampak dilakukan di Kebun Percobaan Sawah Baru. Insiden cuaca ekstrem terjadi pada tanggal 15 Februari 2016, menimpa dua varietas padi IPB 3S dan IPB 4S berumur 95 hari (selanjutnya disebut Genotipe A dan Genotipe B). Sistem tanam menggunakan legowo 2:1 jarak tanam (40x20)x20 cm. Dosis pupuk Urea 200 kg.ha⁻¹ dan NPK(15-15-15) 300 kg.ha⁻¹. Data cuaca di Stasiun Klimatologi Dramaga pada hari kejadian tercatat curah hujan harian 14.98mm, suhu 23.31–30.78°C, dan kelembaban udara relatif 89.04%.

Kecepatan angin yang tercatat di stasiun pengamat pada saat insiden 6–8 km jam⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa insiden bersifat lokal dan tidak terpantau stasiun pengamat. Penentuan batas kritis kecepatan angin yang menyebabkan rebah dilakukan menggunakan simulator. Simulator angin dirangkai dari kipas angin tipe AFD 550; kapasitas 8500/4700 Cm³h; daya tekanan 600 Pa; rotasi 2800 RPM; *power* 2.2 Kw; dan *voltage/phase* 380/3. Kecepatan angin diukur menggunakan alat *Anemometer* digital tipe MS6252A. Pengukuran derajat rebah dilakukan pada kecepatan angin : 10, 20, 30, 40, dan 50 km jam⁻¹. Dua genotipe padi (A dan B) dari lahan terdampak digunakan sebagai sampel. Pendugaan batas kritis kecepatan angin dilakukan dengan analisis regresi.

Pengamatan konstruksi rebah yang terdiri dari formasi, pola, derajat, dan tinggi rebah dilakukan satu hari setelah insiden. Formasi dan derajat rebah digambar dalam milimeter blok. Pola rebah diamati dengan cara memetakan bentuk kerebahan di setiap plot. Luas rebah total dihitung berdasarkan jumlah total dari luas rebah per plot. Pengamatan posisi patah pada ruas dilakukan terhadap masing-masing 50 rumpun tanaman terdampak. Data tinggi rebah dan posisi rebah pada ruas dianalisis menggunakan metode diskriptif.

Penelitian untuk menentukan kehilangan hasil disusun menggunakan RAKL yang terdiri dari 5 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan berupa faktor tunggal derajat rebah (DR) yang terdiri dari lima kategori yaitu : DR0:0–18°, DR1:19–37°, DR2:38–56°, DR3: 57–75 °, dan DR4:76–90°. Model persamaan linier $Y_{ij} = \mu + i + j + ij$. Derajat rebah diukur dari posisi vertikal ke posisi malai menggunakan busur derajat. Pengamatan terhadap bobot gabah permalai, bobot gabah isi permalai, persen gabah hampa permalai pada masing-masing derajat rebah dilakukan terhadap 3 rumpun tanaman yang ditentukan secara acak. Data hasil pengamatan dianalisis ragam, perbedaan antar perlakuan dianalisis menggunakan Uji Fisher P 5%.

Persiapan tanaman untuk analisis morfologi dan fisiologi dilakukan di Kebun Percobaan IPB Leuwikopo. Perebahan dilakukan secara fisik pada umur 2 minggu setelah pembungaan. Pengamatan morfologi stomata di Laboratorium Mikroteknik Departemen Agronomi dan Hortikultura IPB menggunakan mikroskop Olympus CH20 dan

Mikroskop kamera Olympus DP12. Pengamatan fisiologi (fotosintesis, transpirasi, dan konduktivitas CO₂) dilakukan menggunakan Licor 6400XT terhadap 20 varietas padi 1 minggu setelah perebahan. Hasil dianalisis menggunakan T-Test.

Pengamatan senyawa biokimia dilakukan menggunakan metode GC-MS (Kusano *et al.* 2015) di Laboratorium Kesehatan Daerah (LABKESDA) DKI Jakarta. Sampel batang dua varietas padi (IR64 dan HIPA8) rebah dan tegak dipotong pada ketinggian 20 cm di atas permukaan tanah pada saat panen. Masing-masing sampel disegmen menjadi bagian atas dan bawah. Batang yang rebah bagian bawah (R1), rebah bagian atas (R2). Batang tegak bagian bawah (T1), tegak bagian atas (T2). Analisis dilakukan menggunakan GC-MS Shimadzu QP2010. Komponen senyawa kimia yang terdeteksi diidentifikasi menggunakan database WILEY7 yang dikombinasi dengan NIST Library Ver. 2.0.

Studi adaptasi lokal terhadap cuaca ekstrim dilakukan di Provinsi Lampung. Data iklim periode 2000-2015 diperoleh dari 4 stasiun pengamat cuaca yaitu: Stasiun Meteorologi Raden Inten II Branti-Lampung Selatan, Stasiun Geofisika Kelas III Kotabumi-Lampung Utara, Stasiun Meteorologi Kelas IV Maritim-Bandar Lampung, dan Stasiun Klimatologi Kelas IV Masgar-Pesawaran. Kalender tanam diperoleh dari Dinas Pertanian Provinsi Lampung. Data produksi padi diperoleh dari Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. Data kejadian cuaca ekstrim diperoleh dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB)(www.bnpb.co.id). Data klimatologi dan kejadian cuaca ekstrim dianalisis korelasi dengan produksi padi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

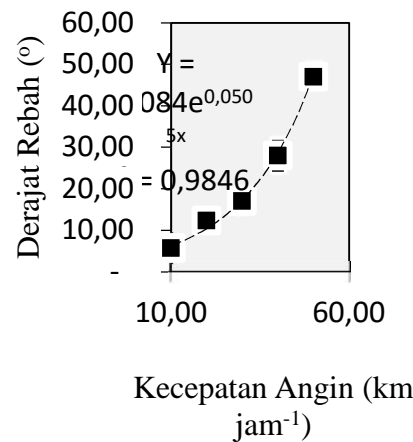
Batas Kritis Kecepatan Angin Penyebab Rebah

Derajat Rebah (DR) varietas A dan B pada berbagai kecepatan angin tidak berbeda nyata (data tidak ditampilkan), DR rata-rata kedua varietas pada kecepatan angin 10; 20; 30; 40; dan 50 (km jam⁻¹) adalah : 5.67±2.08; 12.33±1.53; 17.00±2.65; 28.00±3.61; dan 47.00±2.65 (°). DR meningkat secara eksponensial dengan meningkatnya kecepatan angin (Gambar 1).

Hasil perhitungan menggunakan persamaan $Y = 3.8084 \cdot 0.0505^X$ diketahui bahwa batas kritis kecepatan angin yang menyebabkan tanaman padi rebah $DR_4 > 50 \text{ km jam}^{-1}$ (Tabel 1). Hasil

perhitungan batas kritis ini berbeda dengan data kecepatan angin yang tercatat pada stasiun klimatologi pada saat kejadian, namun data simulator dapat digunakan untuk mendapatkan gambaran yang mendekati aktual (Sanguesa *et al.* 2010). Kecepatan angin yang tercatat di Stasiun Klimatologi Dramaga pada saat terjadi insiden 6–8 km jam⁻¹.

Gambar 1 Pendugaan batas kritis kecepatan angin yang menyebabkan tanaman padi rebah



Data kecepatan angin di stasiun pengamat menunjukkan bahwa kecepatan angin pada areal terdampak saat kejadian tidak terpantau stasiun pengamat. Kecepatan angin 6–11 km jam⁻¹ masuk dalam kategori angin sangat lemah dan tidak menyebabkan kerebahan pada tanaman (Dengel 1956). Hal ini menunjukkan bahwa insiden cuaca ekstrim bersifat lokal walaupun jarak lokasi lahan terdampak dengan stasiun klimatologi ± 4 km. Keterbatasan peralatan dan luasnya areal pantauan masih menjadi tantangan yang harus diupayakan untuk mendapatkan informasi data unsur cuaca yang lebih akurat.

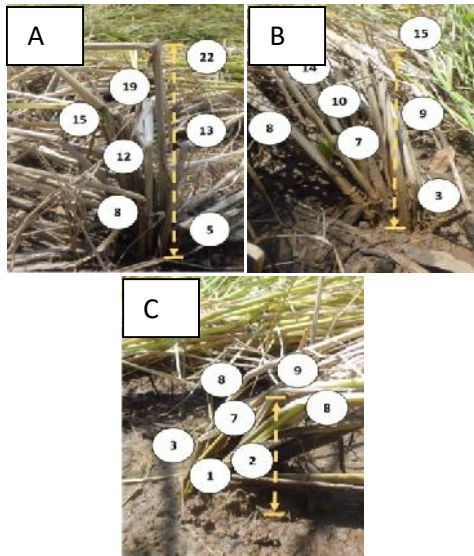
TABEL 1 PERHITUNGAN PENDUGAAN BATAS KRITIS KECEPATAN ANGIN YANG MENYEBABKAN TANAMAN padi rebah menggunakan persamaan regresi

Persamaan regresi	$Y = 3.8084 \cdot 0.0505^X$								
K	35.	40.	45.	50.	55.	60.	65.	70.	
A	00	00	00	00	00	00	00	00	11
D	10.	14.	20.	29.	41.	57.	80.	2.9	
R	63	90	88	27	02	50	59	6	

Keterangan: KA-kecepatan angin (km jam⁻¹), DR-derajat rebah (°)

Tinggi dan Posisi Patah Tanaman Rebah

Deraan angin >50 km.h⁻¹ dan kombinasi curah hujan 15 mmdapat menyebabkan tanaman padi rebah sebelum panen. Tanaman padi yang rebah meninggalkan jejak konstruksi spesifik antara lain : tinggi rebah, posisi patah pada ruas, pola rebah, formasi rebah, dan derajat rebah. Konstruksi rebah dapat dijadikan dasar untuk menentukan kehilangan hasil. Tinggi dan sebaran arah batang padi rebah dalam satu rumpun dapat berbeda (Gambar 2).



Gambar 2. Ketinggian rebah pada batang tanaman padi akibat cuaca ekstrim. Angka dalam lingkaran menunjukkan tinggi dari permukaan tanah (cm). a : rebah tinggi ke berbagai arah, b: rebah tinggi searah, c : rebah rendah searah. Rebah tinggi (10 cm), rebah rendah (10 cm).

Kerebahan rata-rata terjadi dibawah ketinggian 10 cm di atas permukaan tanah. Pada Varietas A kerebahan rata-rata terjadi pada

ketinggian 8.95 cm, sedangkan pada Varietas B terjadi pada ketinggian 7.99 cm. Tinggi rebah menentukan posisi patah pada ruas. Kerebahan hampir sepenuhnya terjadi pada ruas ke empatbaik pada genotipe A maupun B. Fakta ini menarik untuk dikaji lebih lanjut, karena hasil pengukuran kekuatan dan diameter batang menunjukkan bahwa batang tanaman padi pada ketinggian < 12 cm mempunyai kekuatan dan diameter batangnya nyata lebih besar(Tabel 2).Hasil analisis deskriptif ditampilkan pada Tabel 3. Ketahanan rebah berasosiasi dengan kekuatan batang (Zhang *et al.* 2014a), dikontrol secara genetik (Ookawa *et al.*2010), dan metode budidaya (Li *et al.* 2011; Zhang *et al.* 2014b). Rebah juga dipengaruhi oleh kecepatan angin dan curah hujan (Pasaribu *et al.* 2013).

TABEL 2 KEKUATAN DAN DIAMETER BATANG 2 GENOTIPE PADA UMUR 2 MINGGU SETELAH PENGISIAN BIJI

Segment	Kekuatan Batang (N)		Diameter Batang (cm)	
	GA	GB	GA	GB
I	11.29±0.5 6 ^x a ^y	06.23±0.5 1a	0.86±0. 00a	0.70±0.0 3a
II	09.28±0.4 5ab	04.47±0.6 2ab	0.79±0. 03a	0.57±0.0 2ab
III	07.05±1.9 8bc	02.72±1.0 7bc	0.69±0. 05b	0.44±0.1 0bc
IV	04.50±0.8 6c	01.42±0.4 3c	0.55±0. 04c	0.32±0.0 5c

Keterangan: N-Newton, GA-Genotipe A, GB-Genotipe B, Segment-ketinggian batang diatas permukaan tanah, I-(0-12 cm), II-(12-24 cm), III-(24-26 cm), IV-(36-48 cm). x- nilai tengah ± SD, N=15, y-nilai tengah yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada Uji Fisher P 0.05

TABEL 3. ANALISIS DESKRIPTIF TINGGI REBAH DAN POSISI PATAH PADA RUAS DUA VARIETAS YANG MENGALAMI INSIDEN CUACA ESKTRIM.

Pengamatan	V	N	Mean	SE Mean	St Dev	Min	Q1	Q2	Q3	Max
Tinggi Rebah	A	50	8.95	0.59	4.21	2.50	5.88	7.75	11.62	20.00
	B	50	7.76	0.76	5.35	1.00	4.50	6.75	6.75	27.00
Posisi Patah	A	50	3.96	0.04	0.28	3.00	4.00	4.00	4.00	5.00
	B	50	3.93	0.08	0.53	3.00	4.00	4.00	4.00	5.00

Keterangan : A- varietas A, B- varietas B, N- jumlah sampel, SE Mean- standar error nilai tengah, St Dev- standar deviasi, Min- nilai pengamatan terkecil, Q1- kuartil 1, Q2- kuartil 2, Q3- kuartil 3, Max- nilai pengamatan terbesar.

Formasi Rebah, Pola Rebah, dan Kehilangan Hasil

Tanaman padi yang rebah akibat deraancuaca ekstrim membentuk 4 formasi utama. Formasi A (lurus), rebah lurus ke satu arah. Formasi B (berbelok), rebah berbelok arah. Formasi C (berputar), rebah berputar arah. Formasi D (berlawanan arah), tanaman padi rebah berlawanan arah. Rebah juga membentuk pola yang unik. Pembentukan formasi dan pola rebah diduga dipengaruhi oleh karakter angin dan curah hujan pada saat kejadian, walaupun hal ini sulit untuk dibuktikan. Hasil evaluasi mendapatkan 11 pola rebah yang berbeda. Semakin besar diameter dan kecepatan angin, maka jejak terpaan yang ditimbulkan semakin luas (Dulbari *et al.* 2018a).

Kehilangan hasil dianalisis berdasarkan bobot gabah per malai pada berbagai DR. Terdapat perbedaan yang nyata pada bobot gabah per malai akibat perbedaan DR. Tanaman yang rebah pada level DR4, tajuk tanamannya mengumpul dan terjadi patah batang sehingga mengakibatkan gangguan transport air, unsur hara, dan asimilat (Kashiwagi *et al.* 2006; Weerakoon *et al.* 2008). Bobot gabah isi per malai pada DR4 berbeda nyata dengan DR yang lain. Semakin tinggi DR, kehilangan hasil juga semakin tinggi; kehilangan tertinggi terjadi pada DR4 (76–90%). Genotipe memberikan respon berbeda terhadap kerebahan walaupun DR sama. Genotipe A menunjukkan respon bobot gabah per malai berbeda antara DR0 dan DR4 (4.73±1.24 dan 3.01±1.07) sementara untuk genotipe B tidak berbeda (data tidak ditampilkan). Fakta ini memperkuat hipotesis Ookawa *et al.* (2010), yakni pentingnya peran genetik pada karakter ketahanan terhadap rebah, khususnya pada karakter bobot gabah, bobot gabah isi, dan persen gabah hampa.

Mekanisme Morfologi dan Fisiologi

Tanaman padi pada kondisi rebah mengalami perubahan respon morfologi. Hasil pengamatan mikroskopis menemukan fakta bahwa tanaman padi yang rebah mengalami penurunan kerapatan stomata terbuka 8.41%, penambahan ukuran panjang dan

lebar 5.48% dan 6.03%. Pertambahan ukuran panjang menunjukkan adanya respon penutupan stomata, namun bertambahnya ukuran lebar bertentangan dengan dugaan tersebut. Hal ini menimbulkan spekulasi terjadinya gangguan fungsi stomata walaupun masih perlu dibuktikan lebih lanjut. Kejadian *malfunctioning stomata* dalam merespon perubahan lingkungan dilaporkan oleh Fordham *et al.* (2001) dan Joshi *et al.* (2006).

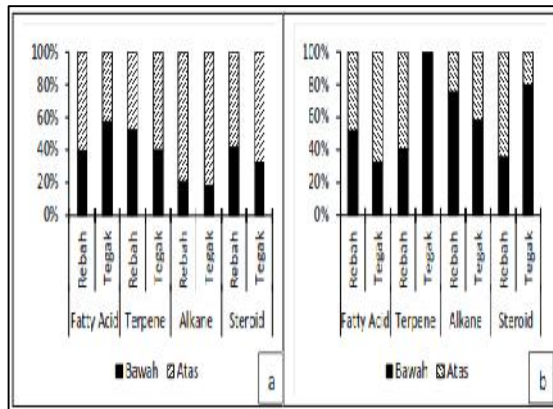
Secara fisiologi tanaman padi yang rebah mengalami penurunan laju fotosintesis, transpirasi, dan konduktivitas CO₂ masing-masing sebesar 30%, 18% dan 20% (Tabel 4). Temuan ini memperkuat pendapat Kashiwagi *et al.* (2006) dan Weerakoon *et al.* (2008). Fakta lain ditemukan penurunan kandungan klorofil pada daun sebesar 7.99% (data tidak ditampilkan). Kandungan klorofil pada daun tanaman padi menentukan laju fotosintesis (Hidayati *et al.* 2016).

TABEL 4 KARAKTER FOTOSINTESIS, TRANSPIRASI, DAN KONDUKTANSI STOMATA BEBERAPA GENOTIPE TANAMAN PADI PADA KONDISI TEGAK DAN REBAH FASE VEGETATIF

	Fotosintesis bersih (µmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)		Transpirasi (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)		Konduktansi stomata (mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	
	T	R	T	R	T	R
Rata-rata	21.6	15.1	2.1	1.7	0.04	0.03
Perbedaan (%)	29.83		17.93		20.30	
Notasi	**		**		**	
P-Value	0.000		0.000		0.000	

Keterangan : T-tegak, R-rebah, **-berbeda nyata (0.05), tn-tidak nyata (0.05) pada T-Test

Kerebahan menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah senyawa biokimia pada batang padi > 48% dari kondisi normal (Dulbari *et al.* 2017b). Komposisi senyawa biokimia juga mengalami perubahan, namun pola perubahan antara varietas IR64 dengan HIPA8 berbeda. Pada IR64 terjadi penurunan kandungan kelompok senyawa *fatty acid* pada R1 43%, pada R2 meningkat 17%. Pada HIPA8 terjadi penurunan baik pada R1 maupun R2 sebesar 36% dan 72%. Persentase kandungan kelompok senyawa biokimia pada kondisi rebah dan tegak disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan komposisi beberapa golongan senyawa biokimia batang padi

pada kondisi rebah dan tegak. a-varietas IR64, b-varietas HIPA8

Kerebahan merupakan salah satu bentuk cekaman abiotik terhadap tanaman padi. Gangguan pada transportasi air, unsur hara, dan asimilat diduga menjadi penyebab perubahan stabilitas membran yang memicu terjadinya stress oksidatif (Zang *et al.* 2005). Gangguan stabilitas membran mempengaruhi tekanan osmosis (Singh *et al.* 1992). Peningkatan komponen senyawa biokimia berpengaruh terhadap permeabilitas plasma membran (Senthil-Kumar *et al.* 2013), yang berasosiasi dengan ketahanan terhadap cekaman (Matos *et al.* 2010). Perubahan komponen senyawa biokimia tanaman pada kondisi rebah diduga merupakan bentuk *recovery* untuk menggerakkan sistem antioksidan enzimatis guna mengurangi dampak kerusakan oksidatif (Hassanein *et al.* 2012).

Adaptasi Lokal terhadap Cuaca Ekstrem

Selama periode tahun 2000-2015 Provinsi Lampung mengalami 4 kali El-Nino (2002, 2004, 2009, dan 2015), 4 kali La-Nina (2000, 2008, 2010, dan 2011), dan 83 kali insiden cuaca ekstrem, namun insiden tersebut tidak berdampak signifikan terhadap produksi padi. Fakta ini mungkin berbeda dengan hasil kajian sebelumnya yang menyebutkan adanya hubungan kuat antara faktor iklim dengan produksi padi (Rauw 2008; Hosang *et al.* 2012; Zakaria *et al.* 2014). Lemahnya pengaruh faktor iklim terhadap produksi padi diduga karena dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain : keterbatasan data iklim/cuaca di lokasi studi.

Kedua kemampuan pemerintah daerah mempertahankan keberadaan lahan sawah baku yang terdiri dari lahan rawa, lahan irigasi, dan lahan

kering dengan perbandingan 13.67%, 42.69%, dan 43.65%. Ketiga penggunaan varietas unggul, dari 60 varietas yang digunakan di Lampung, 46 merupakan varietas berdaya hasil tinggi (HYV), 3 varietas berdaya hasil sedang (MYV), dan 11 varietas berdaya hasil rendah (LYV). Keempat adanya peningkatan kehandalan sistem produksi melalui perbaikan sarana dan prasarana seperti irigasi, pompanisasi, subsidi pupuk, teknik budidaya, dan pemanfaatan kalender tanam. Kelima adanya koreksi kehilangan hasil oleh pertumbuhan produksi padi. Hasil simulasi perhitungan kehilangan hasil akibat kerebahan di Provinsi Lampung diperkirakan sebesar 0.92%. Namun angka kehilangan hasil ini terkoreksi oleh peningkatan produksi padi di atas 5% per tahun. Keberhasilan Provinsi Lampung dalam melakukan strategi adaptasi terhadap cuaca ekstrem dapat dijadikan model bagi daerah lain untuk melakukan pengembangan sesuai dengan potensi lokal.

KESIMPULAN

Peningkatan insiden cuaca ekstrem dalam beberapa tahun terakhir perlu diwaspadai karena berpotensi mengganggu stabilitas produksi padi. Deraan angin >50km.h⁻¹ dan curah hujan 14.98mm menyebabkantanaman padi rebah sebelum dipanen. Tanaman padi yang rebah akan kehilangan bobot gabah > 30% dan menyebabkan kehilangan hasil 11.89%.

Tanaman padi yang rebah mengalami penurunan kerapatan stomata 8.41%, laju fotosintesis 30%, transpirasi 18%, dan konduktansi CO₂ 20%. Terjadi perubahan komposisi senyawa biokimia pada batang yang rebah namun pola perubahan berbeda antar varietas. Respon morfologi dan fisiologi dispekulasi sebagai upaya *recovery* terhadap cekaman kerebahan yang dialami.

Dampak insiden cuaca ekstrem dapat diminimalisir melalui strategi adaptasi lokal secara tepat. Adaptasi lokal memerlukan pendekatan teknologi dan kebijakan pemerintah. Provinsi Lampung merupakan salah satu daerah yang berhasil melakukan adaptasi tanaman padi terhadap cuaca ekstrem. Keberhasilan tersebut didukung oleh penerapan beberapa strategi antara lain : mempertahankan lahan sawah baku, *shifting* lahan produksi antar agroklimat, penggunaan varietas unggul, peningkatan kehandalan sistem produksi, dan menjaga pertumbuhan produksi padi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Kementerian Riset Teknologi dan Perguruan Tinggi (RISTEKDIKTI) yang telah mendukung pendanaan kegiatan penelitian ini melalui skema Hibah Disertasi Doktor tahun anggaran 2018 dengan Kontrak Nomor : 758.6/FL15.8/PP/2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dengel, G.O.F. (1956). *Dasar-Dasar Ilmu Cuaca*. Wolters JB. Jakarta-Gronihgen.
- [2] Dulbari, Santosa, E., Koesmaryono, Y., & Sulistyono, E. (2017a). Adaptation of wetland rice to extreme weather. *J Tropical Crop Sci.* 4(2):70-77.
- [3] Dulbari, Santosa, E., Koesmaryono, Y., & Sulistyono, E. (2017b). Status of biochemical composition in rice under lodging treatment. *J Tropical Crop Sci.* 4(3):77-85.
- [4] Dulbari, Santosa, E., Koesmaryono, Y., & Sulistyono, E. (2018a). Pendugaan kehilangan hasil pada tanaman padi rebah akibat terpaan angin kencang dan curah hujan intensitas tinggi. *J Agron Indonesia.* 46(1):17-23.
- [5] Dulbari, Santosa, E., Koesmaryono, Y., & Sulistyono, E. (2018b). Stabilitas Produksi dan kualitas beras dua genotipe akibat rebah dan terendam. *JIPi.* 23(1):74-80.
- [6] Fitriani, Ismono, & Rosanti, N. (2011). Produksi dan tataniaga beras di Provinsi Lampung. *J SEP.* 5 (1): 1–11.
- [7] Fordham, M.C., Harrison-Murray, R.S., Knight, L., & Evered, C.E. (2001). Effects of leaf wetting and high humidity on stomatal function in leafy cuttings and intact plants of *Corylus maxima*. *Physiol Plant.* 113: 233–240
- [8] Hassanein, R.A., Hashem, H.A., & Khalil, R.R. (2012). Stigmasterol treatment increases salt stress tolerance of faba bean plants by enhancing antioxidant systems. *POJ.* 5(5):476–485.
- [9] Hidayati, N., Triadiati, & Anas, I. (2016). Photosynthesis and transpiration rates of rice cultivated under the system of rice intensification and the effects on growth and yield. *Hayati J Biosci.* 23:67–72.
- [10] Hosang, P.R., Tajuh, J., & Rogi, J.E.X. (2012). Analisis dampak perubahan iklim terhadap produksi beras Provinsi Sulawesi Utara tahun 2013-2013. *Euqenia.* 18 (3): 249–255.
- [11] Joshi, P., Joshi, N., & Purohit, S.D. (2006). Stomatal characteristics during micropropagation of *Wrightia tomentosa*. *Biologia Plantarum.* 50: 275–278
- [12] Kariyasa, K., & Djauhari, A. (2013). Dinamika produksi pangan dan perubahan iklim di Indonesia. [Internet]. [diunduh 2015 April 21]. Tersedia pada <http://www.litbang.pertanian.go.id>.
- [] Kashiwagi, T., Madoka, Y., Hirotsu, N., & Ishimaru, K. (2006). Lokus *prl5* improves lodging resistance of rice by delaying senescence and increasing carbohydrate reaccumulation. *Plant Physiol Biochem.* 44 : 152–157.
- [1] Kusan.o, M., Yang, Z., Okazaki, Y., Nakabayashi, R., Fuhushima, A., & Saito, K. (2015). Using metabolomic approaches to explore chemical diversity in rice. *Mol Plant.* 8: 58–67.
- [1] Li, J., Zhang, H.C., Gong, J.L., Chang, Y., Dai, Q.G., Huo, Z.Y., Xu, K., & Wei, H.Y. (2011). Effect of different planting methods on the culm lodging resistance of super rice. *J Integrative Agric.* 44:2234-2243.
- [1] Matos, M.C., Campos, P.S., Passarinho, J.A., Semedo, J.N., Marques, N.M., & Ramalho, J.C. (2010). Drought effect on photosynthetic activity, osmolyte accumulation and membrane integrity of two cicer arietinum genotypes. *Photosynthetica.* 48:303–12.
- [1] Olhoff, A. (2014). Adaptation in the context of technology development and transfer. *Climate Policy.* 15(1): 163–169.
- [1] Ookawa, T., Hobo, T., Yano, M., Murata, K., Ando, T., Miura, H., Asano, K., Ochiai, Y., Nishitani, R., Ebitani, T., Ozaki, H., Angeles, E.R., Hirasawa, T., & Matsuoka, M. (2010). New approach for rice improvement using a pleiotropic QTL gene for lodging resistance and yield. *Nature Comm.* 1(132):DOI:10.1038/ncomms1132.
- [1] Pasaribu, A., Kardhinata, E.H., & Bangun, M.B. (2013). Uji beberapa varietas padi sawah irigasi (*Oryza sativa* L.) dan aplikasi pupuk kalium (KCL) untuk meningkatkan produksi dan ketahanan rebah. *Agroteknologi.* 1(2): 45–57.
- [1] Patakas, A. (2012). Abiotic stress-induced morphological and anatomical changes in plants. In : *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity, and Sustainability*. P Ahmad and Prasad MNV (Ed). Springer Science + Business Media.
- [1] Powell, J.P., & Reinhard, S. (2016). Measuring the effects of extreme weather events on yields. *Weather Clim Extrem.* 12: 69–79.
- [1] Rouw, A. (2008). Analisis dampak keragaman curah hujan terhadap kinerja produksi padi sawah (Studi kasus di Kabupaten Merauke, Papua). *JPPTP.* 11 (2). 145–154
- [1] Salassi, M.E., Deliberto, M.A., Linscombe, S.D., Wilson, C.E., Wilson, J.R., Walker, T.W., McCauley, G.N., & Blouin, D.C. (2013). Impact of harvest lodging on rough rice milling yield and market price. *Agron J.* 105 (6) :1860–1867.
- [1] Sanguesa, C., Arumi, J., Pizarro, R., & Link, O. (2010). A rainfall simulator for the in situ study of superficial runoff and soil erosion. *Chilean J Agric Res.* 70(1): 178–182.
- [1] Santosa, E., Dulbari, Agusta, H., Guntoro, D., & Zaman, S. (2016). Fenomena tanaman rebah dan implikasinya pada perbaikan varietas padi adaptif cuaca ekstrim di Indonesia. Prosiding Seminar PERIPI Riau, Pekanbaru 20 Juli 2016. Hlm: 200–205.
- [1] Senthil-Kumar, M., Wang, K., & Mysore, K.S. (2013). *ArCYP710A1* gene-mediated stigmasterol

- production plays a role in imparting temperature stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Signal Behav.* 8(2): 1–5.
- [1] Singh, M., Srivastava, J.P., & Kumar, A. (1992). Cell membrane stability in relation to drought tolerance in wheat genotypes. *J Agron Crop Sci.* 168:186–90.
- [1] Subash, N., Singh, S.S., & Priya, N. (2011). Extreme rainfall indices and its impact on rice productivity-A case study over sub-humid climatic environment. *Agric Water Manag.* 98 : 1373–1387.
- [1] Weerakoon, W.M.W., Maruyama, A., & Ohba, K. (2008). Impact of humidity on temperature induced grain sterility in rice (*Oryza sativa* L.). *J Agron Crop Sci.* 194:135–140.
- [1] Wujun, Z., Ganghua, L., Yiming, Y., Quan, L., Jun, Z., Jinyou, L., Shaohua, W., She, T., & Yanfeng, D. (2014). Effect of nitrogen application rate and ratio on lodging resistance of super rice with different genotypes. *J Integrative Agric.* 13(1): 63–72.
- [1] Zakaria, Md., Aziz, Md. A., Hossain, Md. I., Niaz, & Rahman, Md. F. (2014). Effect of rainfall and maximum temperature on Aman rice production of Bangladesh: A case study for last decade. *IJSTR.* 3(3): 131–136.
- [1] Zhang, H., Jiang, Y., He, Z., & Ma, M. (2005). Cadmium accumulation and oxidative burst in garlic (*Allium sativum*). *J Plant Physiol.* 162:977–984.
- [1] Zhang, W., Li, G., Song, Y., Liu, Z., Yang, C., Tang, S., Zheng, C., Wang, S., & Ding, Y. (2014a). Lodging resistance characteristics of high-yield rice populations. *Field Crops Res.* 161:64–74.
- [1] Zhang, W., Li, G., Yang, Y., Li, Q., Zhang, Z., Liu, J., Wang, S., Tang, S., & Ding, Y. (2014b). Effect of nitrogen application rate and ratio on lodging resistance of super rice with different genotype. *J Integrative Agric.* 13(1):63–72.