

Review: Potensi *Weedy Rice (Oryza sativa F. Spontanea)* untuk Menjawab Tantangan Penyediaan Sumber Gen Penting dalam Perakitan Tanaman Tangguh Iklim

Mohammad Syafii^{1*}, Abdul Aziz², Akhmad Rizqi Ichsanuddin³, Ika Rifqotul Hasanah⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura

*Corresponding author: m.syafii@trunojoyo.ac.id

Abstrak

Padi (*Oryza sativa L.*) merupakan komoditas penting ke-dua di Dunia dan menjadi makanan utama di Asia. Perubahan iklim memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan menimbulkan berbagai bencana. Perubahan iklim juga menyebabkan pengaruh yang variatif terhadap padi. *Weedy rice (Oryza sativa F. Spontanea)* selama ini dianggap sebagai gulma dan menjadi ancaman diberbagai negara meskipun masih termasuk dalam spesies padi budidaya. Eksistensi *weedy rice* menunjukkan karakter toleran terhadap berbagai cekaman yang dapat ditransfer ke padi budidaya. Berdasarkan hal tersebut review terkait karakter karakter dan gen-gen penting penting dilakukan untuk menyediakan informasi bagi pemulia dalam merakit tanaman tangguh iklim (climate resilience plants). Hasil dari review ini menunjukkan bahwa *weedy rice* memiliki karakter yang berkorelasi dengan gen-gen yang tahan terhadap cekaman (biotik dan abiotik). Beberapa gen yang meregulasi karakter tersebut sudah ditemukan, beserta beberapa lokusnya. Kedepannya *weedy rice* dapat menjadi alternatif dalam penyediaan gen donor untuk merakit tanaman padi yang resisten terhadap berbagai cekaman.

Kata Kunci: Ketahanan terhadap cekaman, Padi, Perubahan iklim

Abstract

Rice (Oryza sativa L.) is the second most important commodity in the world and is the main food in Asia. Climate change harms the environment and causes a variety of disasters. Climate change is also causing a varied influence on rice. Weedy rice (Oryza sativa F. Spontanea) has long been considered a weed and is a threat in various countries although it is still included in cultivated rice species. The existence of weedy rice shows a tolerant character to various cheques that can be transferred to cultivated rice. Based on this, a review related to characters and important genes is important to provide information for breeders in assembling climate resilience plants. The research results showed that weedy rice has a character that correlates with genes resistant to strangle (biotic and abiotic). Several genes that regulate these characters have been found, along with some of their loci. In the future, weedy rice can be an alternative in the provision of donor genes to assemble rice plants that are resistant to various stress.

Keywords: Tolerant to stresses, Rice, Climate change

PENDAHULUAN

Tanaman serealia memegang peranan penting dalam penyediaan pangan dunia khususnya padi. Dalam penyediaan pangan dunia, padi menduduki posisi nomor dua setelah gandum, dimana padi menyumbang 21% energi dan 15% protein yang dibutuhkan oleh manusia (Zibae, 2013). Komoditas padi sendiri menyumbang 20% dari produksi dan konsumsi sereal di seluruh dunia, sedangkan gandum 19% dan jagung 15%. Di Asia beras menjadi makanan pokok para penduduk (Gadal *et al.*, 2019).

Perubahan iklim (*climate change*) saat ini telah menjadi topik yang sering diperbincangkan karena dampaknya yang sudah mulai dirasakan. Perubahan iklim diakibatkan oleh meningkatnya gas emisi rumah kaca, yang mengakibatkan peningkatan suhu global, hujan yang tidak dapat diprediksi, dan berbagai bencana seperti banjir, kekeringan, gelombang panas dan siklon yang diprediksi akan semakin meningkat dimasa depan (Ahsan *et al.*, 2010). Perubahan iklim juga berdampak pada kegiatan budidaya padi. Dilaporkan bahwa perubahan iklim dapat berdampak positif atau negatif pada produksi padi di daerah beriklim, tergantung varietas yang digunakan (Kim *et al.*, 2013). Studi di Bangladesh menunjukkan bahwa perbedaan variasi suhu memiliki dampak yang berbeda-beda terhadap produksi padi, dan hal ini sangat bergantung pada varietas yang digunakan (Sarker *et al.*, 2012). Efek perubahan iklim juga berdampak bagi pertanian padi di Nigeria (Ayinde *et al.*, 2013), Afrika (Van Oort & Zwart, 2018), Pakistan (Chandio *et al.*, 2020). Di Indonesia varietas Ciherang yang merupakan varietas padi yang umum ditanam petani dilaporkan menurun produksinya pada berbagai scenario perubahan iklim karena tingginya suhu (Kinose *et al.*, 2020).

Weedy rice (*Oryza sativa f. Spontanea*) merupakan padi yang tergolong dalam spesies padi budidaya (*Oryza sativa* L), namun keberadaannya justru menurunkan produksi karena sifat-sifatnya yang masih primitif (Imaizumi, 2018). *Weedy rice* berasal dari populasi padi liar yang pada umumnya ditemukan di semenanjung Malaysia. *Weedy rice* memiliki karakter morfologi yang sama dengan padi varietas budidaya pada fase pertumbuhan vegetatif, namun menunjukkan karakter yang berbeda pada fase generatifnya. *Weedy rice* cenderung memiliki produktifitas yang rendah (gabah hampa) dan ujung bulirnya memiliki bulu serta memiliki masa dorman. Hal tersebut yang menyebabkan keberadaan *weedy rice* pada populasi padi budidaya menjadi sulit dikendalikan dan menjadi masalah serius terutama pada teknik budidaya berbasis mesin (Singh *et al.*, 2013).

Selama ini riset mengenai *weedy rice* hanya berfokus pada kehadiran *weedy rice* sebagai gulma yang merugikan praktik agronomi (Juliano *et al.*, 2020). Sedangkan fakta bahwa *weedy rice* mampu tetap eksis melewati berbagai seleksi alam maupun buatan jarang diperhatikan oleh peneliti. Hal tersebut sangat disayangkan, mengingat di dalam *weedy rice* terdapat gen-gen penting yang dapat dikoleksi dan dimanfaatkan terkhusus dalam bidang pemuliaan tanaman. Gen-gen penting tersebut pada umumnya didapatkan pada spesies liar padi budidaya. Mengingat *weedy rice* masih dalam satu spesies dengan padi budidaya (*Oryza sativa* L.) dan memiliki kesamaan genom, maka transfer gen-gen penting tersebut besar kemungkinannya dapat dilakukan, karena tidak ada barrier diantara keduanya.

Beberapa sifat penting yang dimiliki *weedy rice* dan dapat dieksploitasi antara lain sifat toleran terhadap herbisida dan stress lingkungan, mudah beradaptasi di semua kondisi lingkungan. Selain itu *weedy rice* memiliki viabilitas benih 40% lebih tinggi dibandingkan padi budidaya pada kondisi suhu rendah dan perendaman. *Weedy rice* juga memiliki kandungan protein yang lebih tinggi dan keasaman lemak yang lebih rendah dibandingkan padi budidaya. Potensi tersebut didasarkan pada ketahanan pembekuan jaringan sel embrio dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi untuk melindungi kerusakan benih (Baek & Chung, 2012).

Di Indonesia publikasi ilmiah hasil penelitian tentang *weedy rice* belum pernah dilakukan sebelumnya meskipun keberadaannya sudah ada sejak lama. Keberadaan informasi tentang sifat-sifat penting *weedy rice* sebagai sumber gen baru dalam upaya menyediakan varietas baru yang tangguh perubahan iklim ini penting untuk diungkap. Hal ini dapat menjadi landasan untuk menginisiasi penggunaan *weedy rice* sebagai alternatif sumber tetua yang masih satu spesies dengan padi budidaya dibandingkan padi liar berkerabat dekat yang selama ini selalu digunakan. Penyediaan informasi ini juga akan membantu para pemulia untuk mulai mencari gen-gen penting pada *weedy rice* lokal Indonesia yang selama ini tidak pernah dimanfaatkan.

PADI LIAR DAN PENYEBARANNYA

Genus *Oryza* memiliki 2 spesies yang dibudidayakan dan 21 spesies liar. Padi yang dibudidayakan secara luas di Asia berasal dari *O. sativa* dan yang dibudidayakan di sebagian kecil Afrika adalah *O. glaberrima*. Genus *Oryza* diperkirakan berasal dari 130 milyar tahun yang lalu yang menyebar ke berbagai benua. *O. sativa* yang tersebar di Asia Selatan dan Asia Tenggara berasal dari spesies liar *O. nivara* (yang bersifat semusim) yang memiliki nenek moyang *O. rufipogon* (bersifat tahunan). Terdapat dua sub spesies dari *O.*

sativa yang dibudidayakan (*indica* dan *japonica*), dimana sub spesies *japonica* ditanam di daerah beriklim sedang dan tropis. Spesies *O. glaberrima* yang dibudidayakan di Afrika Barat berasal dari *O. breviligulata* (bersifat semusim) dari nenek moyang *O. longistaminata* (bersifat tahunan) (Khush, 1997).

Tabel 1. Grup Spesies Padi Liar (Khush, 1997)

Grup spesies	Spesies
<i>O. Sativa</i>	<i>O. sativa, O. nivara, O. rufipogon O. breviligulata, O. glaberrima, O. longistaminata, O. meridionalis O. glumaepatula</i>
<i>O. officinalis</i>	<i>O. punctata, O. minuta, O. officinalis, O. rhizomatis, O. eichingeri, O. latifolia, O. alta, O. grandiglumis, O. australiensis, O. brachyantha</i>
<i>O. meyeriana</i>	<i>O. granulata, O. meyeriana</i>
<i>O. ridleyi</i>	<i>O. longiglumis, O. ridleyi</i>
<i>Belum diketahui genomnya</i>	<i>O. schlechteri</i>

Padi liar (*Oryza spp.*) tercatat sudah ditemukan lebih dari 87 spesies, namun yang sudah diketahui genomnya baru sekitar 22 spesies. *Oryza spp.* Terdapat variasi jumlah ploidi pada padi liar, ada yang memiliki tingkat ploidi diploid ($2n = 24$) dan ada yang tetraploid ($2n = 48$) dengan variasi genom (AA, BB, CC, EE, FF, BBCC, CCDD, GG, HHJJ, dan HHKK). Sebaran padi liar tercatat ditemukan diberbagai belahan dunia antara lain Asia, Afrika, Amerika, Malaysia, Papua Nugini, dan Myanmar. Secara umum padi liar terdiri dari 5 group spesies yaitu grup (Tabel 1.)

Di Indonesia ditemukan berbagai spesies padi liar yaitu di Sulawesi Tengah (*O. meyeriana*), Merauke, Irian jaya (*O. officinalis, O. meridionalis, O. longiglumis, dan O. rufipogon*), dan di Kalimantan Tengah (*O. officinalis*) (Silitonga, 2004).

Padi budidaya yang dikenal berasal dari spesies liar *O. sativa* yang mengalami seleksi. Kemudian dikenal 3 sub spesies yaitu: 1) *Indica*: tersebar di negara beriklim tropis, 2) *Japonica*: tersebar di negara beriklim subtropis seperti Jepang, Korea dan negara-negara di benua Eropa dan Amerika 3) *Javanica*: menyebar di Jawa, Bali, dan Lombok. Contoh subspecies *Javanica* yaitu Pandan wangi, Rojolele, dan Ketan bulu putih. Petani kemudian menyebut padi sub spesies *Javanica* tersebut dengan sebutan “padi bulu” (Sitaresmi *et al.*, 2015).

WEEDY RICE (O. Sativa F. spontanea)

Weedy rice yang ditemukan di Amerika berdasarkan penanda mikrosatelit dilaporkan mirip dengan padi budidaya *O. sativa* (*indica* dan *aus*) dan padi liar *O. rufipogon* yang tidak pernah dibudidayakan di AS. Selain itu terdapat aksesori yang mirip dengan *japonica* di Amerika Selatan (Olsen *et al.*, 2007). Keberadaan *weedy rice* di Bhutan muncul akibat hibridisasi alami antara *O. sativa indica* dan *japonica* (Ishikawa *et al.*, 2005). *Weedy rice* aksesori Liaoning di China teridentifikasi mirip dengan padi budidaya sub spesies *japonica* (Cao *et al.*, 2006), begitu juga di Italia yang memiliki kasus mirip dengan yang terjadi di Amerika Serikat, di mana *weedy rice*nya mirip dengan *O. sativa japonica* (Grimm *et al.*, 2013). Hasil penelitian lain di Amerika menunjukkan bahwa di California *weedy rice* memiliki kedekatan genetik dengan *O. sativa* (*indica*, *aus*, dan *japonica*) (De Leon *et al.*, 2019).

Terdapat 3 hipotesis mengenai kemunculan *weedy rice* yaitu hibridisasi antara padi budidaya dan padi liar, akibat proses de-domestikasi padi budidaya, dan adaptasi dari padi liar (Singh *et al.*, 2013). Hipotesis tersebut berdasarkan analisis menggunakan teknik identifikasi berbasis genomik. Populasi *weedy rice* di Korea juga diketahui berasal dari hibridisasi padi budidaya (sub spesies *Indica/Japonica*) dengan spesies padi liar (He *et al.*, 2017), sedangkan di Amerika dilaporkan bahwa *weedy rice* muncul akibat proses domestikasi (Li *et al.*, 2017). Hal tersebut juga dilaporkan di China (Qiu *et al.*, 2017) dan di Asia Tenggara, di mana *weedy rice* terbentuk dari proses dedomestikasi dan spesies liar *O. rufipogon* (Vigueira *et al.*, 2017). Sun *et al.*, (2019) melaporkan bahwa berdasarkan analisis genomik terbentuknya *weedy rice* di Asia berasal dari proses evolusi, *weedy rice* bertahan dari seleksi manusia dan juga mampu berkompetisi dengan padi budidaya.

Perspektif *weedy rice* sebagai gulma

Selama ini, penelitian terkait *weedy rice* masih berfokus pada sifatnya sebagai gulma yang dianggap menurunkan produksi padi budidaya dan menelisik asal usulnya diberbagai negara (Tabel 2).

Weedy rice memiliki karakter morfologi yang sama dengan padi varietas budidaya pada umumnya di fase pertumbuhan vegetatif. Namun pada masa pertumbuhan generatif pada umumnya menunjukkan karakter yang berbeda dimana *weedy rice* cenderung memiliki produktifitas yang rendah (gabah hampa) dan ujung bulirnya memiliki bulu (Singh *et al.*, 2013). Di Asia Selatan *weedy rice* memiliki ciri pericarp berwarna merah,

kulit berwarna gelap, biji mudah rontok, arsitektur tanaman yang kompak (Huang *et al.*, 2018).

Tabel 2. Laporan Permasalahan *Weedy Rice* diberbagai Negara

Laporan permasalahan <i>weedy rice</i>	Negara	Jenis artikel	Pustaka
Managemen penanganan benih <i>weedy rice</i> sebagai permasalahan dengan tercampurnya pada padi budidaya	Malaysia	Artikel review	(Azmi <i>et al.</i> , 2012)
Ancaman <i>weedy rice</i> terhadap sistem produksi benih padi secara langsung	India	Artikel Review	(Singh <i>et al.</i> , 2013)
Invasi <i>weedy rice</i>	India	Artikel review	(Abraham & Jose, 2014)
Mengancam produksi	Srilangka	Artikel riset	(Ratnasekera, 2015)
Ancaman Ketika <i>weedy rice</i> tertanam pada lahan padi	Japan	Artikel penelitian	(Imiazumi, 2018).
Asal dan penyebaran	Asia tenggara	Artikel review	(Neik <i>et al.</i> , 2019)
Evolusi <i>weedy rice</i>	Asia selatan	Artikel review	(Huang <i>et al.</i> , 2018)

Banyak tersedia literatur tentang *weedy rice* khususnya mengenai perilakunya sebagai gulma yang mengakibatkan kerugian pada pertanaman padi budidaya. Terdapat metode pengendalian yang dapat diterapkan untuk menangani *weedy rice*. Adapun lebih lengkapnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Artikel *Review Weedy Rice*

Review <i>weedy rice</i>	Pustaka
Kemunculan <i>weedy rice</i> pada pertanaman padi	(Rathore <i>et al.</i> , 2013).
Daya kompetisi padi budidaya terhadap <i>weedy rice</i>	(Olajumoke <i>et al.</i> , 2016).
Penggunaan herbisida untuk menangani <i>weedy rice</i>	(Busi <i>et al.</i> , 2016).
Penggunaan bahan aktif untuk penanganan <i>weedy rice</i>	(Bzour <i>et al.</i> , 2018).
Efek <i>weedy rice</i> terhadap varietas padi budidaya	(Munda <i>et al.</i> , 2019).

Perspektif lain terhadap eksisnya *weedy rice*

Fakta menunjukkan bahwa ditemukan banyak eksistensi *weedy rice* diberbagai negara membuktikan bahwa *weedy rice* memiliki tingkat adaptasi dan toleransi yang tinggi terhadap berbagai seleksi alam, baik seleksi biotik maupun abiotik. Mekanisme pertahanan *weedy rice* terhadap berbagai cekaman tersebut didukung oleh morfologi, fisiologi, dan adaptasinya terhadap iklim yang sub optimum. *Weedy rice* memiliki beberapa potensi yang menguntungkan antara lain sifat toleran terhadap herbisida dan stress lingkungan. *Weedy rice* juga mudah beradaptasi di semua kondisi lingkungan. *Weedy rice* memiliki viabilitas benih 40% lebih tinggi dibandingkan padi budidaya pada kondisi suhu rendah dan perendaman. Selain itu *weedy rice* memiliki kandungan protein yang lebih tinggi dan keasaman lemak yang lebih rendah dibandingkan padi budidaya. Potensi tersebut didasarkan pada ketahanan pembekuan jaringan sel embrio dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi untuk melindungi kerusakan benih (Baek & Chung, 2012).

Morfologi *weedy rice* yang mendukung eksistensinya

Ciri morfologi dari *weedy rice* sangat bervariasi dari berbagai negara, di Malaysia mayoritas aksesi *weedy rice* berwarna coklat dan berbulu (Sudianto *et al.*, 2016), warna pericarp aksesi *weedy rice* di Asia (Asia tenggara, Korea, China) bervariasi yaitu ada yang berwarna putih, coklat cerah, coklat spot, coklat, dan merah. Dari total aksesi 36, terdapat 11 berpericarp putih, 2 coklat dan 23 merah (Zhang *et al.*, 2017).

Weedy rice memiliki tingkat kemiripan yang relatif tinggi dengan padi budidaya, walaupun beberapa karakter yang dimilikinya dapat digunakan untuk membedakan keduanya (De Leon *et al.*, 2019). Ciri utama yang dapat digunakan untuk membedakan antara *weedy rice* dengan padi budidaya adalah ukuran tanaman, anakan, bulu, warna pericarp, dan warna kulit (Olajumoke *et al.*, 2016). Berbagai karakter tersebut pada umumnya digunakan untuk beradaptasi terhadap cekaman lingkungan. Bentuk kanopi dan tinggi tanaman akan berkorelasi dengan kompetisi mendapatkan cahaya matahari sebagai salah satu aspek penting dalam fotosintesis (Burgess *et al.*, 2017). *Weedy rice* yang mampu bertahan di Asia Bagian selatan memiliki bentuk kanopi yang kompak (lurus keatas) (Huang *et al.*, 2018).

Tabel 4. Morfologi 150 Akses *Weedy Rice* di Italia (Fogliatto *et al.*, 2012)

Karakter <i>weedy rice</i>	Rata-rata karakter
Adanya bulu diujung biji	Tidak, pendek, berbulu
Warna bulu	Coklat cerah, hitam, coklat Hanya atas, $\frac{1}{4}$ atas, $\frac{1}{2}$ atas, $\frac{3}{4}$
Distribusi bulu pada malai	keseluruhan
Panjang bulu (mm)	1.3-52.6
Warna kulit	Coklat cerah, hitam, coklat
Bobot 1000 biji (g)	22.8-41.3
Jumlah biji permalai	80.3-205.7
Daya berkecambah saat panen (%)	0-33.9
Daya berkecambah 10 hari setelah panen (%)	0-48.2
Daya berkecambah 30 hari setelah panen (%)	0-73.8
Tinggi tanaman (cm)	54.6-97.5
Orientasi daun bendera	Tegak, agak tegak, horizontal, melengkung
Panjang daun bendera	18.3-46.2
Panjang malai	16.6-25.0
Orientasi malai	Tegak, agak tegak, menyebar

Weedy rice juga memiliki anakan yang relatif banyak dibandingkan dengan padi budidaya. Hal tersebut menjadi salah satu faktor penting dalam kompetisi terkait luas serapan nutrisi dan banyaknya biji yang dihasilkan (Fogliatto *et al.*, 2012). Ukuran dari biji berkorelasi positif dengan daya tumbuh dan ketahanannya terhadap cekaman lingkungan. Beberapa akses *weedy rice* memiliki ukuran yang lebih besar dari padi budidaya, sehingga relatif lebih cepat berkecambah dan beradaptasi dengan berbagai lingkungan yang berbeda (Dai *et al.*, 2017). Warna kulit dan keberadaan bulu *weedy rice* berkorelasi dengan dormansinya, *weedy rice* yang berbulu dan berwarna kulit hitam cenderung memiliki tingkat dormansi yang lebih lama, sehingga memungkinkan untuk beradaptasi dengan lingkungan (Olajumoke *et al.*, 2016). Warna merah pada pericarp berasosiasi dengan dormansi pada *weedy rice* (Gu *et al.*, 2011).



Gambar 1. Morfologi biji aksesori *weedy rice* di Madura

KEMAMPUAN ADAPTASI *WEEDY RICE* TERHADAP BERBAGAI CEKAMAN

Variasi suhu

Riset terkait daya adaptasi *weedy rice* terhadap perbedaan variasi suhu telah dilakukan di Brazil. Penelitian tersebut membandingkan padi budidaya dan *weedy rice* dan menunjukkan bahwa setiap kenaikan 3° dan 5° C dapat mempercepat munculnya daun bendera pada *weedy rice*, sehingga hal tersebut dapat mempercepat memasuki fase generatif (Streck *et al.*, 2013). *Weedy rice* juga mampu beradaptasi pada temperatur dingin dengan beberapa mekanisme toleransi berupa enzim antioksidan yang berbeda dan ekspresi gen yang beragam (Bevilacqua *et al.*, 2015). *Weedy rice* menunjukkan kemampuan untuk hidup yang tinggi pada cekaman dingin pada fase perkecambahan dibandingkan padi budidaya, hal tersebut berkorelasi dengan aktifitas antioksidan yang mencegah benih mengalami kemunduran (Fogliatto *et al.*, 2010).

Cekaman kekeringan

Penelitian di Tiongkok melaporkan bahwa *weedy rice* lebih toleran terhadap cekaman kekeringan dibandingkan padi budidaya di semua lokasi percobaan (Wang *et al.*, 2019). Resistensi kekeringan *weedy rice* bahkan pada fase generatif, dan telah ditemukan fakta bahwa periode kekeringan sekitar 5 hari pada saat anthesis dapat meningkatkan produksi serbuk sari *weedy rice* sebesar 10%, hal tersebut berbanding terbalik pada padi budidaya yang menurun hingga 20% (Puteh *et al.*, 2009). Tingkat toleransi yang tinggi terhadap cekaman kekeringan *weedy rice*, berimplikasi pada jumlah biji yang lebih banyak dibandingkan padi budidaya (Saragih *et al.*, 2013).

Cekaman Salinitas

Weedy rice memiliki toleransi terhadap berbagai cekaman lingkungan, salah satunya adalah salinitas yang cukup tinggi dibandingkan dengan padi budidaya. Perkecambahan *weedy rice* dipengaruhi oleh kondisi salin, dan *weedy rice* menunjukkan

resistensi yang lebih tinggi dibandingkan padi lain pada kondisi salin (Hakim *et al.*, 2011). Di China dilaporkan bahwa *weedy rice* dalam fase perkecambahan dan pertumbuhan bibit lebih resisten terhadap salinitas dibandingkan dengan padi budidaya. Toleransi tersebut dapat terjadi akibat terdapat gen yang meregulasi transpor ion (Zhang *et al.*, 2018). Terdapat Penelitian yang mengkomparasikan antara *weedy rice* yang toleran, sensitif, dan padi lokal terhadap resistensinya pada herbisida, dilaporkan bahwa karakter toleran terhadap salinitas pada umumnya dijumpai pada *weedy rice* yang toleran terhadap herbisida (Fogliatto *et al.*, 2019).

Peningkatan CO₂

Weedy rice dalam kondisi CO₂ yang lebih tinggi dapat meningkatkan produksinya dibandingkan dengan padi budidaya, khususnya jika ditanam dalam kepadatan yang tinggi. Hal tersebut ditunjukkan dalam sebuah penelitian, bahwa *weedy rice* dapat meningkatkan hasilnya pada tingkatan CO₂ sebesar 500 μ mol mol⁻¹ dan dalam kepadatan 16 tanaman/m² (Ziska *et al.*, 2010). Penelitian lain menunjukkan dalam peningkatan CO₂ sebesar 600 μ mol mol⁻¹ dapat meningkatkan jumlah anakan dan malai pada *weedy rice* (Ziska *et al.*, 2012).

Gen yang meregulasi berbagai sifat resistensi cekaman iklim

Tabel 5. Gen yang Meregulasi berbagai Cekaman

Gen	Cekaman biotik/abiotik	Pustaka
<i>HKT, NHX, SOS1</i>	Salinitas stres	(Zhang <i>et al.</i> , 2018)
<i>EXPA3</i>	Toleran salinitas	(Qiu <i>et al.</i> , 2017)
<i>OVP1</i>	Cekaman dingin	(Bevilacqua <i>et al.</i> , 2015)
<i>HSF7A</i>	Cekaman kekeringan	(Piveta <i>et al.</i> , 2021)
<i>HSF2a. HSP74.8, HSP80.2, dan HSP24.1</i>	Cekaman panas	(Piveta <i>et al.</i> , 2021)
<i>Pi-ta dan Ptr(t)</i>	Blast	(Lee <i>et al.</i> , 2011)

Tabel 6. *Quantitative Trait Locus* (QTL) yang Merujuk pada Berbagai Resistensi

QTL	Cekaman biotik/abiotik	Pustaka
<i>qShB1-2 dan qShB4</i>	Blight	(Goad <i>et al.</i> , 2020)
<i>qSdr9</i>	Dormansi	(Nguyen <i>et al.</i> , 2020)

KESIMPULAN

Weedy rice (Oryza sativa f. Spontanea) masih tergolong dalam spesies padi budidaya namun masih dianggap sebagai gulma dan merugikan praktik produksi padi budidaya di berbagai negara. *Weedy rice* berasal dari proses hibridasi, dedomiestikasi, dan evolusi. Berdasarkan berbagai metode identifikasi, ditemukan bahwa *weedy rice* memiliki kedekatan yang signifikan dengan padi budidaya (*Oryza sativa* L.) *Weedy rice* memiliki resistensi dari berbagai cekaman baik biotik atau abiotik yang sangat potensial untuk ditransfer ke padi budidaya. Resistensi tersebut mencakup toleransi pada variasi suhu, kekeringan, cekaman dingin, salinitas, cekaman panas, penyakit blight dan blast. Telah ditemukan gen-gen yang meregulasi berbagai cekaman tersebut. Karakter-karakter tahan cekaman tersebut menjadi sangat menguntungkan untuk dapat diintrogresikan ke dalam padi budidaya, sehingga dapat terbentuk varietas padi baru yang tahan cekaman iklim (*climate resilience plants*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Belmawa Dikti yang telah memberikan pendaan kegiatan ini melalui skema program kreativitas mahasiswa riset eksakta tahun pendanaan 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, C., & Jose, N. (2014). *Weedy rice* invasion in rice fields of India and management options. *Journal of Crop and Weed*, 10(2), 365–374.
- Ahsan, S., Ali, M. S., Hoque, M. R., Osman, M. S., Rahman, M., Babar, M. J., & Islam, K. R. (2010). Agricultural and environmental changes in Bangladesh in response to global warming. In *Climate change and food security in South Asia*. Springer, Dordrecht, 119-134.
- Ayinde, VET, O., Daramola, & Falaki. (2013). Evaluation of The Effects Of Climate Change On Rice Production In Niger State, Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 6(1), 763–773.
- Azmi, M., Azlan, S., Yim, K. M., George, T. V., & Chew, S. E. (2011). Control of *weedy rice* in direct-seeded rice using the Clearfield production system in Malaysia. In *23rd Asian-Pacific Weed Science Society Conference. Volume 1: weed management in a changing world*. 26-29 September 2011 Cairns, Queensland, Australia, 50-54.
- Baek, J. S., & Chung, N. J. (2012). Seed wintering and deterioration characteristics between weedy and cultivated rice, *Rice*, 5(1), 1–10.
- Bevilacqua, C. B., Basu, S., Pereira, A., Tseng, T. M., Zimmer, P. D., & Burgos, N. R. (2015). Analysis of stress-responsive gene expression in cultivated and *weedy rice* differing in cold stress tolerance. *PLoS One*, 10(7).

- Burgess, A. J., Retkute, R., Herman, T., & Murchie, E. H. (2017). Exploring relationships between canopy architecture, light distribution, and photosynthesis in contrasting rice genotypes using 3D canopy reconstruction. *Frontiers in Plant Science*, 8(734), 1–15.
- Busi, R. Nguyen, N.K., Chauhan, B.S., Vidotto, F. Tabacchi, M. & Powles, S. B. (2016). Can herbicide safeners allow selective control of *weedy rice* infesting rice crops?. *Pest Management Science*, 73(1), 71-77.
- Bzour, M.-I., Zuki. F.-M., & Mispan. M. S. (2018). Introduction of imidazolinone herbicide and Clearfield® rice between *weedy rice* control efficiency and environmental concerns. *Environmental Reviews*, 26(2), 10-21.
- Cao, Q., Lu, B. R., Xia, H., Rong, J., Sala, F., Spada, A., & Grassi, F. (2006). Genetic diversity and origin of *weedy rice* (*Oryza sativa f. spontanea*) populations found in North-eastern China revealed by simple sequence repeat (SSR) markers. *Annals of Botany*, 98(6), 1241–1252.
- Chandio, A. A., Magsi, H., & Ozturk, I. (2020). Examining the effects of climate change on rice production: case study of Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(8), 7812–7822.
- Dai, L., Song, X., He, B., Valverde, B. E., & Qiang, S. (2017). Enhanced photosynthesis endows seedling growth vigour contributing to the competitive dominance of *weedy rice* over cultivated rice. *Pest Management Science*, 73(7), 1410–1420.
- De Leon, T. B., Karn, E., Al-Khatib, K., Espino, L., Blank, T., Andaya, C. B., Andaya, V. C., & Brim-DeForest, W. (2019). Genetic variation and possible origins of *weedy rice* found in California. *Ecology and Evolution*, 9(10), 5835–5848.
- Fogliatto, S., Vidotto, F., & Ferrero, A. (2010). Effects of winter flooding on *weedy rice* (*Oryza sativa* L.). *Crop Protection*, 29(11), 1232-1240.
- Fogliatto, S., Vidotto, F., & Ferrero, A. (2012). Morphological characterisation of Italian *weedy rice* (*Oryza sativa*) populations. *Weed Research*, 52(1), 60–69.
- Fogliatto, Silvia, Serra, F., Patrucco, L., Milan, M., & Vidotto, F. (2019). Effect of different water salinity levels on the germination of imazamox-resistant and sensitive *weedy rice* and cultivated rice. *Agronomy*, 9(10), 658.
- Gadal, N., Shrestha, J., Poudel, M. N., & Pokharel, B. (2019). A review on production status and growing environments of rice in Nepal and in the world. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 4(1), 83-87.
- Goad, D. M., Jia, Y., Gibbons, A., Liu, Y., Gealy, D., Caicedo, A. L., & Olsen, K. M. (2020). Identification of Novel QTL Conferring Sheath Blight Resistance in Two *Weedy rice* Mapping Populations. *Rice*, 13(1), 1-10.
- Grimm, A., Fogliatto, S., Nick, P., Ferrero, A., & Vidotto, F. (2013). Microsatellite markers reveal multiple origins for Italian *weedy rice*. *Ecology and Evolution*, 3(14), 4786–4798.
- Gu, X. Y., Foley, M. E., Horvath, D. P., Anderson, J. V., Feng, J., Zhang, L., Mowry, C. R., Ye, H., Suttle, J. C., Kadowaki, K. I., & Chen, Z. (2011). Association between seed dormancy and pericarp color is controlled by a pleiotropic gene that regulates

- abscisic acid and flavonoid synthesis in weedy red rice. *Genetics*, 189(4), 1515–1524.
- Hakim, M. A., Juraimi, A. S., Hanafi, M. M., Selamat, A., Ismail, M. R., & Rezaul Karim, S. M. (2011). Studies on seed germination and growth in weed species of rice field under salinity stress. *Journal of Environmental Biology*, 32(5), 529–536.
- He, Q., Kim, K. W., & Park, Y. J. (2017). Population genomics identifies the origin and signatures of selection of Korean *weedy rice*. *Plant Biotechnology Journal*, 15(3), 357–366.
- Huang, Z., Kelly, S., Matsuo, R., Li, L. F., Li, Y., Olsen, K. M., Jia, Y., & Caicedo, A. L. (2018). The role of standing variation in the evolution of weediness traits in South Asian *Weedy rice* (*Oryza* spp.). *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 8(11), 3679–3690.
- Imaizumi, T. (2018). *Weedy rice* represents an emerging threat to transplanted rice production systems in Japan. *Weed Biology and Management*, 18(2), 99–102.
- Ishikawa, R., Toki, N., Imai, K., Sato, Y. I., Yamagishi, H., Shimamoto, Y., & Sato, T. (2005). Origin of *weedy rice* grown in Bhutan and the force of genetic diversity. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52(4), 395–403.
- Juliano, L. M., Donayre, D. K. M., Martin, E. C., & Beltran, J. C. (2020). Weedy rice: An expanding problem in direct-seeded rice in the Philippines. *Weed Biology and Management*, 20(2), 27–37.
- Khush, G. S. (1997). Origin, dispersal, cultivation and variation of rice Gurdev. *Plant Molecular Biology*, 35(1), 25–34.
- Kim, H. Y., Ko, J., Kang, S., & Tenhunen, J. 2013. Impacts of climate change on paddy rice yield in a temperate climate. *Global Change Biology*, 19(2), 548–562.
- Kinose, Y., Masutomi, Y., Shiotsu, F., Hayashi, K., Ogawada, D., Gomez-Garcia, M., Matsumura, A., Takahashi, K., & Fukushi, K. (2020). Impact assessment of climate change on the major rice cultivar ciherang in Indonesia. *Journal of Agricultural Meteorology*, 76(1), 19–28.
- Lee, S., Jia, Y., Jia, M., Gealy, D. R., Olsen, K. M., & Caicedo, A. L. (2011). Molecular evolution of the rice blast resistance gene Pi-ta in invasive *weedy rice* in the USA. *PLoS one*, 6(10).
- Li, L. F., Li, Y. L., Jia, Y., Caicedo, A. L., & Olsen, K. M. (2017). Signatures of adaptation in the *weedy rice* genome. *Nature Genetics*, 49(5), 811–814.
- Munda, S., Saha, S., Adak, T., Lambhulkar, N., Sanghamitra, P., & Patra, B.-C. (2019). Performance of cultivated indica rice (*Oryza Sativa* L.) as affected by *weedy rice*. *Experimental Agriculture*, 55(6), 875 – 884.
- Neik, T. X., Chai, J. Y., Tan, S. Y., San Sudo, M. P., Cui, Y., Jayaraj, J., Teo, S. S., Olsen, K. M., & Song, B. K. (2019). When west meets east: The origins and spread of *weedy rice* between continental and island Southeast Asia. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 9(9), 2941–2950.
- Nguyen, T., Fu, K., Mou, C., Yu, J., Zhu, X., Huang, Y., Zhou, C., Hao, Q., Zhang, F., Song, W., Wang, P., Chen, Y., Ma, T., Tian, Y., Liu, S., Jiang, L., & Wan, J. (2020). Fine mapping of qSdr9, a novel locus for seed dormancy (SD) in *weedy rice*, and development of NILs with a strong SD allele. *Molecular Breeding*, 40(8), 1–11.

- Olajumoke, B., Juraimi, A. S., Uddin, M. K., Husni, M. H. A., & Alam, M. A. (2016). Competitive ability of cultivated rice against *weedy rice* biotypes – A review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76(2), 243–252.
- Olsen, K. M., Caicedo, A. L., & Jia, Y. (2007). Evolutionary genomics of *weedy rice* in the USA. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49(6), 811–816.
- Piveta, L. B., Roma-burgos, N., Noldin, A., Viana, E., Oliveira, C. De, Lamego, F. P., & Avila, L. A. De. (2021). Molecular and Physiological Responses of Rice and *Weedy rice* to Heat and Drought Stress. *Agriculture*, 11(9), 1–21.
- Puteh, A. B., Jali, N., Ismail, M. R., Juraimi, A. S., & Samsudin, N. (2009). Pollen and seed yield components of water-stressed cultivated and *weedy rice*. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci*, 32(2), 293-303.
- Qiu, J., Zhou, Y., Wang, Y., Mao, L., Ye, C., Wang, W., Zhang, J., Yu, Y., Fu, F., Wang, Y., Qian, F., Qi, T., Wu, S., Sultana, M. H., Cao, Y. N., Timko, M. P., Ge, S., Fan, L., & Lu, Y. (2017). Genomic variation associated with local adaptation of *weedy rice* during de-domestication. *Nature Communications*, 8(1), 1–12.
- Rathore, M., Singh, R., & Kumar, B. (2013). *Weedy rice*: an emerging threat to rice cultivation and options for its management. *Current Science*, 105(8), 1067-1072.
- Ratnasekera, D. (2015). *Weedy rice*: A threat to rice production in Sri Lanka. *Journal of the University of Ruhuna*, 3(1), 2-13.
- Saragih, A. A., Puteh, A. B., Ismail, M. R., & Mondal, M. M. A. (2013). Pollen quality traits of cultivated (*Oryza sativa* L. *Ssp. Indica*) and weedy (*Oryza sativa* var. *Nivara*) rice to water stress at reproductive stage. *Australian Journal of Crop Science*, 7(8), 106-1112.
- Sarker, M. A. R., Alam, K., & Gow, J. (2012). Exploring the relationship between climate change and rice yield in Bangladesh: An analysis of time series data. *Agricultural Systems*, 112, 11–16.
- Silitonga, T. S. (2004). Pengelolaan dan Pemanfaatan Plasma Nutfah Padi di Indonesia. *Buletin Plasma Nutfah*, 10(2), 56.
- Singh, K., Kumar, V., Sahrawat, Y. S., Gathala, M., Ladha, J. K., & Chauhan. B. S. (2013). *Weedy rice*: An Emerging Threat for Direct-seeded Rice Production Systems in India. *J. Rice Res*, 1(1), 1-6.
- Sitairesmi, T., Wening, R. H., Rakhmi, A. T., Yunani, N., & Susanto, U. (2015). Pemanfaatan Plasma Nutfah Padi Varietas Lokal dalam Perakitan Varietas Unggul. *Iptek Tanaman Pangan*, 8(1), 22–30.
- Streck, N. A., Uhlmann, L. O., & Gabriel, L. F. (2013). Leaf development of cultivated rice and weedy red rice under elevated temperature scenarios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(2), 190–199.
- Sudianto, E., Neik, T.-X., Tam, S. M., Chuah, T.-S., Idris, A. A., Olsen, K. M., & Song, B. K. (2016). Morphology of Malaysian *Weedy rice* (*Oryza sativa*): Diversity, Origin and Implications for Weed Management. *Weed Science*, 64(3), 501–512.
- Sun, J., Ma, D., Tang, L., Zhao, M., Zhang, G., Wang, W., Song, J., Li, X., Liu, Z., Zhang, W., Xu, Q., Zhou, Y., Wu, J., Yamamoto, T., Dai, F., Lei, Y., Li, S., Zhou, G., Zheng, H., ... Chen, W. (2019). Population Genomic Analysis and De Novo Assembly

- Reveal the Origin of *Weedy rice* as an Evolutionary Game. *Molecular Plant*, 12(5), 632–647.
- Van Oort, P. A. J., & Zwart, S. J. (2018). Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield changes. *Global Change Biology*, 24(3), 1029–1045.
- Vigueira, C. C., Qi, X., Song, B. K., Li, L. F., Caicedo, A. L., Jia, Y., & Olsen, K. M. (2017). Call of the wild rice: *Oryza rufipogon* shapes *weedy rice* evolution in Southeast Asia. *Evolutionary Applications*, 12(1), 93–104.
- Wang, Y., Mo, S. D., Kong, M. Y., Chao, J., Chen, X. F., Yang, J. L., ... & Dai, W. M. (2019). Better performance of germination in hyperosmotic solutions in conspecific *weedy rice* than cultivated rice. *Journal of Systematics and Evolution*, 57(5), 519–529.
- Zhang, S., Tian, L., Li, J., Wang, C., Lee, D., Peng, R., & Chen, L. (2017). Morphological Characterization of *Weedy rice* Populations from Different Regions of Asia. *Molecular Plant Breeding*, 8(6), 52–64.
- Zhang, Y., Fang, J., Wu, X., & Dong, L. (2018). Na⁺ /K⁺ Balance and Transport Regulatory Mechanisms in Weedy and Cultivated Rice (*Oryza sativa* L.) Under Salt Stress. *BMC Plant Biology*, 18(1), 1–14.
- Zibae, A. (2013). Rice: Importance and Future. *Rice Research: Open Access*, 1(2).
- Ziska, L. H., Gealy, D. R., Tomecek, M. B., Jackson, A. K., & Black, H. L. (2012). Recent and projected increases in atmospheric CO₂ concentration can enhance gene flow between wild and genetically altered rice (*Oryza sativa*). *PLoS ONE*, 7(5):1–6.
- Ziska, L. H., Tomecek, M. B., & Gealy, D. R. (2010). Competitive interactions between cultivated and red rice as a function of recent and projected increases in atmospheric carbon dioxide. *Agronomy Journal*, 102(1), 118–123.