

PERBANDINGAN KARAKTER FISILOGI, PERTUMBUHAN, DAN HASIL VARIETAS PADI HITAM LOKAL ASAL MALANG PADA DUA AGROEKOSISTEM

THE COMPARISON OF PHYSIOLOGY, GROWTH, AND YIELD CHARACTERS OF LOCAL VARIETY BLACK RICE FROM MALANG IN TWO AGROECOSYSTEMS

Fiky Yulianto Wicaksono^{1*}, Putri Utami Suherman², Muhamad Kadapi¹

¹ Departemen Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, Jalan Raya Bandung Sumedang km. 21, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia

² Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, Jalan Raya Bandung Sumedang km. 21, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia

*Korespondensi: fywicaksono@gmail.com

Diterima: 03 Oktober 2023 / Disetujui: 06 Desember 2023

ABSTRAK

Padi hitam (*Oryza sativa* L.) merupakan satu dari banyak tanaman pangan yang memiliki manfaat untuk kesehatan. Penelitian mengenai agroekosistem yang optimal bagi pertumbuhan dan hasil tanaman padi hitam belum dilakukan hingga saat ini. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbandingan fisiologi, pertumbuhan, dan hasil tanaman padi hitam pada dua agroekosistem, yaitu lahan basah dan lahan kering. Penelitian dilaksanakan dalam *screen house* pada ketinggian 750 m di atas permukaan laut dan merupakan zona agroklimatologi C3 berdasarkan klasifikasi Oldeman. Penelitian dilakukan pada bulan April – November 2020. Penelitian menggunakan metode kuantitatif tanpa rancangan percobaan. Dua populasi padi hitam ditanam pada dua perlakuan agroekosistem, dikondisikan sebagai lahan basah dan lahan kering. Pengamatan dilakukan pada karakter fisiologi (indeks kandungan klorofil dan konduktansi stomata), komponen pertumbuhan (tinggi tanaman, jumlah anakan, nisbah pupus akar, bobot kering tanaman, dan indeks luas daun), dan komponen hasil (jumlah anakan produktif, panjang malai, jumlah gabah per malai, persentase gabah isi, dan bobot 1000 butir gabah). Hasil penelitian mengungkapkan bahwa tanaman padi hitam di lahan kering menghasilkan pertumbuhan yang lebih baik, namun memiliki karakter fisiologi, komponen hasil, dan hasil yang lebih buruk daripada di lahan basah.

Kata kunci: Antosianin, Beras, Diabetes, Fisiologi, Irigasi

ABSTRACT

Black rice (*Oryza sativa* L.) is a health-beneficial food crop. No studies have investigated the ideal agroecosystem for achieving black rice's highest growth and yield. This study aimed to contrast the physiological characteristics, growth, and yield of black rice plants within two distinct agroecosystems: wetland and dryland. The study was conducted in a controlled screen

house situated at an elevation of 750 meters above sea level, with a C3 agroclimatological zone according to the Oldeman classification. The research was conducted in April – November 2020. The research used quantitative methods without an experimental design. Two populations of black rice were planted in two agroecosystem treatments, conditioned as wetland and dryland. Observations were made on physiological characters (chlorophyll content index and stomatal conductance), growth components (plant height, number of tillers, shoot root ratio, dry weight, and leaf area index), and yield components (number of productive tillers, panicle length, number of grains per panicle, percentage of filled grain, and weight of 1000 grains). The results revealed that black rice plants in dry land had better growth, but had worse in physiological characteristics, yield components, and yields than in wet land.

Key words: Anthocyanins, Diabetes, Irrigation, Physiology, Rice

PENDAHULUAN

Padi hitam (*Oryza sativa* L.) adalah jenis padi yang termasuk ke dalam pangan fungsional yang disebabkan beberapa kandungan metabolitnya memiliki manfaat untuk kesehatan (Rahim *et al.*, 2022; Ito & Lacerda, 2019). Selain karbohidrat, padi hitam memiliki senyawa antosianin sebagai antioksidan, pencegahan kanker, jantung koroner, dan penyakit pembuluh arteri (Thanuja & Parimalavalli, 2018). Kandungan antosianin pada padi hitam di Indonesia dapat mencapai 0,4423 – 0,7953 mg g⁻¹ (Dwiatmini & Afza, 2018). Tingginya antosianin menyebabkan warna biji padi menjadi ungu tua sehingga dikenal sebagai padi atau beras hitam (Wicaksono *et al.*, 2019). Padi hitam juga mengandung antioksidan lain selain antosianin, yaitu tokoferol (Rahim *et al.*, 2022). Padi hitam juga memiliki banyak serat sehingga bermanfaat bagi kesehatan (Ito & Lacerda, 2019). Hal ini disebabkan pengolahan padi hitam menjadi beras hitam hanya menghilangkan sedikit kulit ari. Indeks glikemik pada beras hitam lebih rendah dibandingkan beras biasa. Hal ini memungkinkan padi hitam digunakan untuk penangkal dan penyembuhan penyakit

diabetes (Bae *et al.*, 2017; Helmyati *et al.*, 2020).

Agroekosistem tanaman dapat dibagi ke dalam dua kategori utama, yaitu lahan basah dan lahan kering (Nurmala *et al.*, 2015). Tanaman padi pada umumnya merupakan tanaman yang tidak membutuhkan banyak air, sehingga dapat hidup di agroekosistem tegalan (lahan kering) seperti padi gogo (Datta *et al.*, 2017). Akan tetapi, padi juga memiliki jaringan *aerenkhim* yang berfungsi untuk memfasilitasi difusi oksigen dari batang ke akar sehingga akar tanaman masih dapat melakukan respirasi dan memungkinkan tanaman padi hidup di agroekosistem dengan kondisi jenuh air (lahan basah) seperti di sawah (Yamauchi *et al.*, 2013). Dengan demikian, padi dapat ditanam di lahan kering maupun lahan basah. Meskipun demikian, Beberapa penelitian telah mengungkapkan bahwa pertumbuhan dan hasil padi hitam dipengaruhi oleh ketersediaan air, meskipun tidak secara eksplisit menunjukkan lahan basah lebih baik daripada lahan kering (Budiman & Aisoesilaningih, 2015).

Ketersediaan air merupakan pembeda utama antara lahan kering dengan lahan basah. Air merupakan bahan baku untuk fotosintesis dan juga pelarut unsur hara

(Ikkonen *et al.*, 2021; Chtouki *et al.*, 2022). Lahan kering pada umumnya adalah tadah hujan, sehingga dapat mengalami kekurangan air bila tidak ada hujan. Kekurangan air dapat menyebabkan penurunan kerja fisiologi, seperti kandungan klorofil dan konduktansi stomata (Lawson & Blatt, 2014). Komponen pertumbuhan yang dapat dipengaruhi oleh kekurangan air dan unsur hara adalah tinggi tanaman (Ahmadikhah & Marufinia, 2016), jumlah anakan (Akram *et al.*, 2013), nisbah pupus akar (Benjamin *et al.*, 2014), bobot kering tanaman (Ullah *et al.*, 2018), dan indeks luas daun (Panigrahi & Das, 2021), sementara komponen hasil yang dapat dipengaruhi adalah jumlah anakan produktif, panjang malai, jumlah gabah per malai, persentase gabah isi, dan bobot 1000 butir gabah (Zaman *et al.*, 2018; Haradari & Hittalmani, 2017). Komponen pertumbuhan dan komponen hasil secara langsung dipengaruhi oleh ketersediaan air dan unsur hara, yang selanjutnya berdampak pada hasil akhir dan indeks panen.

Tanaman padi hitam saat ini belum diketahui apakah cocok ditanam di tegalan atau di sawah karena informasi yang diperoleh masih sebatas bukti empirik yang dilakukan oleh petani, sehingga memerlukan penelitian lebih lanjut. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui perbedaan karakter fisiologi, komponen pertumbuhan, komponen hasil, dan hasil tanaman padi hitam yang ditanam pada dua agroekosistem yang berbeda, yaitu lahan kering dan lahan basah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi untuk penentuan jenis agroekosistem penanaman, pola tanam, dan awal tanam tanaman padi hitam.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di *screen house* Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, yang berlokasi di Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang. Ketinggian tempat penelitian adalah 750 m di atas permukaan laut. Tempat penelitian termasuk ke dalam zona agroklimatologi C3 berdasarkan klasifikasi Oldeman. Penelitian dilakukan pada bulan April – November 2020.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah ordo Inceptisols berasal dari Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Unpad Jatinangor, benih padi hitam varietas lokal yang diambil dari areal sawah petani di Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang dengan daya kecambah 80%, arang sekam, kompos, insektisida karbofuran, pupuk urea, KCl, dan SP36. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ember dengan diameter dan tinggi 30 cm, polybag dengan diameter dan tinggi 30 cm, timbangan digital, meteran, penggaris, oven, kamera, *grain moisture tester*, klorofilmeter SPAD (merk Konica Minolta), dan *leaf porometer* (merk SC1 Decagon Devices).

Penelitian menggunakan metode kuantitatif tanpa rancangan percobaan yang dilakukan pada lingkungan tidak terkendali. Dua populasi padi hitam ditanam pada dua perlakuan agroekosistem, yaitu:

- A: ditanam di lahan basah (mengggunakan media tanam jenuh air dalam ember), dan
- B: ditanam di lahan kering (mengggunakan media tanam tidak jenuh air dalam polybag).

Masing-masing populasi padi hitam adalah 50 tanaman, sedangkan sampel yang diamati adalah 25 tanaman. Budidaya tanaman padi hitam dilakukan dengan

beberapa tahapan, yaitu seleksi benih, penyemaian, persiapan media tanam, penanaman, pemeliharaan, dan panen. Benih padi hitam diseleksi dengan cara memilih benih yang tenggelam setelah benih direndam selama 12 jam. Benih yang terseleksi kemudian dikecambahkan dengan cara memamerkannya dalam kain basah. Kecambah kemudian disemai pada baki yang berisi arang sekam dan kompos dengan komposisi 1:1 (v/v). Selama menunggu bibit tumbuh, media tanam tanah dan kompos dengan komposisi 4:1 (v/v) sebanyak 5 kg dimasukkan ke dalam ember/polybag sesuai perlakuan, selanjutnya lubang tanam diberi insektisida karbofuran. Bibit padi hitam kemudian dipindahkan ke ember/polybag setelah bibit padi hitam berumur 15 hari sejumlah satu bibit dalam satu lubang tanam.

Pemeliharaan pada tanaman padi hitam diantaranya adalah pemupukan dan pengaturan air. Pupuk urea diberikan sebanyak 1,9 g per tanaman, sementara SP36 dan KCl masing-masing diberikan sebanyak 0,6 g per tanaman yang diberikan saat tanam dan 30 hari setelah tanam (HST). Pengaturan air pada perlakuan lahan basah dilakukan dengan cara membuat lubang pada pinggir ember sebatas tinggi tanah agar kondisi air pada ember tidak menggenangi tanah (macak-macak), namun jenuh dengan air. Perlakuan lahan kering diciptakan dengan membuat lubang di bawah polybag agar dapat mengalirkan air sehingga tanah tidak jenuh oleh air. Baik pada perlakuan lahan basah maupun lahan kering, air diberikan setiap hari sebanyak 900 cm³ atau setara dengan 12,7 mm curah hujan.

Panen dilakukan setelah malai dan daun padi mengering. Kadar air biji saat panen

dicek tidak lebih dari 20% menggunakan *grain moisture tester*.

Pengamatan dilakukan pada karakter fisiologi, pertumbuhan, dan hasil tanaman padi hitam. Sebagai pengamatan penunjang, analisis tanah pada dua perlakuan dilakukan pada umur tanaman 60 HST. Analisis dilakukan pada pH, kandungan N total, P₂O₅ tersedia, K dapat ditukar (K_{dd}), dan Kapasitas Tukar Kation (KTK).

Karakter fisiologi yang diamati adalah indeks kandungan klorofil dan konduktansi stomata. Indeks kandungan klorofil diamati sekitar 10 cm dari ujung daun ke-2, 3, dan 4 pada anakan tertua yang dilakukan pada umur 90 HST dengan alat klorofilometer SPAD (Ling *et al.*, 2011). Konduktansi stomata diamati sekitar 10 cm dari ujung daun ke-3 pada anakan tertua menggunakan *leaf porometer* pada umur 90 HST (Toro *et al.*, 2019).

Komponen pertumbuhan yang diamati adalah tinggi tanaman, jumlah anakan, nisbah pupus akar, bobot kering tanaman, dan indeks luas daun. Komponen pertumbuhan diukur pada umur 90 HST. Tinggi tanaman diukur dari pangkal batang hingga ujung daun tertinggi menggunakan meteran. Jumlah anakan dihitung berdasarkan anakan yang telah memiliki daun membuka. Nisbah pupus akar diukur menggunakan perbandingan bobot kering pupus dan akar. Bobot kering tanaman diukur menggunakan timbangan setelah biomassa tanaman dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 60 °C sampai beratnya konstan. Indeks luas daun (ILD) diukur menggunakan perbandingan luas daun dan luas kanopi. Luas daun dihitung menggunakan formula $LD = pD \times ID \times 0,911$ (Adinurani *et al.*, 2017), dimana LD adalah luas daun, pD adalah panjang daun, dan ID adalah lebar daun. Luas kanopi

diukur berdasarkan luas tanah yang tertutupi kanopi dari hasil citra kamera yang diambil dari atas tanaman kemudian diolah menggunakan *software* Irfan View.

Komponen hasil yang diamati adalah jumlah anakan produktif, panjang malai, jumlah gabah per malai, persentase gabah isi, dan bobot 1000 butir gabah. Pengamatan dihitung saat panen. Jumlah anakan produktif dihitung berdasarkan anakan yang mengeluarkan malai, baik malai berisi maupun tidak. Panjang malai diukur dari pangkal hingga ujung malai menggunakan penggaris. Jumlah gabah per malai dihitung baik jumlah gabah isi maupun hampa. Persentase gabah isi dihitung menggunakan perbandingan jumlah gabah isi dengan gabah hampa. Bobot 1000 butir diukur dengan cara menimbang 1000 biji padi menggunakan timbangan.

Hasil yang diamati meliputi bobot gabah per tanaman dan indeks panen (IP). Bobot gabah per tanaman diukur menggunakan timbangan setelah gabah dikeringkan menggunakan bantuan sinar matahari sampai kadar air maksimal 14% (diukur menggunakan *grain moisture tester*). Indeks panen diukur melalui perbandingan bobot gabah per bobot kering tanaman keseluruhan (Hütsch & Schubert, 2017), berdasarkan rumus

$$IP = \frac{\text{bobot biji (g)}}{\text{bobot biologis (g)}}$$

Analisis data dilakukan berdasarkan uji T (*independent sample T test*) pada taraf nyata 5% untuk menguji perbedaan pada dua perlakuan (Kim, 2015). Analisis menggunakan *software* Microsoft Excel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengamatan penunjang, terdapat perbedaan pH, N total, P₂O₅ tersedia, K-dd, dan KTK antara perlakuan lahan basah dan lahan kering (Tabel 1). Nilai pH pada perlakuan lahan basah lebih rendah daripada perlakuan lahan kering, meskipun memiliki kriteria yang sama. Kandungan N total pada perlakuan lahan basah lebih rendah daripada perlakuan lahan kering. Kandungan P₂O₅ tersedia, K-dd, dan KTK pada perlakuan lahan basah lebih tinggi daripada perlakuan lahan kering.

Perubahan kesuburan tanah dapat disebabkan oleh kejenuhan air tanah. Nilai pH pada lahan basah lebih rendah daripada lahan kering. Hal ini disebabkan air memicu terjadinya mineralisasi bahan organik yang dapat meningkatkan karbon terlarut sehingga menurunkan pH (Zhao *et al.*, 2020; Ding *et al.*, 2019).

Tabel 1. Perbedaan Kesuburan Tanah pada Perlakuan Lahan Basah dan Lahan Kering^a

Parameter	Lahan Basah		Lahan Kering	
	Nilai	Kriteria	Nilai	Kriteria
pH	5,98	Agak masam	6,24	Agak masam
N total (%)	0,16	Rendah	0,28	Sedang
P ₂ O ₅ tersedia (mg kg ⁻¹)	30,78	Sangat tinggi	1,17	Sedang
K-dd (cmol kg ⁻¹)	0,51	Tinggi	0,22	Sedang
KTK (cmol kg ⁻¹)	27,54	Tinggi	23,27	Sedang

Keterangan: ^atidak dianalisis statistik. Kriteria kesuburan tanah berdasarkan Balittanah (2009).

Penelitian lain menyebutkan kondisi jenuh air dapat meningkatkan N total (Bai *et al.*, 2020), sehingga N total lebih tinggi pada lahan basah, namun pada penelitian ini lahan basah memiliki kandungan N lebih rendah daripada lahan kering. Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi kelebihan air pada lahan basah yang meningkatkan pencucian hara (Rashmi *et al.*, 2017).

Input air (*freshwater*) juga dilaporkan dapat mereduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} sehingga dapat meningkatkan ketersediaan P (Bai *et al.*, 2017). Reduksi Fe^{3+} atau Mn^{4+} juga dapat meningkatkan K-dd (Patrick Jr. *et al.*, 1985). Reaksi reduksi juga meningkatkan kapasitas tukar kation (Favre *et al.*, 2002).

Karakter fisiologi padi hitam di lahan basah lebih baik daripada di lahan kering. Hal ini ditunjukkan dengan indeks kandungan klorofil dan konduktansi stomata yang lebih besar di lahan basah daripada lahan kering (Tabel 2).

Tabel 2. Perbedaan Karakter Fisiologi Padi Hitam Akibat Perlakuan Lahan Basah dan Lahan Kering

Perlakuan	Indeks kandungan Klorofil	Konduktansi stomata ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)
Lahan basah	45,76*	315,97*
Lahan kering	38,08	240,81

Keterangan: * adalah berbeda signifikan menurut uji T pada tingkat signifikansi 5%.

Kekurangan air di lahan kering dapat menyebabkan kandungan klorofil menurun (Reyes *et al.*, 2020). Nitrogen yang banyak tersedia di lahan basah, seperti dinyatakan pada Tabel 1, juga mempengaruhi kandungan klorofil karena nitrogen merupakan penyusun klorofil (Li *et al.*, 2018). Hal ini memungkinkan penyerapan

nitrogen menjadi meningkat sehingga kandungan klorofil juga meningkat.

Konduktansi stomata pada lahan basah juga lebih besar daripada lahan kering. Hal ini disebabkan ketersediaan air dapat menjaga stomata tetap membuka (Li *et al.*, 2017). Dengan terjaganya stomata yang terbuka lebar, maka proses penguapan terjadi dengan baik sehingga penyerapan nutrisi oleh tanaman dari tanah bisa lebih optimal karena adanya proses penyerapan-penguapan air yang terjadi secara teratur.

Perlakuan lahan basah dan lahan kering memberikan perbedaan pada komponen pertumbuhan padi hitam. Tinggi tanaman pada perlakuan lahan basah lebih besar daripada perlakuan lahan kering. Jumlah anakan, bobot kering, dan indeks luas daun menunjukkan kondisi yang sebaliknya, yaitu perlakuan lahan basah memberikan jumlah anakan dan indeks luas daun lebih kecil daripada perlakuan lahan kering. Nisbah pupus akar tidak dipengaruhi oleh kedua perlakuan (Tabel 3).

Tinggi tanaman sebagai indikator pertumbuhan dipengaruhi oleh ketersediaan air dan unsur hara, sehingga lahan basah memberikan tinggi tanaman lebih baik daripada lahan kering (de Jesus Matos Viégas *et al.*, 2018; Andrade *et al.*, 2018). Jumlah anakan pada lahan basah lebih sedikit sebab air menciptakan kondisi anaerob yang dapat mengurangi anakan yang telat tumbuh (Andrade *et al.*, 2018). Indeks luas daun memiliki hubungan dengan jumlah anakan, sehingga tanaman padi hitam di lahan basah memiliki indeks luas daun lebih kecil daripada lahan kering (Zhong *et al.*, 2002). Dengan jumlah anakan dan indeks luas daun yang lebih kecil, maka bobot kering tanaman di lahan basah menjadi lebih kecil. Penampakan tanaman

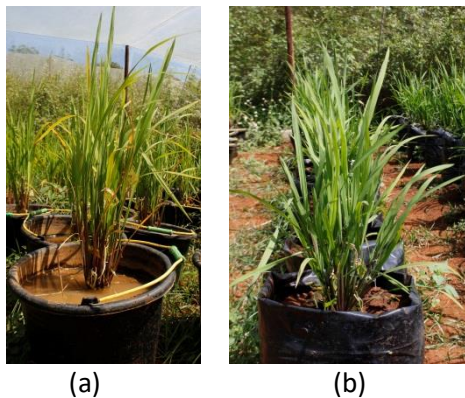
pada stadia vegetatif dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 3. Perbedaan Komponen Pertumbuhan Padi Hitam Akibat Perlakuan Lahan Basah dan Lahan Kering

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah anakan	Nisbah Pupus Akar	Bobot kering tanaman (g)	Indeks luas daun
Lahan basah	98,37*	43,20	1,92	87,63	3,67
Lahan kering	73,50	76,33*	2,14	101,17*	8,88*

Keterangan: * adalah berbeda signifikan menurut uji T pada tingkat signifikansi 5%.

Komponen hasil dipengaruhi oleh perlakuan lahan basah dan lahan kering (Tabel 4). Jumlah anakan produktif pada perlakuan lahan basah lebih sedikit daripada lahan kering, namun komponen hasil lainnya, yaitu panjang malai, jumlah gabah per malai, persentase gabah isi, dan bobot 1000 butir, lebih baik di lahan basah daripada di lahan kering.



Gambar 1. Perbedaan Penampakan Tanaman yang Diberi Perlakuan Lahan Basah (a) dan Lahan Kering (b) pada Stadia Vegetatif

Jumlah anakan produktif dipengaruhi oleh jumlah anakan, namun persentasenya dipengaruhi oleh munculnya anakan-anakan tidak produktif yang telat tumbuh yang dapat dikendalikan oleh kondisi jenuh air sehingga persentase anakan produktif di lahan basah lebih besar daripada lahan kering (Andrade *et al.*, 2018). Air dan unsur hara yang cukup juga diperlukan dalam proses fotosintesis yang disimpan di komponen hasil, sehingga komponen hasil di lahan basah lebih tinggi daripada lahan kering (Yang *et al.*, 2023; Sabetfar *et al.*, 2013).

Tabel 4. Perbedaan Komponen Hasil Padi Hitam Akibat Perlakuan Lahan Basah dan Lahan Kering

Perlakuan	Jumlah anakan produktif	Panjang malai (cm)	Jumlah gabah per malai	Persentase gabah isi (%)	Bobot 1000 butir (g)
Lahan basah	21,86	23,87*	136,86*	66,74*	23,21*
Lahan kering	34,56*	20,12	78,96	41,52	20,77

Keterangan: * adalah berbeda signifikan menurut uji T pada tingkat signifikansi 5%.

Bobot biji per tanaman memperlihatkan peningkatan pada perlakuan lahan basah dibandingkan lahan kering (Tabel 5). Hal ini

disebabkan perlakuan lahan basah dapat meningkatkan komponen hasil sehingga hasil tanaman juga meningkat.

Efisiensi pembentukan biji dapat dilihat indeks panen, yang memperlihatkan perlakuan lahan basah memberikan nilai indeks panen lebih besar daripada perlakuan lahan kering (Tabel 5). Hal ini disebabkan anakan tidak produktif yang menyumbang bobot biologis dapat ditekan oleh kondisi jenuh air (Andrade *et al.*, 2018).

Tabel 5. Perbedaan Hasil Padi Hitam Akibat Perlakuan Lahan Basah dan Lahan Kering

Perlakuan	Bobot biji per tanaman (g)	Hasil (ton. Ha ⁻¹) ^a	Indeks panen
Lahan basah	37,21*	5,95	0,301*
Lahan kering	20,16	3,23	0,167

Keterangan: * adalah berbeda signifikan menurut uji T pada tingkat signifikansi 5%.

^a adalah konversi dari bobot biji per tanaman, tidak dianalisis statistik

SIMPULAN

Tanaman padi hitam yang dibudidayakan di lahan kering menghasilkan komponen pertumbuhan yang lebih baik daripada di lahan basah, namun karakter fisiologi, komponen hasil, dan hasil tanaman padi hitam di lahan basah lebih baik daripada di lahan kering.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada Universitas Padjadjaran yang memfasilitasi studi ini melalui Hibah Internal Unpad.

DAFTAR PUSTAKA

Adinurani, P. G., Rahayu, S., & Santoso, T. (2017). Indeks luas daun berbagai umur dan jumlah bibit tanaman padi

(*Oriza sativa*. L) dalam optimalisasi jumlah anakan. *Agri-Tek*, 18(2), 65–71.

Ahmadikhah, A., & Marufinia, A. (2016). Effect of reduced plant height on drought tolerance in rice. *3 Biotech*, 6(2), 221. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0542-3>

Akram, H. M., Ali, A., Sattar, A., Rehman, H. S. U., & Bibi, A. (2013). Impact of water deficit stress on various physiological and agronomic traits of three Basmati rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(5), 1415–1423.

Andrade, F. R., da Silva, G. N., Guimarães, K. C., Barreto, H. B. F., de Souza, K. R. D., Guilherme, L. R. G., ... Reis, A. R. dos. (2018). Selenium protects rice plants from water deficit stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164, 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.022>

Bae, I. Y., An, J. S., Oh, I. K., & Lee, H. G. (2017). Optimized preparation of anthocyanin-rich extract from black rice and its effects on in vitro digestibility. *Food Science and Biotechnology*, 26(5), 1415–1422. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0188-x>

Bai, J., Ye, X., Jia, J., Zhang, G., Zhao, Q., Cui, B., & Liu, X. (2017). Phosphorus sorption-desorption and effects of temperature, pH, and salinity on phosphorus sorption in marsh soils from coastal wetlands with different flooding conditions. *Chemosphere*, 188, 677–688. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.117>

Bai, J., Yu, L., Du, S., Wei, Z., Liu, Y., Zhang, L., ... Wang, X. (2020). Effects of flooding frequencies on soil carbon and nitrogen stocks in river marginal wetlands in a ten-year period. *Journal*

- of Environmental Management*, 267, 110618.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110618>
- Balittanah. (2009). Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. *Balai Penelitian Tanah*, 13(1), 234. Retrieved from <http://balittanah.litbang.deptan.go.id>
- Benjamin, J. G., Nielsen, D. C., Vigil, M. F., Mikha, M. M., & Calderon, F. (2014). Water deficit stress effects on corn (*Zea mays* L.) root: shoot ratio. *Open Journal of Soil Science*, 04(04), 151–160.
<https://doi.org/10.4236/ojss.2014.44018>
- Budiman, B., & Arisoelaningsih, E. (2015). An interaction model between environmental factors and black rice growth in irrigated organic paddy field. *Agrivita*, 37(1), 30–36.
<https://doi.org/10.17503/agrivita-2015-37-1-p030-036>
- Chtouki, M., Laaziz, F., Naciri, R., Garré, S., Nguyen, F., & Oukarroum, A. (2022). Interactive effect of soil moisture content and phosphorus fertilizer form on chickpea growth, photosynthesis, and nutrient uptake. *Scientific Reports*, 12(1), 6671.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-10703-0>
- Datta, A., Ullah, H., & Ferdous, Z. (2017). Water Management in Rice. In *Rice Production Worldwide* (pp. 255–277).
https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_11
- de Jesus Matos Viégas, I., Cordeiro, R. A. M., de Almeida, G. M., Silva, D. A. S., da Silva, B. C., Okumura, R. S., ... de Freitas, J. M. N. (2018). Growth and visual symptoms of nutrients deficiency in mangosteens (*Garcinia mangostana* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 09(05), 1014–1028.
<https://doi.org/10.4236/ajps.2018.95078>
- 78
- Ding, C., Du, S., Ma, Y., Li, X., Zhang, T., & Wang, X. (2019). Changes in the pH of paddy soils after flooding and drainage: Modeling and validation. *Geoderma*, 337, 511–513.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.012>
- Dwiatmini, K., & Afza, H. (2018). Karakterisasi kadar antosianin varietas lokal padi warna sebagai SDG pangan fungsional. *Bul. Plasma Nutfah*, 24(2), 125–134. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.21082/blpn.v24n2.2018.p125-134>.
- Favre, F., Tessier, D., Abdelmoula, M., Génin, J. M., Gates, W. P., & Boivin, P. (2002). Iron reduction and changes in cation exchange capacity in intermittently water-logged soil. *European Journal of Soil Science*, 53(2), 175–183.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2002.00423.x>
- Haradari, C., & Hittalmani, S. (2017). Character association and path coefficient analysis for yield component traits in rice (*Oryza sativa* L.) under moisture stress conditions at the vegetative stage. *Current Trends in Biomedical Engineering & Biosciences*, 2(5).
<https://doi.org/10.19080/ctbeb.2017.02.555597>
- Helmyati, S., Kiasaty, S., Amalia, A. W., Sholihah, H., Kurnia, M., Wigati, M., ... Hu, F. (2020). Substituting white rice with brown and black rice as an alternative to prevent diabetes mellitus type 2: a case-study among young adults in Yogyakarta, Indonesia. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, 19(2), 749–757.
<https://doi.org/10.1007/s40200-020-00555-8>
- Hütsch, B. W., & Schubert, S. (2017). Harvest Index of Maize (*Zea mays* L.):

- Are There Possibilities for Improvement?
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.07.004>
- Ikkonen, E., Chazhengina, S., & Jurkevich, M. (2021). Photosynthetic nutrient and water use efficiency of *Cucumis sativus* under contrasting soil nutrient and lignosulfonate levels. *Plants*, *10*(2), 340. <https://doi.org/10.3390/plants10020340>
- Ito, V. C., & Lacerda, L. G. (2019). Black rice (*Oryza sativa* L.): A review of its historical aspects, chemical composition, nutritional and functional properties, and applications and processing technologies. *Food Chemistry*, *301*, 125304. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125304>
- Kim, T. K. (2015). T test as a parametric statistic. *Korean Journal of Anesthesiology*, *68*(6), 540. <https://doi.org/10.4097/kjae.2015.68.6.540>
- Lawson, T., & Blatt, M. R. (2014). Stomatal Size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. *Plant Physiology*, *164*(4), 1556–1570. <https://doi.org/10.1104/pp.114.237107>
- Li, Jiating, Shi, Y., Veeranampalayam-Sivakumar, A.-N., & Schachtman, D. P. (2018). Elucidating sorghum biomass, nitrogen, and chlorophyll contents with spectral and morphological traits derived from unmanned aircraft system. *Frontiers in Plant Science*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01406>
- Li, Jinjie, Li, Y., Yin, Z., Jiang, J., Zhang, M., Guo, X., ... Li, Z. (2017). OsASR5 enhances drought tolerance through a stomatal closure pathway associated with ABA and H₂O₂ signaling in rice. *Plant Biotechnology Journal*, *15*(2), 183–196. <https://doi.org/10.1111/pbi.12601>
- Ling, Q., Huang, W., & Jarvis, P. (2011). Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. *Photosynthesis Research*, *107*(2), 209–214. <https://doi.org/10.1007/s11120-010-9606-0>
- Nurmala, T., Irwan, A. W., Wahyudin, A., & Wicaksono, F. Y. (2015). *Agronomi Tropis. Penerbit Giratuna*. Bandung.
- Panigrahi, N., & Das, B. S. (2021). Evaluation of regression algorithms for estimating leaf area index and canopy water content from water stressed rice canopy reflectance. *Information Processing in Agriculture*, *8*(2), 284–298. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.06.002>
- Patrick Jr., W. H., Mikkelsen, D. S., & Wells, B. R. (1985). Plant Nutrient Behavior in Flooded Soil. In O. P. Engelstad (Ed.), *Fertilizer Technology and Use* (pp. 197–228). Madison, WI: Soil Science Society of America, Inc.
- Rahim, M. A., Umar, M., Habib, A., Imran, M., Khalid, W., Lima, C. M. G., ... Emran, T. Bin. (2022). Photochemistry, Functional properties, food applications, and health prospective of black rice. *Journal of Chemistry*, *2022*, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2022/2755084>
- Rashmi, I., Shirale, A., Kartikha, K. S., Shinogi, K. C., Meena, B. P., & Kala, S. (2017). Leaching of Plant Nutrients from Agricultural Lands. In *Essential Plant Nutrients* (pp. 465–489). https://doi.org/10.1007/978-3-319-58841-4_19
- Reyes, J. A. O., Carpennero, A. S., Santos, P. J. A., & Delfin, E. F. (2020). Effects of

- Water regime, genotype, and formative stages on the agro-physiological response of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) to drought. *Plants*, 9(5), 661. <https://doi.org/10.3390/plants9050661>
- Sabetfar, S., Ashouri, M., Amiri, E., & Babazadeh, S. (2013). Effect of drought stress at different growth stages on yield and yield component of rice plant. *Crop protection.Ir*, 2(2), 14–18.
- Thanuja, B., & Parimalavalli, R. (2018). Role of black rice in health and diseases. *International Journal of Health Sciences & Research (Www.Ijhsr.Org)*, 8(2), 241–248. Retrieved from www.ijhsr.org
- Toro, G., Flexas, J., & Escalona, J. M. (2019). Contrasting leaf porometer and infra-red gas analyzer methodologies: an old paradigm about the stomatal conductance measurement. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 31(4), 483–492. <https://doi.org/10.1007/s40626-019-00161-x>
- Ullah, H., Luc, P. D., Gautam, A., & Datta, A. (2018). Growth, yield, and silicon uptake of rice (*Oryza sativa*) as influenced by dose and timing of silicon application under water-deficit stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(3), 318–330. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1350782>
- Wicaksono, F. Y., Nurdin, A. M., Irwan, A. W., Maxiselly, Y., & Nurmala, T. (2019). Pertumbuhan dan hasil padi hitam yang diberi chlormequat chloride di lahan basah pada musim kemarau. *Kultivasi*, 18(3). <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v18i3.20439>
- Yamauchi, T., Shimamura, S., Nakazono, M., & Mochizuki, T. (2013). Aerenchyma formation in crop species: A review. *Field Crops Research*, 152, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.12.008>
- Yang, J., Yang, K., Lv, C., & Wang, Y. (2023). Effects of moderate water deficit on the accumulation and translocation of stem non-structural carbohydrates, yield, and yield components in a sink-limited rice variety under elevated CO₂ concentration. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(7), 4350–4359. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10897-7>
- Zaman, N. K., Abdullah, M. Y., Othman, S., & Zaman, N. K. (2018). Growth and physiological performance of aerobic and lowland rice as affected by water stress at selected growth stages. *Rice Science*, 25(2), 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.02.001>
- Zhao, D., Dong, J., Ji, S., Huang, M., Quan, Q., & Liu, J. (2020). Effects of Contemporary land use types and conversions from wetland to paddy field or dry land on soil organic carbon fractions. *Sustainability*, 12(5), 2094. <https://doi.org/10.3390/su12052094>
- Zhong, X., Peng, S., Sheehy, J. E., Visperas, R. M., & Liu, H. (2002). Relationship between tillering and leaf area index: quantifying critical leaf area index for tillering in rice. *The Journal of Agricultural Science*, 138(3), 269–279. <https://doi.org/10.1017/S0021859601001903>