

Penilaian Jejak Air dalam Penanaman Padi di Kawasan Muda Malaysia (Water Footprint Assessment of Paddy Cultivation in Muda Area Malaysia)

Nursabrina Azhar^a, Noor Hasyimah Rosman^{a*}, Muhammad Anwar Alias^b, Inawati Othman^c & Hasnida Harun^d

^aJabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia

^bEcto Engineering, Puchong, Selangor, Malaysia

^cJabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan, Universiti Malaysia Sarawak

^dJabatan Teknologi Kejuruteraan Awam, Fakulti Teknologi Kejuruteraan, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia

*Corresponding author: nhasyimah.rosman@ukm.edu.my

Received 31 March 2024, Received in revised form 3 August 2024

Accepted 3 September 2024, Available online 30 November 2024

ABSTRAK

Jejak air (WF) boleh digunakan sebagai penunjuk menyeluruh penggunaan sumber air tawar dan sebagai metrik yang boleh diukur untuk menentukan jumlah penggunaan air seunit tanaman. Penanaman padi menggunakan sejumlah besar air untuk meningkatkan hasil tanaman. Memandangkan air merupakan komponen terpenting untuk penanaman padi, adalah penting untuk memahami berapa banyak air digunakan semasa pertanian dan kuantiti air dalam tanaman padi per tan produk. Matlamat kajian ini adalah untuk menilai jejak air tanaman padi di kawasan Muda yang dikawal selia oleh Lembaga Kemajuan Pertanian Muda, selama lima tahun berturut-turut iaitu 2018 hingga 2022. Pengaturcaraan komputer CROPWAT 8.0, data meteorologi seperti (hujan, suhu, kelajuan angin, kelembapan relatif, dan sinaran matahari) dan data hasil tanaman padi digunakan untuk perkiraan evapotranspirasi air (ET) bagi komponen air biru dan hijau, dan meneruskan pengiraan jejak air. Rangka kerja metodologi mengikut pilihan keperluan air tanaman berdasarkan manual penilaian jejak air. Pengiraan jejak air memfokuskan pada komponen jejak air biru, hijau, dan kelabu. Dapatan kajian menunjukkan bahawa ketiga-tiga komponen jejak air berbeza dengan ketara antara satu sama lain. Di kawasan Muda, purata nilai jejak air hijau (WF_{hijau}) adalah 1102.3 m³/tan (56.6 %) lebih tinggi daripada jejak air biru (WF_{biru}) iaitu 506.4 m³/tan (26 %), dan nilai jejak air kelabu (WF_{kelabu}) adalah 337.4 m³/tan (17.3 %). 57 % jejak air hijau menunjukkan bahawa terdapat hujan yang mencukupi untuk menyokong pertumbuhan padi. Penilaian jejak air memberikan pemahaman lebih komprehensif tentang kelestarian alam sekitar tanaman padi. Data daripada penilaian boleh digunakan untuk merangka dasar yang menggalakkan tanaman padi mampan dan kaedah penanaman terbaik.

Kata kunci: Jejak air; pengaturcaraan CROPWAT 8.0; penanaman padi; mampan; kawasan Muda

ABSTRACT

Water footprint (WF) can be used as a comprehensive indicator of the use of freshwater resources and as a measurable metric to determine the amount of water used per unit of crop. Rice cultivation uses large amounts of water to increase crop yields. Since water is the most important component for rice cultivation, it is important to understand how much water is used during agriculture and the quantity of water in the rice crop per ton of product. The aim of this study is to evaluate the water footprint of rice crops in the Muda area regulated by the Muda Agricultural Development Board, for five consecutive years from 2018 to 2022. CROPWAT 8.0 computer programming, meteorological data such as (rainfall, temperature, speed wind, relative humidity, and solar radiation) and rice crop yield data are used to estimate water evapotranspiration (ET) for the blue and green water components, and continue the water footprint calculation. Methodological framework according to crop water requirements options based on the water footprint assessment manual. The water footprint calculation focuses on the blue, green, and grey water footprint components. The findings of the study show that the three components of the water footprint differ significantly from each other.

In the Muda area, the average value of the green water footprint (WF_{green}) is 1102.3 m^3/ton (56.6 %) higher than the blue water footprint (WF_{blue}) which is 506.4 m^3/ton (26 %), and the value of the grey water footprint (WF_{grey}) is 337.4 m^3/ton (17.3 %). 57 % green water footprint indicates that there is enough rain to support rice growth. Water footprint assessment provides more comprehensive understanding of the environmental sustainability of rice crops. Data from the assessment can be used to formulate policies that promote sustainable rice cultivation and the best cultivation methods.

Keywords: Water footprint; CROPWAT 8.0 programming; rice cultivation; sustainability; Muda area

PENGENALAN

Penanaman padi adalah antara tanaman penghasil produk yang besar di Malaysia. Produk yang terhasil iaitu beras adalah makanan ruji penduduk Malaysia. Bekalan beras perlu sentiasa berada pada tahap yang optimum bagi memenuhi keperluan beras yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk setiap tahun. Penanaman padi secara kaedah konvensional yang dijalankan di Malaysia mungkin memberi kesan terhadap kuantiti dan kualiti tanaman. Jejak air amat penting dalam sektor pertanian untuk pelaksanaan kelestarian bagi mengoptimalkan prestasi pertanian tersebut. Kaedah penanaman padi secara konvensional akan memberi kesan terhadap isu kekurangan air dan perubahan iklim. Jumlah air untuk tanaman yang dibekalkan dengan berlebihan juga akan memberi masalah terhadap isu air.

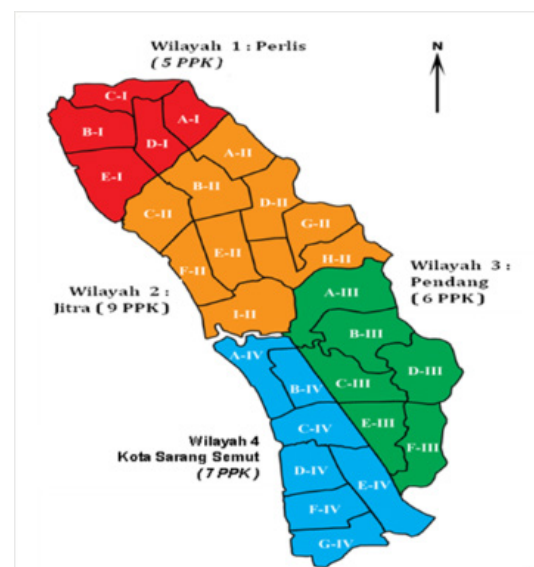
Selain itu, penanaman padi adalah salah satu penyebab peningkatan pelepasan gas rumah hijau (GHG) yang dilepaskan ke atmosfera. Penambahan bahan organik dan kimia pada padi meningkatkan pelepasan karbon dioksida (CO_2) yang diprodusi dari tanah. Pelepasan CO_2 di dunia dianggarkan sebanyak 42 $GtCO_2eq$ untuk tempoh setahun. Baki anggaran pelepasan karbon sedunia adalah 480 $GtCO_2eq$ yang mampu dihabiskan dalam tempoh kira-kira dua belas tahun sahaja lagi (Meenakshi, 2021). Menurut Diksha Sah dan A.S. Devakumar (2018), industri pertanian adalah aktiviti antropogenik yang besar dan tidak dapat dielakkan yang mempunyai kesan yang besar dalam menyebabkan perubahan iklim.

Pengurangan penggunaan air serta pemahaman yang tepat tentang keperluan sebenar air untuk mengairi tanaman adalah sangat penting untuk menjamin ketersediaan makanan (beras) kerana pertanian adalah pengguna utama air (Ewaid et al. 2021). Iklim mempunyai kesan yang besar terhadap pertanian. Satu keterangan dari Alam et al. (2011) menyatakan, pembolehubah iklim yang tidak terkawal, seperti suhu, hujan, kelembapan tanah, banjir, kemarau, dan bencana alam lain, berubah mengikut peredaran masa dan memberi kesan kepada kelestarian sektor pertanian, ekonomi, sosial dan alam sekitar. Kaedah pertanian mampan akan terjejas akibat daripada perubahan iklim yang disebabkan oleh faktor pelepasan karbon sebagai salah satu contoh.

Petani, penyelidik, dan penggubal dasar perlu mengetahui lebih lanjut tentang keperluan air dan pengawalan pelepasan karbon dalam penanaman padi bagi membangunkan kaedah untuk mencapai keselamatan makanan dan menstabilkan alam sekitar. Jadi, adalah penting untuk menilai dan menganggarkan jumlah air yang digunakan dalam tanaman padi bagi mendapatkan teknik-teknik dan pendekatan untuk mengurangkan cabaran kekurangan air dan penyesuaian dengan perubahan keadaan iklim seterusnya memberi sokongan terhadap Matlamat Pembangunan Mampan (SDG). Kajian kes terhadap jejak air ini akan memberi penerangan dan gambaran tentang penilaian jejak air dalam penanaman padi.

KAWASAN KAJIAN

Kawasan kajian yang dipilih adalah tertumpu kepada kawasan jelapang padi yang dikawal oleh Lembaga Kemajuan Pertanian Muda (MADA). Lebih dikenali sebagai kawasan Muda yang terletak di bahagian utara Semenanjung Malaysia yang melibatkan wilayah I (Perlis), II (Jitra), III (Pendang), dan IV (Kota Sarang Semut) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.



RAJAH 1. Kawasan kajian (MADA, 2021)

KOLEKSI DATA

Kajian ini dijalankan dengan menggunakan data sekunder bagi data-data yang diperlukan seperti data keluasan tanaman, hasil tanaman, data meteorologi, data baja dan lain-lain. Kesemua data tersebut diperolehi daripada statistik tanaman Jabatan Pertanian, Jabatan Perangkaan, Lembaga Kemajuan Pertanian Muda (MADA), dan pengkaji-pengkaji terdahulu. Pemerhatian dan temubual secara rawak juga dijalankan untuk menyokong data-data (kadar penggunaan dan jenis baja serta tempoh tanaman) yang berkemungkinan tidak didapati dari data sekunder.

METODOLOGI

PENILAIAN JEJAK AIR DALAM TANAMAN

Pengiraan jejak air adalah berdasarkan manual penilaian jejak air. Berdasarkan formula (Hoekstra et al. 2011), setiap komponen biru dan hijau dikira menggunakan langkah yang berbeza untuk mendapatkan penyejatan air (ET). Sejalan air hijau (ET_{hijau}) dianggarkan berdasarkan minimum antara penyejatan tanaman (ET_c) dan jumlah hujan berkesan (P_{eff}) (Persamaan 1). Sejalan air biru (ET_{biru}) ditentukan daripada perbezaan antara jumlah ET_c dan P_{eff} manakala jika perbezaan lebih besar, ET_{biru} adalah sama dengan sifar (Persamaan 2). ET_c dan P_{eff} diperolehi daripada output CROPWAT 8.0.

$$ET_{hijau} = \min(ET_c, P_{eff}) \quad (1)$$

$$ET_{biru} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \quad (2)$$

ET_{biru} and ET_{hijau} kemudiannya didarab dengan faktor 10 untuk menukar kepada m^3/ha bagi menentukan penggunaan air tanaman (CWU) (Persamaan 3 dan 4).

$$CWU_{hijau} (m^3/ha) = 10 \times \sum_{d=1}^{SP} ET_{hijau} \quad (3)$$

$$CWU_{biru} (m^3/ha) = 10 \times \sum_{d=1}^{SP} ET_{biru} \quad (4)$$

Jejak air tanaman (WF) dikira sebagai CWU dibahagikan dengan hasil tanaman (Y) untuk komponen hijau dan biru masing-masing (Persamaan 5 dan 6).

$$WF_{hijau} (m^3/tan) = \frac{CWU_{hijau} (m^3/ha)}{Y (tan/ha)} \quad (5)$$

$$WF_{biru} (m^3/tan) = \frac{CWU_{biru} (m^3/ha)}{Y (tan/ha)} \quad (6)$$

Pengiraan jejak air kelabu (WF_{kelabu}) adalah berbeza daripada komponen hijau dan biru (Hoekstra et al. 2011). Input data yang berbeza berbanding biru dan hijau diperlukan untuk pengiraan WF_{kelabu} . Air kelabu mengambil kira sejauh mana air yang digunakan tercemar sepanjang proses. Dengan mendapatkan WF_{kelabu} , kadar aplikasi kimia (AR) didarab dengan larian larut lesap (α), maka pendaraban dibahagikan dengan perbezaan kepekatan pencemar maksimum (C_{maks}) dan kepekatan pencemar semula jadi (C_{nat}). Akhir sekali, isipadu sehektar dibahagikan dengan hasil tanaman (Y) seperti ditunjuk dalam Persamaan 7.

$$WF_{kelabu} (m^3/tan) = \frac{(\alpha \times AR) / (C_{maks} - C_{nat})}{Y} \quad (7)$$

Semua komponen jejak air biru, hijau dan kelabu (WF_{biru} , WF_{hijau} dan WF_{kelabu}) dijumlahkan untuk menilai jumlah jejak air (WF) (Persamaan 8). WF dinyatakan dalam unit m^3/tan .

$$WF = WF_{biru} + WF_{hijau} + WF_{kelabu} \quad (8)$$

PENGATURCARAAN KOMPUTER CROPWAT 8.0

Model CROPWAT 8.0 ialah perisian sokongan keputusan yang dibangunkan oleh Bahagian Pembangunan Tanah dan Air (FAO) untuk mengira keperluan air tanaman (CWR) dan keperluan pengairan (IR) berdasarkan data tanah, iklim dan tanaman. CROPWAT 8.0 adalah penting dalam penilaian ini untuk menentukan sejatan air (ET) kerana ia diperlukan dalam proses keperluan air tanaman. ET dianggarkan daripada data iklim, data tanaman dan data kelembapan tanah. Parameter input yang diperlukan iaitu suhu, kelembapan, kelajuan angin dan jam cahaya matahari dimasukkan dan dijalankan mengikut bulanan. Kemudian, evapotranspirasi (ET_o) dikira secara automatik oleh CROPWAT 8.0 berdasarkan formula Penman-Monteith yang diakses oleh FAOSTAT (FAO, 2012). Parameter output dari CROPWAT 8.0 (Rajah 2) akan digunakan untuk pengiraan penggunaan air tanaman (CWU) seterusnya menentukan jejak air hijau (WF_{hijau}) dan jejak air biru (WF_{biru}).

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Feb	1	LandPrep	1.05	4.98	150.0	4.5	411.7
Feb	2	LandPrep	1.05	5.67	56.7	12.9	43.7
Feb	3	LandPrep	1.05	5.75	46.0	18.7	287.1
Mar	1	Irat	1.10	6.15	61.5	28.6	32.9
Mar	2	Irat	1.10	6.32	63.2	33.9	29.3
Mar	3	Drive	1.11	6.11	67.2	28.4	38.8
Apr	1	Drive	1.13	5.90	59.0	16.9	42.1
Apr	2	Mid	1.15	5.76	57.6	10.2	47.3
Apr	3	Mid	1.15	5.62	56.2	25.4	30.9
May	1	Mid	1.15	5.46	54.6	48.2	6.4
May	2	Mid	1.15	5.29	52.9	43.5	0.0
May	3	Late	1.15	5.08	50.8	55.1	0.0
Jun	1	Late	1.11	4.70	47.0	42.4	4.6
Jun	2	Late	1.05	4.27	42.7	35.7	7.0
Jun	3	Late	1.00	3.99	39.9	31.9	29.1
					762.3	453.6	982.6

RAJAH 2. Parameter output dikeluarkan CROPWAT 8.0

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

JEJAK AIR DALAM PENANAMAN PADI

Purata nilai untuk penyejatan air hijau (ET_{hijau}) dan penyejatan air biru (ET_{biru}) pada lima tahun (2018-2022) ialah 507.8 mm/dec dan 238.6 mm/dec masing-masing. Berdasarkan ET_{hijau} dan ET_{biru} , jumlah bagi penggunaan air tanaman (CWU) bagi komponen hijau dan biru diperoleh. Nilai CWU dibahagikan dengan purata hasil bagi setiap

lima tahun yang dikaji dari 2018-2022 setelah didarabkan dengan sepuluh untuk penentuan jejak air hijau (WF_{hijau}) dan jejak air biru (WF_{biru}). Hasil mendapati jumlah WF_{hijau} dan WF_{biru} mengalami trend menurun dan menaik bagi lima tahun tersebut. Hasil pengiraan bagi komponen hijau dan biru dijadualkan dalam Jadual 1. Dapat dilihat bahawa WF_{hijau} adalah lebih tinggi berbanding WF_{biru} pada setiap tahun. Ini menunjukkan bahawa penggunaan air hijau lebih banyak dalam proses penanaman.

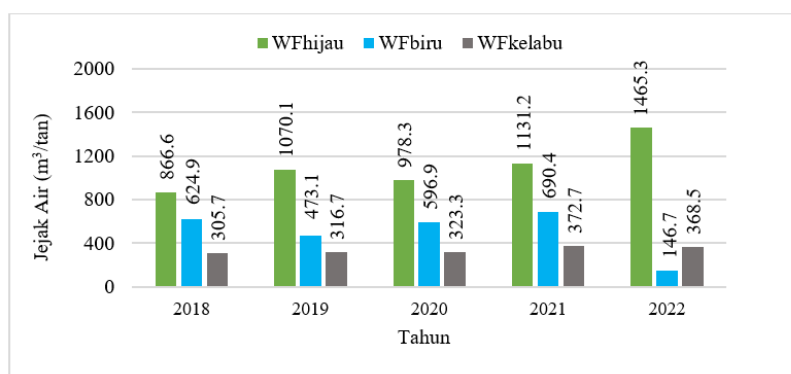
JADUAL 1. Hasil pengiraan jejak air hijau dan biru menggunakan pilihan keperluan air tanaman (CWR)

Tahun	ET_{hijau} , (mm/dec)	ET_{biru} , (mm/dec)	CWU_{hijau} , (m^3/ha)	CWU_{biru} , (m^3/ha)	Purata Hasil, (tan/ha)	WF_{hijau} , (m^3/tan)	WF_{biru} , (m^3/tan)
2018	442.9	319.4	4429	3194	5.111	866.6	624.9
2019	527.9	233.4	5279	2334	4.933	1070.1	473.1
2020	472.8	288.5	4728	2885	4.833	978.3	596.9
2021	474.2	289.4	4742	2894	4.192	1131.1	690.4
2022	621.3	62.2	6213	622	4.240	1465.3	146.7
Purata	507.8	238.6	5078.2	2385.8	4.66	1102.3	506.4

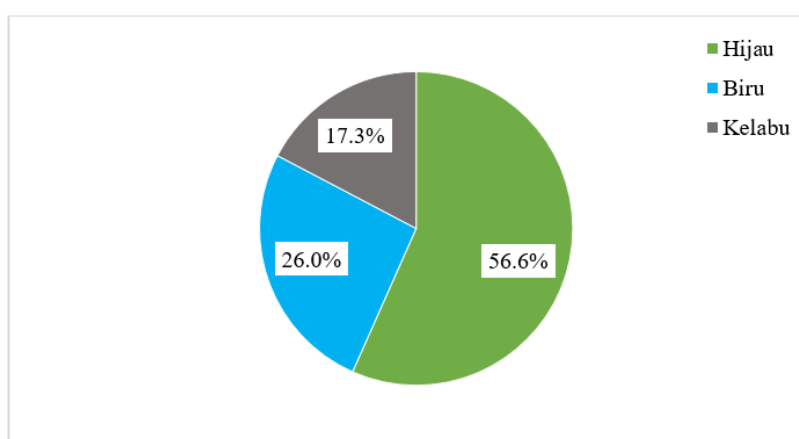
Hasil pengiraan jejak air kelabu (WF_{kelabu}) pula didapati tiada perbezaan ketara ditunjukkan bagi setiap tahun berturut-turut selama lima tahun kajian. Purata jejak air kelabu untuk lima tahun tersebut ialah 337.4 m^3/tan . Nilai WF_{kelabu} ini diperoleh berdasarkan nisbah baja sebatian N:P:K (Nitrogen, Fosforus, Kalium) yang diaplikasikan dalam penanaman. Daripada sesi temu bual rawak bersama petani, terdapat dua jenis baja sebatian N:P:K dipraktikkan dalam proses penanaman padi tersebut. Baja pertama dengan nisbah 17.5:15.5:10 digunakan kira-kira 240 kg sehektar yang ditabur selepas 15 dan 35 hari dan baja kedua ialah penambahan baja daripada nisbah 17.3:25:2 dengan 150 kg digunakan pada 55 dan 75 hari selepas semaian.

Jumlah WF bagi WF_{hijau} , WF_{biru} , dan WF_{kelabu} untuk tahun 2018-2022 dicartakan dalam Rajah 3. Diketahui

bahawa WF_{hijau} lebih tinggi berbanding WF_{biru} dan WF_{kelabu} menunjukkan pengairan yang diaplikasi dalam penanaman padi adalah daripada tadahan air hujan. Manakala, nilai WF_{kelabu} adalah jauh lebih rendah pada setiap tahun. Jumlah keseluruhan WF menunjukkan nilainya di antara 1797.2 – 2194.3 m^3/tan untuk tahun 2018-2022. Purata bagi lima tahun tersebut adalah 1102.3 m^3/tan (57 %), 506.4 m^3/tan (26 %), dan 337.4 m^3/tan (17 %) masing-masing untuk komponen WF_{hijau} , WF_{biru} dan WF_{kelabu} (Rajah 4). Hal ini dapat disimpulkan bahawa 57% air hijau yang disalurkan kepada tanaman padi di kawasan Muda dalam kajian ini dan terdapat sedikit air kelabu dalam tanaman iaitu sebanyak 17 % sahaja oleh sebab pembajaan.



RAJAH 3. Jumlah jejak air hijau, biru dan kelabu tahun 2018-2022



RAJAH 4. Peratusan purata lima tahun jejak air mengikut komponen

Jumlah WF_{hijau} yang sangat tinggi berbanding WF_{biru} dan WF_{kelabu} menunjukkan penanaman padi di kawasan kajian adalah penanaman berkaedah pengairan berterusan. Pengairan berterusan atau lebih diketahui sebagai tanaman banjir meningkatkan kadar penyejatan dan transpirasi serta menyokong pertumbuhan padi. Air yang digunakan di sawah padi adalah sumber dari air hujan dan kelembapan tanah, menyumbang kepada tingginya WF_{hijau} .

Keadaan tanaman banjir ini menyebabkan berlakunya proses tindak balas anaerobik dalam tanah. Hal ini berlaku apabila tanah tepu dengan air, dan oksigen dalam liang-liang profil tanah digantikan dengan air (Arit, 2016). Dalam keadaan anaerobik, organisma biologi menggunakan lebih banyak oksigen dalam tanah daripada yang meresap ke dalam profil tanah (Hortau, 2021). Tanah anaerobik boleh memberi kesan baik atau buruk kepada persekitaran pertanian. Menurut penyelidik (Arit, 2016), tanah anaerobik berguna dalam penanaman padi. Namun begitu, tanah berkeadaan anaerobik mengeluarkan gas metana (CH_4) yang mungkin memberi kesan kepada pelepasan gas rumah hijau (GHG).

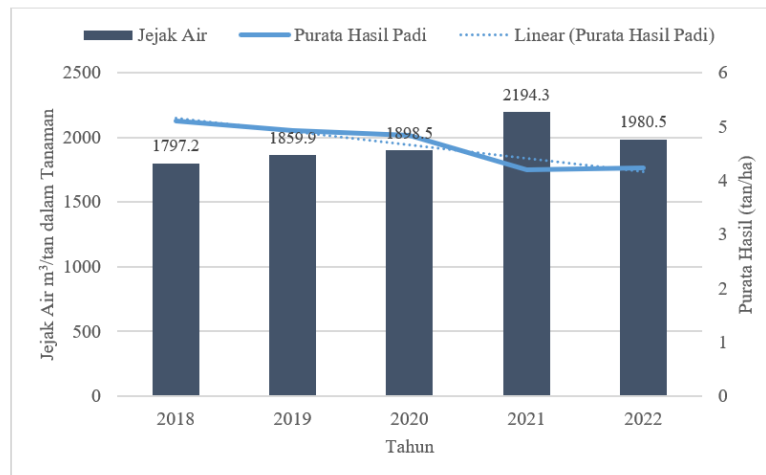
Antara faktor penyumbang utama jumlah WF_{kelabu} pula ialah kadar aplikasi baja dalam tanaman. Dengan merujuk nisbah N:P:K pada baja sebatian yang digunakan, jumlah berat nitrogen (N) menentukan nilai WF_{kelabu} sama ada tinggi atau rendah.

Berdasarkan keputusan yang diperolehi, kawasan Muda Malaysia mempunyai bekalan air hijau lebih besar yang boleh diakses untuk penanaman tanaman padi, menunjukkan pengurangan keperluan air biru. Jejak air hijau yang lebih tinggi menunjukkan kadar hujan yang sesuai untuk penanaman padi di kawasan Muda. Sebanyak 1946 m³/tan air digunakan pada tahun (2018 hingga 2022) secara purata keseluruhan. Ini disebabkan oleh pelbagai elemen yang memberi kesan kepada jumlah keseluruhan, seperti iklim dan keadaan persekitaran. Ternyata sejumlah besar air telah digunakan untuk keseluruhan proses penanaman padi. Oleh itu, cara yang paling ideal ialah meningkatkan kecekapan penggunaan air semasa penanaman padi bagi memastikan kemampuan dan kesejahteraan tanaman padi.

Selain itu, Rajah 5 menunjukkan bahawa kenaikan jumlah jejak air WF adalah di antara 1797.2 m³/tan hingga

2194.3 m³/tan berlaku dari tahun 2018 hingga 2021, masing-masing dan menurun sedikit pada tahun 2022 iaitu 1980.5 m³/tan. Kenaikan jumlah jejak air WF pada 2021 berlaku dengan ketara. Hal ini adalah berkaitan dengan hasil padi yang dikeluarkan pada tahun tersebut. Rajah 5 menunjukkan carta trend purata hasil padi yang

mempengaruhi jejak air. Dilihat bahawa purata hasil padi yang dikeluarkan setiap tahun memberi kesan kepada jumlah jejak air dalam tanaman padi di kawasan Muda. Semakin besar purata hasil, semakin rendah jumlah jejak air.



RAJAH 5. Jejak air WF dalam tanaman lawan purata hasil tahun 2018-2022

PERBANDINGAN HASIL DAPATAN JEJAK AIR DENGAN KAJIAN TERDAHULU

Perbandingan dibuat dengan kajian-kajian yang melakukan teknik penanaman konvensional seiring dengan kajian yang dijalankan di sebahagian kawasan utara Semenanjung Malaysia (kawasan Muda) ini (Jadual 2). Melalui perbandingan tersebut dapat dinyatakan bahawa nilai dapatan jejak air (WF) dalam kajian di kawasan Muda ini (1797.2-2194.3 m³/tan) untuk tahun 2018-2022 masih dalam lingkungan jumlah nilai WF dari kajian-kajian

sebelum yang dilakukan. Keputusan WF dalam kajian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan jumlah WF global yang direkodkan oleh (Chapagain & Hoekstra 2011). Dalam pada itu, jumlah WF yang diukur dalam kajian ini tidak jauh beza jika dibandingkan dengan kajian sebelum (tahun 2005-2016) yang juga dilakukan di kawasan Muda. Jelaslah bahawa kuantiti pengairan penanaman padi di kawasan kajian (kawasan Muda) adalah konsisten dari tahun 2005 hingga 2022 sepanjang kajian-kajian dilakukan termasuk kajian ini. Ini bermaksud kuantiti air yang digunakan semasa proses tanaman adalah mencukupi dan dalam keadaan baik yang boleh menghasilkan hasil padi yang memberangsangkan.

JADUAL 2. Perbandingan nilai dapatan jejak air antara kajian ini dan terdahulu

Kawasan	Tahun Kajian	Jumlah Nilai WF	Rujukan
Kawasan Muda Malaysia	2018-2022	1797.2-2194.3 m ³ /tan	Kajian ini
India	-	1097 m ³ /tan	(Kashyap & Agarwal 2021)
India	2000-2017	2404.08 m ³ /tan	(Sidhu et al. 2021)
Bangladesh	2017	3404 m ³ /tan	(Mullick & Das 2021)
Thailand	2019	1665 m ³ /tan	(Mungkung et al. 2019)
Thailand	2018-2021	1470.1 m ³ /tan	(Arunrat et al. 2021)
China	-	582.5-1429.7 m ³ /tan	(Qiang Xu et al. 2022)
Iraq	2007-2016	3694 m ³ /tan	(Ewaid et al. 2020)
Global	-	1325 m ³ /tan	(Chapagain & Hoekstra, 2011)

... sambungan

Semenanjung Malaysia	2005-2013	2292.99 m ³ /tan	(Siti Norliyana & Marlia, 2017)
Kedah, Malaysia	2005-2013	2095 m ³ /tan	(Hanafiah et al. 2019)
Kedah, Malaysia	2011-2015	13 571 m ³ /tan	(Mohamed Rusli et al. 2022)
Kedah, Malaysia	2012-2016	1633.4-2359.3 m ³ /tan	(Pang et al. 2022)

KESIMPULAN

Penyejatan air hijau (ET_{hijau}) ialah 442.9 mm/dec, 527.9 mm/dec, 472.8 mm/dec, 474.2 mm/dec, dan 621.3 mm/dec masing-masing bagi tahun 2018, 2019, 2020, 2021, dan 2022, manakala penyejatan air biru (ET_{biru}) ialah 319.4 mm/dec (2018), 233.4 mm/dec (2019), 288.5 mm/dec (2020), 289.4 mm/dec (2021), dan 62.2 mm/dec (2022). Jumlah ET_{hijau} dan ET_{biru} menyumbang kepada ketinggian atau kerendahan nilai WF_{hijau} dan WF_{biru} dalam tanaman. Jejak air hijau WF_{hijau} yang lebih tinggi menunjukkan kadar hujan yang sesuai untuk penanaman padi di kawasan Muda. Secara kesimpulan, jumlah nilai jejak air WF adalah 1797.2 hingga 2194.3 m³/tan pada tahun 2018-2022, masih berada dalam lingkungan yang sama dengan jejak air WF dari penanaman padi di negara-negara pengeluar padi yang menggunakan kaedah konvensional. Penggunaan air dalam penanaman padi di kawasan Muda adalah baik dan ini juga disebabkan oleh pelbagai elemen yang memberi kesan kepada jumlah keseluruhan, seperti iklim dan keadaan persekitaran. Kajian kes penilaian jejak air WF dalam penanaman padi adalah penting dan perlu, hasil kajian yang diperoleh boleh membantu memahami kegunaan penunjuk jejak tersebut dan membuat perangkaan perundangan mengenai kelestarian penggunaan air. Kajian jejak air WF dapat membantu pihak berkuasa mengetahui berapa banyak air yang diperlukan dalam tanaman untuk mengelakkan lebihan atau kekurangan air yang disalurkan pada sawah padi. Hasilnya menawarkan pengetahuan asas yang boleh digunakan kepada pengurusan sumber air yang mampan untuk sektor pertanian padi.

PENGHARGAAN

Pengarang ingin mengucapkan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia atas sokongan kewangan di bawah geran UKM-TR2022-10.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- Alam, M.M., Siwar, C., Murad, M.W. & Mohd Ekhwan, T. 2011. Impacts of climate change on agriculture and food security issues in Malaysia: An empirical study on farm level assessment. *World Applied Sciences Journal* 14(3): 431–442.
- Arit Efretuei. 2016. Anaerobic Soils-What you need to know. *Permaculture Research Institute* <https://www.permaculturenews.org/2016/11/04/anaerobic-soils-need-know/>
- Arunrat, N., Sreenonchai, S. & Wang, C. 2021. Carbon footprint and predicting the impact of climate change on carbon sequestration ecosystem services of organic rice farming and conventional rice farming: A case study in Phichit province, Thailand. *Journal of Environmental Management* 289: 112458.
- Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y. 2011. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics* 70(4): 749–758.
- Diksha Sah & A.S. Devakumar 2018. The carbon footprint of agricultural crop cultivation in India. *Carbon Management* 9(3): 213–225.
- Ewaid, S.H., Abed, S.A. & Al-Ansari, N. 2020. Assessment of main cereal crop trade impacts on water and land security in Iraq. *Agronomy* 10(1): 98.
- Ewaid, S.H., Abed, S.A., Chabuk, A. & Al-Ansari, N. 2021. Water footprint of rice in Iraq. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 722(1): 012008.
- FAO. n.d. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>
- FAO. 2012: FAOSTAT – FAO's Information System on Water and Agriculture, Agriculture Organization of the United Nations, viewed 15 February 2014.
- Hanafiah, M.M., Fadillah, N., Norliyana, S., Saadon, H., Abdulhasan, M.J. & Amri, M.K. 2019. Assessing water scarcity in Malaysia: a case study of rice production. *Desalination and Water Treatment* 149: 274–287.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. & Mekonnen, M.M. 2011: *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan, London, UK, 2011.

- Hortau Grower. 2021. What are anaerobic conditions and how do they affect your crop? <https://hortau.com/2021/09/what-are-anaerobic-conditions-and-how-do-they-affect-your-crop/>
- Kashyap, D. & Agarwal, T. 2021. Carbon footprint and water footprint of rice and wheat production in Punjab, India. *Agricultural Systems* 186: 102959.
- MADA (Lembaga Kemajuan Pertanian Muda) 2021. Maklumat Korporat – Bahagian - Industri Padi: Program pembangunan industri padi, 6 Februari. Diakses dari laman web rasmi Lembaga Kemajuan Pertanian Muda, <https://www.mada.gov.my/>
- Meenakshi Raman. 2021. Kenyataan pahit tentang pelepasan 'bersih sifar' karbon. *Sahabat Alam Malaysia*, 21 April. <https://foe-malaysia.org/my/articles/kenyataan-pahit-tentang-pelepasan-bersih-sifar-karbon/>
- Mohamed Rusli, N., Zainon Noor, Z., Mat Taib, S., & Mohammad Sabli, N.S. 2022. Water footprint of rice production in Malaysia: A review of evapotranspiration and factors of climate change for rice and food security in Malaysia. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences* 18(4): 497–510.
- Mullick, M.R.A. & Das, N. 2021. Estimation of the spatial and temporal water footprint of rice production in Bangladesh. *Sustainable Production and Consumption* 25: 511–524.
- Mungkung, R., Gheewala, S. H., Silalertruksa, T. & Dangsiri, S. 2019. Water footprint inventory database of Thai rice farming for water policy decisions and water scarcity footprint label. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 24(12): 2128–2139.
- Pang, C.H., Zainon Noor, Z., Mohamed Rusli, N. & Hafizan, C. 2022. Water footprint assessment of paddy cultivation: quantifying direct and indirect water consumption. *Journal of Sustainability Science and Management* 17(1): 110–128.
- Qiang Xu, Jingyong Li, Hao Liang, Zhao Ding, Xinrui Shi, Yinglong Chen, Zhi Dou, Qigen Dai & Hui Gao. 2022. Coupling life cycle assessment and global sensitivity analysis to evaluate the uncertainty and key processes associated with carbon footprint of rice production in Eastern China. *Frontiers in Plant Science* 13.
- Sidhu, B.S., Sharda, R. & Singh, S. 2021. An assessment of water footprint for irrigated rice in Punjab. *Journal of Agrometeorology* 23(1): 21–29.
- Siti Norliyana Harun & Marlia M. Hanafiah. 2017. Consumptive use of water by selected cash crops in Malaysia. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture* 1(2): 06–08.