

Pengaruh Cekaman Kekeringan Berulang Fase Vegetatif dan Terminal pada Padi Gogo Mutan Towuti

The Effect of Multiple Drought Stress at Early Season and Terminal Phase on Towuti Upland Rice Mutant

L. Chakim¹, D. Sopandie^{1*}, A. K. Dewi²

¹Program Studi Agronomi dan Hortikultura, Pascasarjana, IPB University, Jl Meranti, Babakan, Kec Dramaga, Jawa Barat 16680, Indonesia

²Pusat Riset dan Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi, Organisasi Riset Teknologi Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Lebak Bulus Raya No. 49 DKI Jakarta 12440, Indonesia

*E-mail: d_sopandie@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Perubahan pola iklim dan curah hujan menyebabkan meningkatnya risiko kekeringan terutama di lahan kering. Cekaman kekeringan pada budidaya padi dapat terjadi secara tunggal maupun berulang atau sering disebut cekaman ganda. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan respon pertumbuhan beberapa galur padi M₃ dan varietas pembandingan pada kondisi cekaman kekeringan pendek ganda yaitu kekeringan pada awal tanam saat vegetatif dan terminal saat pembungaan. Percobaan ini menggunakan 24 galur padi gogo M₃, Varietas Towuti (cek Indukan), IR20 (cek peka), dan Salumpikit (cek toleran). Hasil penelitian menunjukkan dari 24 galur padi M₃, galur Tw16, Tw18 dan Tw22 merupakan galur yang toleran berdasarkan nilai derajat kekeringan (DTD), Skor *recovey* dan Skor daun mengering fase terminal. Nilai derajat kekeringan (DTD) beberapa galur mutan yang toleran (>0,85), memiliki skor daya tumbuh kembali yaitu <3 dan skor daun mengering fase terminal kurang dari 4. Cekaman kekeringan pada awal tanam dan terminal secara signifikan menurunkan rata-rata tinggi tanaman dan jumlah anakan total. Galur Tw16, Tw18 dan Tw22 merupakan galur harapan yang akan diuji pada tahapan penanaman generasi M₄.

Kata kunci: Cekaman keringan ganda, Mutan, padi gogo, *Staygreen*

ABSTRACT

The genetics of phenotypic responses to changing environments remains elusive. Rice's drought tolerance is influenced by a range of agro-morpho-physiological traits. Enhancing drought tolerance in upland rice is crucial needed. Ongoing research is being conducted to screen and identify mutations in Towuti upland rice that confer drought tolerance, to develop varieties that exhibit tolerance to drought stress and adaptability to climate change. However, the specific findings of double drought stresses investigations in Towuti mutant upland rice have not been fully elucidated. Furthermore, studying the combining ability for drought tolerance is essential. It will provide valuable insights into the adaptation of Towuti mutant upland rice, particularly regarding drought-related adaptation, and its subsequent application in modern agriculture. The research was conducted in a greenhouse and comprised two experiments. The research findings reveal variations in drought tolerance responses among 24 strains of upland rice M₄. Out of these 24 strains, two strains demonstrated sensitivity to drought (Tw6, Tw24), while three strains exhibited tolerance (Tw16, Tw18, Tw22) based on the values of drought tolerance degree (DTD), Recovery Score, and Terminal Phase Leaf Drying Score. Several mutant strains with high drought tolerance (DTD >0.85) displayed correspondingly tolerant regrowth scores and moderately tolerant Reproductive Phase Leaf Drying Scores. The DTD indicator can be employed as a drought selection marker in rice plants. Drought stress during both the vegetative and reproductive phases significantly decreased the average plant height and total tiller count. Plants with low tolerance struggled with repeated drought stress, resulting in diminished growth (reduced plant height, tiller count, leaf width) because of lowered transpiration, photosynthesis rate, intercellular CO₂, total conductance, leaf pigments, SPAD values.

Keywords: Double drought stresses, mutant, upland rice, *staygreen*

PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan tantangan utama pada abad ini dan berdampak negatif pada sistem pertanian khususnya budidaya padi akibat timbulnya variabilitas dan perubahan iklim [1]. Variabilitas dan perubahan iklim memiliki dampak seperti perubahan durasi/frekuensi intensitas/pola curah hujan yang akhirnya meningkatnya frekuensi kekeringan. Kekeringan merupakan salah satu kendala utama produksi padi secara global termasuk Indonesia. Cekaman kekeringan ekstrim pada padi menyebabkan penurunan produksi sebesar 48-94% pada fase reproduktif dan 60% pada fase pengisian biji[2]

Padi gogo towuti adalah salah satu varietas padi gogo yang dilepas tahun 1999. Penelitian tentang padi gogo towuti dan mutan towuti yang diinduksi oleh radiasi sinar gamma untuk meningkatkan toleransi terhadap cekaman kekeringan masih terus dilakukan. Evaluasi somaklon Towuti hasil radiasi ulang 15 Gy dengan seleksi *in vitro* menggunakan PEG 6000 20% menunjukkan beberapa genotipe yang tahan kekeringan dengan karakteristik seperti pertumbuhan tanaman yang lebih baik dan produksi gabah yang tinggi serta kandungan prolin tinggi dibandingkan dengan varietas Gajah Mungkur dan IR64 [3]. Mutan Towuti M₃ hasil iradiasi ulang 300 Gy pada kondisi kekeringan menunjukkan skor penggulungan daun rendah, jumlah daun dan jumlah anakan lebih banyak, kerapatan stomata lebih besar [4]. Uraian diatas memberikan panduan pemahaman toleransi cekaman kekeringan padi Towuti dan muntanya, tetapi masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memvalidasi temuan-temuan ini dan menguji kinerja genotipe ini dalam lingkungan yang tepat.

Respon toleransi tanaman padi terhadap cekaman kekeringan pada stres pendek tunggal [5] atau aklimatisasi stres jangka panjang [6]. sudah banyak dipelajari [7], akan tetapi untuk dapat mengidentifikasi dengan benar tingkat toleransi tersebut, maka lingkungan seleksi untuk kekeringan harus dapat memberikan tingkat cekaman dan waktu yang tepat. Pemilihan lingkungan seleksi yang tepat untuk seleksi karakter ketahanan terhadap kekeringan memerlukan pemahaman yang mendalam tentang sifat cekaman kekeringan karena kekeringan merupakan cekaman lingkungan yang bersifat sulit diduga karena tidak terjadi sepanjang tahun. Beberapa strain yang berbeda dan stres yang

berbeda dapat menimbulkan strain yang sama [8]. Pada ekosistem alami/pertanian, tanaman sering menghadapi pola stres yang berfluktuasi dengan pemahaman tersebut penelitian ini menggunakan pendekatan stres pendek berulang yaitu kekeringan pada awal tanam saat fase vegetatif dan terminal saat fase pembungaan.

Dalam mendukung upaya pemuliaan tanaman padi gogo toleran kekeringan penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan respon pertumbuhan beberapa mutan padi gogo Towuti dan varietas pembanding pada kondisi cekaman kekeringan pendek berulang.

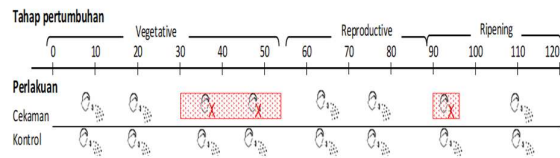
BAHAN DAN METODE

Bahan dan waktu penelitian

Materi genetik yang digunakan adalah 24 galur padi gogo M₄, Towuti sebagai varietas sebagai induk, IR20 sebagai cek peka kekeringan dan Salumpikit sebagai cek toleran kekeringan. Pemupukan menggunakan NPK Mutiara (16-16-16) dengan dosis 250 kg ha⁻¹ serta menggunakan pestisida. Penanaman dilakukan dua kali. Pertama di rumah kaca (LU -6° 17' 38.6268"; BT 106° 46' 26.382") Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi - ORTN - BRIN Pasar Jumat, Jakarta pada bulan Agustus hingga November 2022. Kedua dilakukan di rumah kaca (LS 6° 33' 03.3"; BT 106° 42' 50.8"), Fakultas Pertanian, IPB University, Bogor pada November 2022 sampai Mei 2023,.

Rancangan percobaan

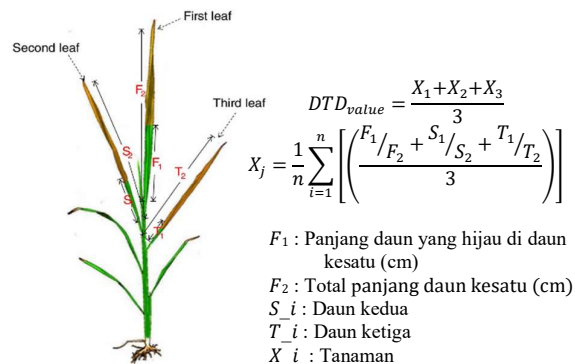
Percobaan ini menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (RKLT) dengan 2 faktor diulang sebanyak 3 kali. Faktor pertama adalah materi genetik dan faktor kedua adalah perlakuan kekeringan. Materi genetik yang digunakan dipercobaan pertama yaitu 24 galur mutan (M₄) padi gogo towuti hasil iradiasi 200 Gy, Varietas Towuti, IR20, dan Salumpikit. Percobaan kedua menggunakan materi genetik dari penelitian pertama yang dikelompokkan menjadi genotipe toleran (Tw16, Tw18, Tw22) & genotipe peka (Tw6, Tw24). Pemilihan didasarkan oleh nilai DTD. Penyiraman dilakukan setiap hari sekali. Penyiraman dilakukan sampai kadar air tanah mencapai kapasitas lapang. Perlakuan cekaman kekeringan/tanpa penyiraman dilakukan dua kali seperti pada Gambar 1. Penyiraman kembali pada cekaman fase vegetatif dan terminal dilakukan saat cek peka sebagai indikator toleransi telah menunjukkan cekaman kekeringan (daun telah menggulung penuh).



Gambar 1. Perlakuan cekaman kekeringan tanaman fase vegetatif (25 hari) dan terminal (7 hari)

Pengukuran DTD

Pengukuran indikator kekeringan fase vegetatif dilakukan saat tanaman cek peka sudah mengalami cekaman kekeringan menggunakan metode pengukuran *drought tolerance degree* (DTD) dengan persamaan pada Gambar 2 [9].



Gambar 2. Perlakuan cekaman kekeringan tanaman

Pengamatan skor recovery dan daun mengering

Pengukuran skor *recovery* tanaman fase vegetatif dilakukan pada 10 hari setelah *rewatering* mengikuti indikator pada Tabel 1.

Tabel 1. Skor *Recovery* tanaman

Skala	Tanaman dapat Pemulihan	Kriteria
1	90-100%	Toleran
3	70-89%	Agak toleran
5	40-69%	Moderat
7	20-39%	Agak peka
9	0-19%	Peka

Sumber : [10]

Pengukuran skor daun mengering di fase terminal dilakukan saat tanaman cek peka sudah mengalami cekaman kekeringan. Pengukuran menggunakan skor indikator pada Tabel 2.

Tabel 2. Skor daun mengering fase terminal

Skala	Gejala	Kriteria
0	Tidak ada daun mengering	Sangat toleran
1	ujung daun mengering	Toleran
3	mengering sampai 1/4 bagian di semua daun	Agak toleran
5	1/4 - 1/2 bagian mengering di semua daun	Moderat
7	Lebih dari 2/3 bagian dari semua daun kering	Agak peka
9	Semua tanaman mati	Peka

Sumber : [10]

Pengambilan sampel daun

Sampel daun untuk analisis fisiologi diambil pada akhir perlakuan cekaman kekeringan pada daun kedua dan ketiga dipertanaman M_5 .

Analisis fisiologis pertukaran gas, konsentrasi pigmen daun, dan SPAD

Pengukuran laju fotosintesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), laju transpirasi ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) menggunakan alat Li-Cor 6800. Pengukuran dilakukan pada sampel daun yang telah sepenuhnya berkembang (daun dewasa), terpapar dengan cahaya penuh, dan berasal dari posisi yang sama, khusus pada tanaman yang semua daunnya menggulung sempurna maka dilakukan pengukuran menggunakan lebih dari satu daun sampai *top chamber* tertutupi.

Pigmen daun diekstraksi mengikuti metode [11], sebanyak 0.1 g daun segar (BB) digerus pada mortar dengan penambahan 10 ml 80 % aseton. Setelah dilakukan ekstraksi secara sempurna, larutan hasil ekstraksi dimasukkan ke dalam tabung sentrifus 15 ml dan disentrifugasi pada 3000 g dengan suhu 4 °C selama 10 menit. Pengukuran absorbansi supernatan yang dihasilkan dari proses sentrifugasi dilakukan pada panjang gelombang 470, 646 dan 663 nm menggunakan spektrofotometer. Konsentrasi klorofil ditentukan berdasarkan [9] menggunakan persamaan ini:

$[Chl] = \text{konsentrasi klorofil total (mg/g BB)}$

$[Chl] = (7.15 \times A_{663}) + (18.71 \times A_{646})$

$[Chl a] = (12.25 \times A_{663}) - (2.79 \times A_{646})$

$[Chl b] = (21.5 \times A_{646}) - (5.1 \times A_{663})$

$[Carotenoids] = ((1000 \times A_{470})$

$- (1.82 \times [Chl a])$

$- (85.02 \times [Chl b]))/198$

Kehijauan daun diukur menggunakan alat *soil plant analysis development* (SPAD)-502. Pengukuran dilakukan di 2/3 dari pangkal daun ke pucuk pada daun keempat yang terbuka penuh dari atas [12]

Kadar air tanah diukur dengan metode gravimetri. Sampel tanah ditimbang sebanyak ± 5 gram kemudian dioven pada suhu 105°C sampai bobot kering mutlak (BKM) tanah stabil. Kadar air tanah dihitung dengan persamaan berikut:
$$\text{Kadar air tanah (\%)} = \frac{\text{Berat awal} - \text{BKM}}{\text{BKM}} \times 100.$$

Analisis statistik

Data hasil skoring daun mengering dan recovery setelah kekeringan dianalisis berdasarkan uji Friedman. Data pengukuran yang diperoleh dianalisis menggunakan ANOVA (khusus data pengukuran DTD menggunakan ANOVA satu arah pada perlakuan cekaman kekeringan) dan diuji lanjut menggunakan uji LSD dan kontras ortogonal pada taraf $\alpha 0.05$. Analisis statistika menggunakan perangkat lunak SPSS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Cekaman kekeringan menurunkan kadar air tanah disemua media tanam percobaan. Kadar air tanah pada akhir perlakuan cekaman kekeringan fase vegetatif yaitu 51 %b/b diperlakukan kontrol dan perlakuan cekaman kekeringan 23 %b/b. Kadar air tanah diakhir perlakuan cekaman kekeringan fase terminal pada perlakuan kontrol 49 %b/b dan perlakuan cekaman kekeringan 19 %b/b. Kadar air tanah di percobaan kedua yaitu, 43 %b/b pada perlakuan kontrol dan 13-16 %b/b pada perlakuan cekaman kekeringan di kedalaman media tanam 0-25 cm dan 28-38%b/b di kedalaman media tanam >25 cm.

Hasil pengukuran DTD ditunjukkan pada Gambar 2. Semua nilai derajat toleransi kekeringan pada kondisi kontrol adalah 1,00. Tanaman padi pada kondisi kontrol tidak mengalami kekeringan pada daunnya, sehingga semua tampilan daun keadaan hijau. Rata-rata nilai DTD kondisi perlakuan kekeringan berkisar 0.05 sampai 0.96. Varietas IR20 yang merupakan varietas cek peka kekeringan, mempunyai nilai DTD (0.11) sedangkan pada Tw24 dan Tw6 memiliki nilai DTD di bawah cek peka.

Padi mutan galur Tw16, Tw18 dan Tw22 mempunyai nilai DTD tertinggi di antara galur

mutan yang lainnya yaitu 0,83, 0,84, dan 0,85 namun lebih rendah dari cek toleran (0,96) dan lebih tinggi dari cek indukan. DTD menunjukkan perbandingan daun yang hijau terhadap keseluruhan daun atau disebut *stay-green*. *Stay green* adalah karakteristik penting untuk menjaga kelangsungan hidup tanaman selama kekeringan dan dapat digunakan sebagai indikator seleksi [13]. Sifat ini menunjukkan kemampuan tanaman untuk mempertahankan aktivitas metabolisme dan pertumbuhannya selama periode kekeringan yang mengancam, dan tanaman dengan sifat ini lebih cenderung mempertahankan fotosintesis, penyerapan air yang penting untuk kelangsungan hidup tanaman [14][15].

Tabel 5. Rataan dan persentase penurunan tinggi tajuk beberapa galur mutan M4

Galur/ Varietas	Tinggi Tajuk (cm)			
	55 HSS		97 HSS	
	rata-rata	%	rata-rata	%
Tw1	67.01 ^{bde}	20,1	103.02 ^b	12,8
Tw2	67.66 ^{bcd}	20,8	99.47 ^{bdef}	12,5
Tw3	63.34 ^{bde}	26,5	97.83 ^{bdef}	16,4
Tw4	61.12 ^{def}	35,6	95.94 ^{bdef}	26,3
Tw5	69.31 ^{bc}	19,4	102.22 ^{bc}	12,8
Tw6	66.56 ^{bde}	30,0	96.53 ^{bdef}	24,6
Tw7	59.67 ^{def}	28,2	93.00 ^{bdef}	18,8
Tw8	63.73 ^{bde}	20,4	94.07 ^{bdef}	12,9
Tw9	62.36 ^{de}	25,4	91.94 ^{def}	16,3
Tw10	61.80 ^{de}	18,9	92.23 ^{def}	12,5
Tw11	65.33 ^{bde}	19,9	97.15 ^{bdef}	14,7
Tw12	67.41 ^{bcd}	23,0	98.40 ^{bdef}	15,4
Tw13	65.48 ^{bde}	26,9	100.06 ^{bde}	10,7
Tw14	62.95 ^{bde}	32,6	97.38 ^{bdef}	26,5
Tw15	63.23 ^{bde}	19,9	94.96 ^{bdef}	12,2
Tw16	60.93 ^{def}	17,2	90.89 ^{ef}	12,7
Tw17	61.31 ^{cdef}	33,6	96.70 ^{bdef}	21,5
Tw18	63.60 ^{bde}	24,4	97.56 ^{bdef}	18,4
Tw19	59.74 ^{def}	26,5	89.72 ^f	12,6
Tw20	64.87 ^{bde}	28,8	98.96 ^{bdef}	20,2
Tw21	59.32 ^{ef}	27,3	90.05 ^{ef}	20,8
Tw22	62.34 ^{de}	30,0	94.67 ^{bdef}	17,2
Tw23	70.45 ^b	23,0	99.56 ^{bdef}	18,4
Tw24	65.07 ^{bde}	34,5	101.59 ^{bcd}	22,4
IR 20	53.41 ^f	28,7	79.22 ^g	24,0
Towuti	65.88 ^{bde}	25,4	96.88 ^{bdef}	14,5
Salumpikit	82.84 ^a	22,5	130.37 ^a	13,7
Perlakuan				
Kontrol	73.75 ^a	25,7	106.46 ^a	17,7
Cekaman	54.90 ^b		87.64 ^b	

* % : persentase penurunan relatif tinggi tanaman yang tercekam dengan kontrol**Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji LSD taraf 5%

Sifat *stay green* berdampak positif terhadap peningkatan hasil pada kondisi cekaman kekeringan [16]. Padi yang toleran kekeringan akan mempertahankan karakter *stay green* selama *senesen* sehingga menghasilkan hasil yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan tanaman tersebut mampu melakukan fotosintesis lebih lama [17]) dapat juga tecermin dalam kemampuan *recovery* setelah perlakuan cekaman. Kemampuan tanaman untuk pulih setelah kekeringan digambarkan lebih penting daripada toleransi kekeringan.

Tabel 6. Rataan dan persentase jumlah anakan total beberapa galur mutan M₄

Galur/ Varietas	Anakan Total			
	55 HSS		97 HSS	
	rata-rata	%	rata-rata	%
Tw1	9.00 ^{de}	41,2	14.83 ^{bcd}	46,6
Tw2	9.83 ^{abde}	40,5	16.00 ^{abcd}	52,3
Tw3	9.17 ^{de}	38,2	13.33 ^{ef}	46,2
Tw4	10.33 ^{abcd}	36,8	14.83 ^{bcd}	49,2
Tw5	9.67 ^{abde}	43,2	15.00 ^{abde}	50,0
Tw6	8.67 ^e	42,4	12.50 ^{fg}	55,8
Tw7	10.33 ^{abcd}	27,8	15.67 ^{abde}	43,3
Tw8	10.83 ^{ab}	28,9	17.17 ^{ab}	46,3
Tw9	10.00 ^{abde}	37,8	15.17 ^{abde}	48,3
Tw10	9.83 ^{abde}	31,4	16.00 ^{abcd}	47,6
Tw11	9.50 ^{bde}	41,7	14.17 ^{cdef}	45,5
Tw12	10.83 ^{ab}	41,5	17.17 ^{ab}	52,9
Tw13	8.83 ^e	44,1	13.83 ^{def}	51,8
Tw14	9.33 ^{cde}	35,3	13.50 ^{ef}	52,7
Tw15	11.00 ^a	30,8	16.83 ^{ab}	42,2
Tw16	11.00 ^a	26,3	17.33 ^a	37,5
Tw17	9.67 ^{abde}	34,3	15.17 ^{abde}	48,3
Tw18	10.33 ^{abcd}	27,8	16.67 ^{ab}	38,7
Tw19	9.33 ^{cde}	35,3	14.00 ^{def}	47,3
Tw20	10.67 ^{abc}	27,0	16.50 ^{abc}	45,3
Tw21	9.33 ^{cde}	35,3	13.83 ^{def}	46,3
Tw22	9.50 ^{bde}	32,4	14.83 ^{bcd}	38,2
Tw23	10.00 ^{abde}	33,3	15.33 ^{abde}	44,1
Tw24	10.33 ^{abcd}	41,0	15.00 ^{abde}	54,8
IR 20	9.50 ^{bde}	45,9	15.33 ^{abde}	56,3
Towuti	9.00 ^{de}	41,2	13.67 ^{def}	53,6
Salumpikit	5.83 ^f	15,8	10.17 ^g	35,1
Perlakuan				
Kontrol	11.80 ^a	35,8	19.60 ^a	47,4
Cekaman	7.58 ^b		10.31 ^b	

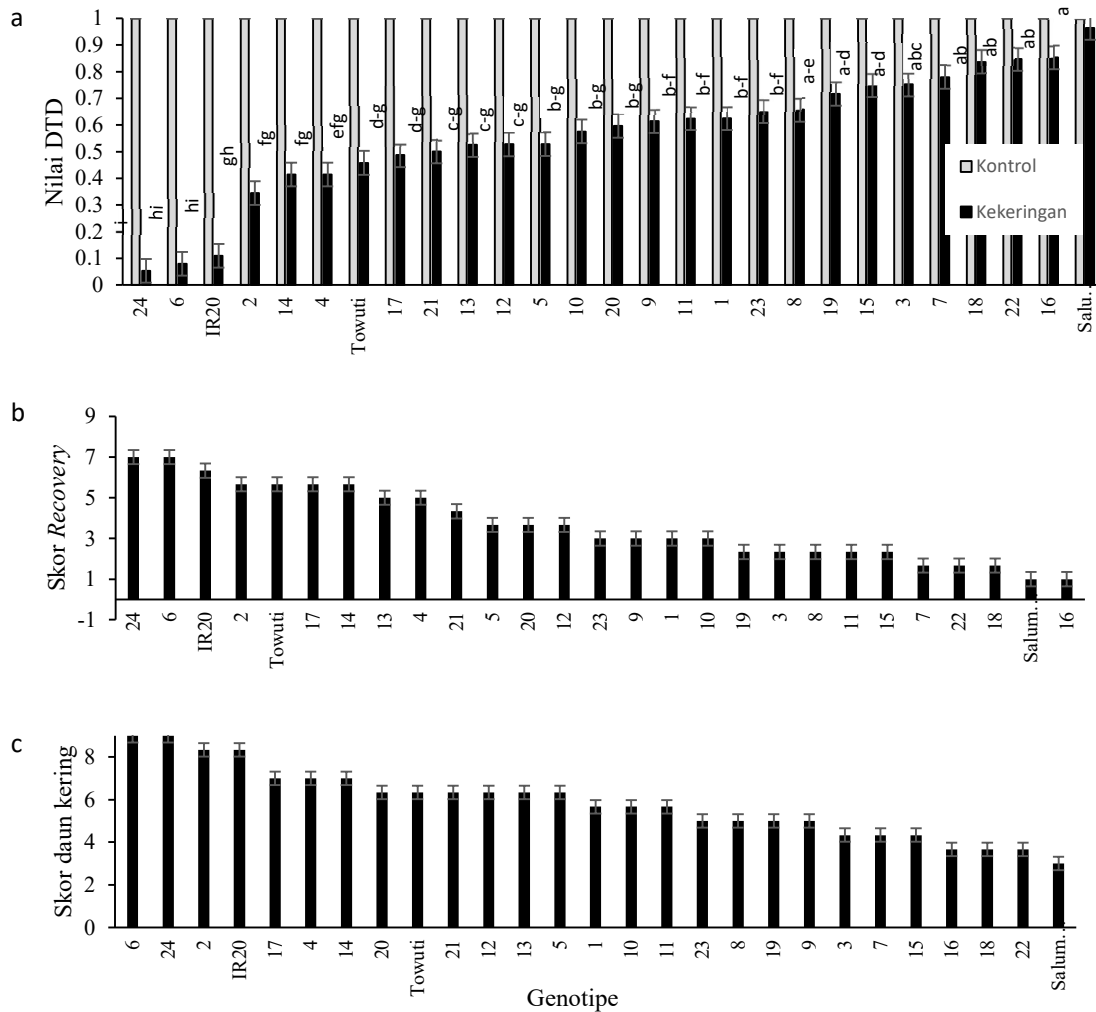
* % : persentase penurunan relatif jumlah anakan tanaman yang tercekam dengan kontrol

**Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji LSD taraf 5%

Berdasarkan analisis Friedman test nilai signifikansi <0,001 (Asymp. Sig.) nilai tersebut lebih kecil dari α 0,05 yang menunjukkan bahwa skor *recovery* di antara genotipe saling berbeda nyata. Rataan skor *recovery* yang diukur setelah 10 hari penyiraman kembali berkisar antara 1-7. Skor 7 menandakan kemampuan pemulihan yang buruk atau termasuk dalam kriteria agak peka seperti ditunjukkan pada cek peka (IR20), Tw6, dan Tw24. Cek induk (Towuti) masuk ke dalam kriteria moderat (skor 5.6) sedangkan salumpikit masuk ke dalam kriteria toleran (skor 1). Dari semua galur yang diuji Tw16 memiliki skor yang terbaik (toleran).

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa genotipe yang memiliki nilai DTD tinggi memiliki kemampuan untuk pulih yang lebih baik sehingga kemampuan suatu genotipe untuk tumbuh kembali setelah adanya cekaman pada tahap awal pertumbuhannya merupakan tanda positif untuk arah pengembangan/pertumbuhan padi [18]. Skor daun kering diantara genotipe saling berbeda nyata berdasarkan analisis Friedman test bahwa nilai signifikansi (Asymp. Sig. <0,001) kurang dari α 0,05.

Hasil skoring daun kering pada cekaman kekeringan fase terminal atau disingkat DRS pada percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 2. Rata-rata nilai skoring DRS berkisar antara 3 sampai 9. Skor 9 menandakan seluruh tanaman yang diamati mati karena perlakuan cekaman kekeringan. Skor terbaik daun mengering cekaman kekeringan fase reproduktif pada galur mutan M₄ yaitu galur Tw16, Tw18, Tw22, tidak lebih baik dari cek toleran namun lebih baik dari cek indukan. Tanaman cek peka dan galur dengan skor DRS yang buruk sebelumnya memiliki nilai DTD yang rendah. Cekaman kekeringan berulang menyebabkan kerusakan oksidatif yang lebih tinggi dari tanaman kontrol pada tanaman padi [19], meskipun tanaman dapat pulih setelah cekaman kekeringan pada fase vegetatif tetapi tanaman mengalami penurunan aktivitas metabolisme dan pertumbuhan yang signifikan. Sehingga tanaman dengan sifat *stay green* akan mempertahankan aktivitas metabolisme yang relatif stabil dan dapat melewati cekaman berulang fase reproduktif. Sifat *stay green* ini dapat dikaitkan dengan peningkatan akumulasi senyawa-senyawa yang melindungi sel-sel tanaman dari kerusakan yang disebabkan oleh stres kekeringan, seperti senyawa antioksidan dan pigmen fotosintetis [20]



Gambar 2. Rataan nilai DTD (a), skor *Recovery* (b), fase vegetatif dan skor daun kering (c) fase terminal pada perlakuan cekaman kekeringan.

Beberapa galur padi pada fase vegetatif memiliki rata-rata tinggi tajuk berkisar antara 59-70 cm seperti terlihat pada Tabel 5 sedangkan pada fase terminal rata-rata tinggi tajuk berkisar antara 89-103 cm. Tinggi tajuk menurun 25,7% saat mengalami cekaman kekeringan pada fase vegetatif dan 17,7% pada fase terminal, perbedaan penurunan tinggi tajuk diduga bahwa fase vegetatif merupakan fase dengan laju penambahan tinggi tajuk yang maksimum [21]. Galur Tw23 Perbedaan penurunan tinggi tajuk tiap galur yang diuji menunjukkan respon tanaman terhadap cekaman kekeringan. Tabel 6 menunjukkan hasil pengukuran jumlah anakan total, terdapat penurunan jumlah anakan total sebesar 35,8% pada cekaman vegetatif dan 47,4% pada cekaman terminal merupakan galur tertinggi pada fase

vegetatif dan pada fase terminal rata-rata tertinggi terdapat pada Tw1. Perbedaan penurunan jumlah anakan total diduga bahwa cekaman kekeringan ganda memperburuk kondisi tanaman sehingga jumlah anakan menurun lebih besar pada fase terminal [22]. Galur Tw15 dan Tw16 memiliki rata-rata jumlah anakan total tertinggi pada cekaman kekeringan fase vegetatif sedangkan pada cekaman fase terminal galur Tw16 memiliki rata-rata jumlah anakan total tertinggi [23]. Cekaman ganda juga menyebabkan kerusakan oksidatif yang lebih tinggi dari tanaman kontrol pada tanaman padi sehingga tanaman akan menurunkan pertumbuhan dan fotosintesis [19].

Tingkat toleransi kekeringan menggunakan indikator kehijauan daun (DTD) yang kemudian dikelompokkan menjadi kelompok genotipe toleran dan kelompok genotipe peka digunakan

Tabel 7 Rata-rata beberapa peubah fisiologi kelompok genotipe peka dan toleran pada kondisi cekaman kekeringan dan kontrol

Karakter	Kelompok genotipe peka					Kelompok genotipe toleran				
	Kontrol		Cekaman		%	Kontrol		Cekaman		%
SPAD	43.23	a	38.50	b	11	45.28	a	43.20	b	5
Klorofil a	3.33	a	2.16	b	35	3.42	a	2.52	b	26
Klorofil b	1.22	a	0.83	b	32	1.22	a	0.94	b	23
Total Klorofil	4.55	a	2.99	b	34	4.65	a	3.46	b	26
Karotenoid	0.80	a	0.46	b	43	0.84	a	0.56	b	33
Transpirasi	4.23	a	0.47	b	89	3.65	a	0.77	b	79
Fotosintesis	10.35	a	2.52	b	76	10.47	a	4.54	b	57
Interelular	272.68	a	229.43	b	16	271.07	a	231.51	b	15
Konduktansi	0.13	a	0.02	b	86	0.12	a	0.03	b	76
Suhu Daun	30.23	a	31.49	b	-4	30.59	a	31.40	b	-3

*Angka yang diikuti huruf yang sama pada baris dan pada kelompok genotipe yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji kontras ($\alpha = 5\%$). **% : % adalah persentase penurunan relatif tanaman yang tercekam dengan kontrol, Bobot segar (BB), Klorofil a / Klorofil b / Total klorofil / Total karotenoid: mg g⁻¹ BB, Laju fotosintesis: $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Interelular CO₂ $\mu\text{mol mol}^{-1}$, Total konduktansi: $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Suhu Daun (°C).

untuk membantu pemahaman toleransi cekaman kekeringan. Perlakuan cekaman kekeringan nyata pada peubah SPAD, klorofil a, klorofil b, klorofil total, karotenoid, transpirasi, laju fotosintesis, dan *interelular* CO₂, total konduktansi terhadap tanaman kontrol (**Error! Reference source not found.**). Kelompok genotipe toleran memiliki nilai yang lebih tinggi pada karakter tersebut dibandingkan dengan genotipe peka pada perlakuan cekaman kekeringan. Hal tersebut menandakan genotipe toleran memiliki performa yang lebih baik dalam kondisi kekeringan.

Kekeringan menurunkan kandungan klorofil dari beberapa varietas padi yang diuji [23]. Kandungan karotenoid dan klorofil total tanaman sensitif cenderung menurun selama kekeringan, sedangkan pada tanaman toleran cenderung tetap [24], [25]. Menurut [26] penurunan kandungan klorofil merupakan tanda stres oksidatif yang disebabkan adanya hidrogen peroksida pada stroma sehingga menyebabkan kerusakan kloroplas. Karotenoid berperan sebagai pigmen aksesoris penting dalam proses transfer energi selama fotosintesis dan melindungi tanaman dari efek berbahaya dari fotooksidasi juga mengalami penurunan akibat cekaman kekeringan.

Klorofil merupakan komponen penting dari aparatus fotosintesis. Penurunan fotosintesis pada kondisi kekeringan disebabkan oleh penutupan stomata dan pengaruh metabolisme tanaman. Kekurangan air akan menyebabkan penutupan stomata yang akan menurunkan konsentrasi CO₂ seluler, sedangkan dehidrasi pada sel mesofil daun dapat menyebabkan kerusakan organ fotosintesis (Zaman et al. 2018). Kelompok genotipe peka

mengalami penurunan transpirasi, fotosintesis, *interelular* CO₂, Konduktansi stomata yang lebih tinggi dibandingkan kelompok genotipe toleran.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan menunjukkan bahwa dari 24 galur padi M4, galur Tw16, Tw18 dan Tw22 merupakan galur yang toleran dan Tw24 dan Tw 6 merupakan galur yang peka berdasarkan nilai derajat kekeringan (DTD), skor *recovey* dan skor daun mengering fase terminal. Nilai derajat kekeringan (DTD) beberapa galur mutan yang toleran (>0,85), memiliki skor daya tumbuh kembali yang tergolong toleran dan skor daun mengering fase reproduktif yang tergolong agak toleran. Nilai DTD genotipe M4 juga menunjukkan konsistensi data pada penanaman selanjutnya M5. Sehingga indikator DTD dapat dijadikan sebagai indikator seleksi pada tanaman padi pada cekaman kekeringan berulang. Cekaman kekeringan menyebabkan penurunan pertumbuhan (penurunan tinggi tanaman, jumlah anaka,) akibat dari penurunan transpirasi, laju fotosintesis, *interelular* CO₂, total konduktansi, pigmen daun dan SPAD.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih Penulis ucapkan kepada Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, Organisasi Riset Teknologi Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memfasilitasi terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IPCC, "Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems," 2019.
- [2] Y. Kim, Y. S. Chung, E. Lee, P. Tripathi, S. Heo, dan K.-H. Kim, "Root Response to Drought Stress in Rice (*Oryza sativa* L.)," *Int J Mol Sci*, vol. 21, no. 4, hlm. 1513, Feb 2020, doi: 10.3390/ijms21041513.
- [3] E. G. Lestari dan I. Mariska, "Identifikasi Somaklon Padi Gajahmungkur, Towuti dan IR 64 Tahan Kekeringan Menggunakan Polyethylene Glycol," *Jurnal Agronomi Indonesia*, vol. 34, no. 2, 2006.
- [4] H. Dama, "Identifikasi Pertumbuhan Dan Perkembangan Genotipe Mutan Towuti M3 Serta Beberapa Varietas Padi (*Oryza Sativa* L.) Terhadap Cekaman Kekeringan," Thesis, Insitut Pertanian Bogor, Bogor, 2020.
- [5] M. Sarwendah dkk., "Respon Fisiologi dan Agronomi Padi Mutan Situgintung pada Cekaman Kekeringan Fase Vegetatif," *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, vol. 17, no. 2, hlm. 79–87, 2021.
- [6] F. Y. Wicaksono, U. R. Sinniah, Ruminta, Sumadi, dan T. Nurmala, "Characteristics of physiology, phenology, and drought susceptibility index of two varieties of Job's tears under water deficit stress," *Biodiversitas*, vol. 23, no. 1, hlm. 381–387, Jan 2022, doi: 10.13057/biodiv/d230139.
- [7] D. Panda, S. S. Mishra, dan P. K. Behera, "Drought Tolerance in Rice: Focus on Recent Mechanisms and Approaches," *Rice Science*, vol. 28, no. 2, Elsevier B.V., hlm. 119–132, 1 Maret 2021. doi: 10.1016/j.rsci.2021.01.002.
- [8] A. Blum, "Stress, strain, signaling, and adaptation-not just a matter of definition," *Experimental Botany*, hlm. 563–565, 2016, doi: 10.1093/jxb/erv497.
- [9] X. Zu dkk., "A new method for evaluating the drought tolerance of upland rice cultivars," *Crop Journal*, vol. 5, no. 6, hlm. 488–498, Des 2017, doi: 10.1016/j.cj.2017.05.002.
- [10] IRRI, *Standard Evaluation System (SES) for Rice*. 2013.
- [11] M. Quinet dkk., "Combined transcriptomic and physiological approaches reveal strong differences between short- and long-term response of rice (*Oryza sativa*) to iron toxicity," *Plant Cell Environ*, vol. 35, no. 10, hlm. 1837–1859, 2012, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02521.x>.
- [12] Z. Yuan dkk., "Optimal leaf positions for SPAD meter measurement in rice," *Front Plant Sci*, vol. 7, no. MAY2016, Mei 2016, doi: 10.3389/fpls.2016.00719.
- [13] M. Sarwendah, "Respons Morfofisiologi, Agronomi, Dan Studi Mekanisme Toleransi Padi Gogo Mutan Terhadap Cekaman Kekeringan," Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2023.
- [14] T. Ba Hoang dan T. Kobata, "Stay-Green in Rice (*Oryza sativa* L.) of Drought-Prone Areas in Desiccated Soils," *Plant Prod Sci*, vol. 12, no. 4, hlm. 397–408, Jan 2009, doi: 10.1626/pp.12.397.
- [15] H. Rong dkk., "The Stay-Green Rice like (SGRL) gene regulates chlorophyll degradation in rice," *J Plant Physiol*, vol. 170, no. 15, hlm. 1367–1373, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.05.016>.
- [16] Z. Zhou dkk., "Leaf-colour modification affects canopy photosynthesis, dry-matter accumulation and yield traits in rice," *Field Crops Res*, vol. 290, hlm. 108746, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108746>.
- [17] A. Nawaz, M. Farooq, A. Cheema, A. Yasmeen, dan A. Wahid, "Stay Green Character at Grain Filling Ensures Resistance against Terminal Drought in Wheat," *J. Agric. Biol*, vol. 15, hlm. 1272–1276, 2011, [Daring]. Tersedia pada: <http://www.fspublishers.org>

- [18] S. Swapna dan K. S. Shylaraj, "Screening for Osmotic Stress Responses in Rice Varieties under Drought Condition," *Rice Sci*, vol. 24, no. 5, hlm. 253–263, Sep 2017, doi: 10.1016/j.rsci.2017.04.004.
- [19] P. A. Auler dkk., "Stress memory of physiological, biochemical and metabolomic responses in two different rice genotypes under drought stress: The scale matters," *Plant Science*, vol. 311, Okt 2021, doi: 10.1016/j.plantsci.2021.110994.
- [20] C. Ru, X. Hu, D. Chen, W. Wang, J. Zhen, dan T. Song, "Individual and combined effects of heat and drought and subsequent recovery on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) photosynthesis, nitrogen metabolism, cell osmoregulation, and yield formation," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 196, 222–235, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.01.038>.
- [21] M. Setyowati, N. Hidayatun, S. Sutoro, dan H. Kurniawan, "Evaluasi Karakter Morfo-fisiologis Sumber Daya Genetik Padi Berumur Genjah," *Planta Tropika: Journal of Agro Science*, vol. 2, no. 2, 2014, doi: 10.18196/pt.2014.025.66-73.
- [22] S. Afrianingsih dkk., "Tolerance of rice genotipe (*oryza sativa* l.) on vegetative phase and generative phase to drought stress," *Jurnal Produksi Tanaman*, vol. 6, no. 3, hlm. 355–363, 2018.
- [23] J. Chutia dan S. P. Borah, "Water Stress Effects on Leaf Growth and Chlorophyll Content but Not the Grain Yield in Traditional Rice (*Oryza sativa*) Genotypes of Assam, India II. Protein and Proline Status in Seedlings under PEG Induced Water Stress," *Am J Plant Sci*, vol. 03, no. 07, hlm. 971–980, 2012, doi: 10.4236/ajps.2012.37115.
- [24] Miftahudin, R. E. Putri, dan T. Chikmawati, "Vegetative morpho-physiological responses of four rice cultivars to drought stress," *Biodiversitas*, vol. 21, no. 8, hlm. 3727–3734, Agu 2020, doi: 10.13057/biodiv/d210840.
- [25] Y. C. F. Salsinha, Maryani, D. Indradewa, Y. A. Purwestri, dan D. Rachmawati, "Leaf physiological and anatomical characters contribute to drought tolerance of Nusa Tenggara Timur local rice cultivars," *J Crop Sci Biotechnol*, vol. 24, no. 3, hlm. 337–348, Jun 2021, doi: 10.1007/s12892-020-00082-1.
- [26] G. Miller, N. Suzuki, S. Ciftci-Yilmaz, Dan R. Mittler, "Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses," *Plant Cell Environ*, vol. 33, no. 4, hlm. 453–467, Apr 2010, doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x.