

Analisis *water footprint* pada budidaya pakcoy dengan sistem irigasi bawah permukaan *pocket fertigation*

Putri Agustina Hotmatua Hutabalian, Chusnul Arif*

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB University, Kampus IPB Darmaga – Bogor, Jawa Barat, Indonesia

*Corresponding authors: chusnul_arif@apps.ipb.ac.id

Submitted: 18 March 2023, Revised: 31 October 2023, Accepted: 11 November 2023

ABSTRACT: Limited water resource and the decrease in the plant productivity of the bok choy (Chinese white cabbage) causes the need for appropriate irrigation technology. Pocket fertigation, as an innovative irrigation technology, is developed from previous a ring irrigation system and it is expected to increase crop and water productivity. This study aims to analyze the water footprint of the bok choy plant using a pocket fertigation irrigation system with various scenarios, and to determine the optimal irrigation system. The research was conducted in April-June 2022 at Kinjiro Farm, Bogor City. The research steps included land preparation, data collection, data processing, and water footprint analysis. Irrigation scenario design is influenced by factors of pocket fertigation (P1) and conventional (P2) irrigation systems, as well as water supplied based on one-time evaporation (A1) and two times evaporation rates. The total water footprint in scenarios P1A1, P2A1, P1A2, and P2A2 are 251.72 m³/ton, 231.56 m³/ton, 295.69 m³/ton and 222.16 m³/ton respectively with the highest irrigation efficiency occurs in the P2A1 scenario, so further development of pocket fertigation is needed to minimize the water footprint and increase water productivity.

KEYWORDS: bok choy; pocket fertigation; subsurface irrigation; water footprint.

ABSTRAK: Keterbatasan ketersediaan air dan penurunan produktivitas tanaman sawi pakcoy menyebabkan diperlukannya teknologi irigasi tepat guna. Pocket fertigation merupakan pengembangan sistem irigasi cincin yang diharapkan dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan air. Penelitian ini bertujuan menganalisis water footprint tanaman pakcoy menggunakan sistem irigasi pocket fertigation dengan berbagai skenario, serta menentukan sistem irigasi yang optimal. Penelitian dilaksanakan pada bulan April-Juni 2022 bertempat di Kinjiro Farm, Kota Bogor. Tahapan penelitian meliputi persiapan lahan, pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis water footprint. Rancangan skenario irigasi dipengaruhi faktor sistem irigasi pocket fertigation (P1) dan konvensional (P2), serta pemberian air 1 kali evaporasi (A1) dan 2 kali evaporasi (A2). Total water footprint pada skenario P1A1, P2A1, P1A2, dan P2A2 secara berturut-turut sebesar 251.72 m³/ton, 231.56 m³/ton, 295.69 m³/ton, dan 222.16 m³/ton dengan efisiensi irigasi tertinggi terjadi pada skenario P2A1, sehingga diperlukan pengembangan pocket fertigation lebih lanjut untuk meminimalkan water footprint dan meningkatkan produktivitas air.

KATA KUNCI: pakcoy; pocket fertigation; irigasi bawah permukaan; water footprint.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1 PENDAHULUAN

Pakcoy dengan nama latin *Brassica rapa L.* merupakan tanaman hortikultura yang termasuk ke dalam jenis sayur-sayuran sawi. Tanaman semusim ini memiliki bentuk yang hampir mirip dengan sawi hijau, namun lebih pendek dengan batang dan daun yang lebih tebal dan kokoh (Ginting, 2020). Pakcoy memiliki kandungan gizi yang bermanfaat bagi tubuh seperti vitamin, mineral dan serat yang tinggi sehingga cukup diminati oleh masyarakat Indonesia. Namun, tingginya permintaan pasar tidak diimbangi dengan produktivitas tanaman yang mengalami penurunan dari tahun ke tahun (Rizal, 2017). Berdasarkan data, produksi tanaman sawi di Indonesia pada tahun 2019 sebesar 652727 ton dan pada tahun 2020 sebesar 667473 ton, dengan produktivitas tanaman yang turun dari 10.72 ton/ha menjadi 10.51 ton/ha (Badan Pusat

Statistika, 2020). Penurunan produktivitas tanaman ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti faktor iklim, tingkat kesuburan tanah, dan teknik budidaya yang dilakukan (Sarido & Junia, 2017).

Berbagai inovasi terus dikembangkan dan dilakukan untuk meningkatkan produktivitas tanaman, salah satunya dengan menerapkan sistem irigasi yang tepat dalam budidaya tanaman (Triana et al., 2018). Salah satu sistem irigasi yang dapat diterapkan adalah sistem irigasi bawah permukaan yang cukup efektif dan efisien dalam memenuhi kebutuhan air tanaman dengan cara mendistribusikan air secara langsung ke daerah zona perakaran tanaman (Anggriani, 2020). Salah satu contoh irigasi tipe ini adalah irigasi tetes yang telah terbukti memiliki tingkat keseragaman debit yang tinggi (Negara et al., 2023). Akan tetapi, teknologi ini masih terkesan mahal. Salah satu sistem

irigasi bawah permukaan adalah *pocket fertigation* yang merupakan alat pengaplikasian irigasi dan pupuk secara bersamaan melalui sebuah *emitter* yang berbentuk seperti cincin dengan *pocket* sebagai wadah tampungan air dan pupuk dengan biaya yang lebih murah (Arif et al., 2022). Sistem irigasi bawah permukaan *pocket fertigation* merupakan pengembangan dari sistem irigasi cincin (Reskiana et al., 2014), dimana air akan diberikan secara bersamaan dengan pupuk menuju ke daerah perakaran tanaman (Poerwanto & Susila, 2014) melalui sebuah *pocket*, guna memenuhi kebutuhan air bagi tanaman secara efisien dan menghindari kehilangan air akibat perkolasi (Imanudin & Prayitno, 2015).

Selama masa pertumbuhan hingga panen, jumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman dapat diketahui melalui konsep *water footprint* (jejak air) yang diperkenalkan oleh Hoekstra pada tahun 2002, meliputi penggunaan air hujan (*green water footprint*), penggunaan air permukaan atau air tanah (*blue water footprint*), dan penggunaan air untuk menangani polutan yang dihasilkan dari budidaya tersebut (*grey water footprint*) (Hoekstra et al., 2009). Dengan menggunakan konsep *water footprint*, jumlah air yang efisien yang digunakan untuk budidaya tanaman pakcoy dapat diketahui dan diharapkan dapat berguna untuk perkembangan budidaya pakcoy ke depannya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan dalam menentukan dan menganalisis nilai *water footprint* pada budidaya pakcoy dengan sistem irigasi *pocket fertigation* dengan berbagai skenario, serta menentukan sistem irigasi yang paling optimal dengan efisiensi irigasi tertinggi. Dengan hasil penelitian ini diharapkan didapatkan teknologi irigasi yang lebih murah dan hemat air serta dapat menjaga produk yang dihasilkan.

2 METODOLOGI

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan April hingga Juni 2022. Pengambilan data penelitian dilakukan di Kinjiro Farm, Jalan Hegarmanah IV, RT.01, RW.08, Kelurahan Gunungbatu, Kecamatan Bogor Barat, Kota Bogor, Jawa Barat. Penelitian dilakukan di sebuah lahan yang ditanami pakcoy dengan sistem irigasi bawah permukaan *pocket fertigation*.

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi stasiun cuaca, *data logger*, sensor kelembaban tanah EC-5 sebanyak 4 buah, panci evaporasi yang dilengkapi meteran air, ember plastik sebagai wadah pot tanaman sebanyak 40 buah, dan *pocket fertigation* sebanyak 20 buah yang terbuat dari selang yang dilubangi dan botol plastik bekas sebagai *pocket* atau tampungan air sementara, teko ukur berukuran 500 mL dan 1000 mL, timbangan digital, serta penggaris untuk

mengukur tinggi tanaman. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi benih pakcoy, media tanam siap pakai, pupuk kandang, pupuk KCL, pupuk TSP, pupuk NPK, dan air irigasi. Selain itu, terdapat pula beberapa program yang digunakan meliputi *Microsoft Word*, *Microsoft Excel*, *SketchUp*, dan aplikasi *ECH2O Utility*. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer yang meliputi data kelembaban tanah, jumlah air irigasi yang diberikan, pupuk yang digunakan, hasil panen, curah hujan, suhu, dan radiasi matahari.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi kegiatan studi literatur terlebih dahulu mengenai budidaya kedelai pakcoy dan sistem irigasi bawah permukaan *pocket fertigation*. Selanjutnya, dilakukan kegiatan budidaya kedelai pakcoy meliputi persiapan lahan, penyemaian, penanaman benih pakcoy, pemeliharaan tanaman, dan panen. Selama pemeliharaan tanaman hingga panen, dilakukan pengumpulan data primer dan sekunder. Setelah itu, penelitian dilanjutkan dengan pengolahan data yang telah terkumpul untuk mendapatkan nilai *water footprint* dan pengaruh penggunaan sistem irigasi terhadap pertumbuhan pakcoy.

3.1.1 Desain Experiment

Penelitian dilakukan pada lahan seluas 4 meter x 5 meter. Rancangan budidaya tanaman pakcoy dapat dilihat pada Gambar 1. Wadah media tanam yang digunakan terdiri dari 40 buah pot yang terbuat dari ember plastik berukuran diameter 26 cm dan tinggi 20 cm. Wadah pot disusun ke dalam 4 baris dimana setiap potnya, dipersiapkan 3 bibit tanaman pakcoy sebagai sampel. Adapun setiap baris tanaman memiliki perlakuan yang berbeda yang meliputi:

- 1 Skenario 1: P1A1 (sistem irigasi *pocket fertigation*, pemberian irigasi 1x evaporasi).
- 2 Skenario 2: P2A1 (sistem irigasi konvensional, pemberian irigasi 1x evaporasi).
- 3 Skenario 3: P1A2 (sistem irigasi *pocket fertigation*, pemberian irigasi 2x evaporasi).
- 4 Skenario 4: P2A2 (sistem irigasi konvensional, pemberian irigasi 2x evaporasi).

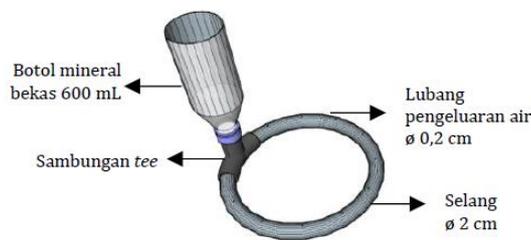
Pocket fertigation yang akan digunakan memiliki ukuran yang menyesuaikan diameter wadah pot dengan diameter selang berukuran 2 cm yang dilengkapi lubang-lubang kecil di sekitar selang sebagai tempat pengeluaran air irigasi dengan diameter 2 mm (Gambar 2). Desain *pocket fertigation* dapat dilihat pada. Media tanam yang digunakan merupakan campuran antara tanah dan media tanam siap pakai yang terbuat dari arang sekam dan kompos. Pecampuran dan pengolahan media tanam dilakukan menggunakan sekop agar media tanam menjadi gembur. Selain itu, dilakukan

pula pemupukan dasar pada media tanam dengan dosis meliputi 10 ton/ha pupuk kandang, 100 kg/ha pupuk TSP, dan 75 kg/ha pupuk KCl (Susilo 2016). Dilakukan

pula penanaman sensor kelembaban tanah EC-5 pada setiap perlakuan, masing-masing sebanyak 1 sensor pada kedalaman 5 cm dari permukaan tanah.



Gambar 1. Rancangan percobaan *pocket fertigation* untuk tanaman pakcoy.



Gambar 2. Rancangan detail *pocket fertigation*

3.1.2 Penentuan *Water Footprint* dan Parameter Lain

1 Kebutuhan air tanaman

Kebutuhan air tanaman dapat diketahui dari nilai evapotranspirasi tanaman (E_{tc}) yang dipengaruhi evapotranspirasi potensial (E_{to}) dan koefisien tanaman (K_c) (Yuliatwati, 2014). Nilai K_c ditentukan dapat ditentukan dari beberapa sumber, diantaranya dari standard FAO (Allen et al., 1998) ataupun dengan metode optimasi dari neraca air (Arif et al., 2012). Evapotranspirasi potensial dapat diketahui nilainya dengan menggunakan berbagai model, salah satunya model Hargreaves yang hanya menggunakan 2 parameter cuaca meliputi suhu udara rata-rata dan radiasi matahari (Arif et al., 2020). Menurut (Wu, 1997), perhitungan evapotranspirasi potensial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E_{to} = 0.0135(T_{mean} + 17.78)R_s \left(\frac{238.8}{595.58 - 0.55T_{mean}} \right) \dots \dots \dots (1)$$

dimana, E_{to} adalah evapotranspirasi potensial (mm/hari), T_{mean} merupakan suhu udara rata-rata ($^{\circ}C$) dan R_s merepresentasikan radiasi matahari ($MJ/m^2/hari$).

Nilai koefisien tanaman bergantung kepada jenis tanaman yang itu sendiri. Beberapa

penelitian menunjukkan nilai koefisien tanaman yang berbeda-beda yang dapat dipengaruhi lokasi budidaya dan cuaca setempat (Yuliatwati, 2014). Perhitungan evapotranspirasi tanaman berdasarkan nilai koefisien tanaman dan evapotranspirasi potensial dapat dilihat pada persamaan berikut (Khairunnisak et al., 2017).

$$E_{tc} = K_c E_{to} \dots \dots \dots (2)$$

dimana, E_{tc} adalah evapotranspirasi tanaman (mm/hari), K_c merupakan koefisien tanaman, dan E_{to} merepresentasikan evapotranspirasi potensial (mm/hari)

2 Kebutuhan air irigasi

Pemberian air irigasi dilakukan berdasarkan tingkat evaporasi harian yang terjadi yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$I = \frac{EL_{pot}}{1000} \dots \dots \dots (3)$$

dimana, I adalah irigasi (mL), E merupakan evaporasi (mm), dan L_{pot} merepresentasikan luas pot (mm^3)

3 Produktivitas air

Produktivitas air dalam hal irigasi menunjukkan rasio hasil produksi tanaman terhadap banyaknya penggunaan air untuk irigasi selama masa pertumbuhan tanaman hingga panen.

(Farida et al., 2019). Berdasarkan (Bouman et al., 2005), produktivitas air dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut (Arif et al., 2019).

$$WP_{IR} = \frac{Y}{\sum P+I} \dots\dots\dots (4)$$

dimana, WP_{IR} adalah produktivitas air (g panen/kg air), Y merupakan *crop yield* atau hasil panen (ton/ha), P yaitu presipitasi atau curah hujan (mm), dan I adalah irigasi (mm)

4 *Water footprint*

Menurut (Hoekstra et al., 2009), water footprint merupakan jumlah total air tawar yang dipakai dalam menghasilkan suatu produk, dalam hal ini adalah produksi kedelai pakcoy. *Water footprint* terdiri dari 3 komponen yang meliputi *green water footprint* yang menunjukkan jumlah air hujan yang tersimpan di dalam tanah dan digunakan oleh tanaman, *blue water footprint* yang menunjukkan jumlah air yang menguap yang berasal dari air permukaan maupun air tanah sebagai air irigasi, dan *grey water footprint* yang menunjukkan jumlah air yang digunakan untuk mengurangi polusi atau beban pencemaran akibat produksi pakcoy. *Water footprint* dinyatakan dalam satuan volume air per unit produk, yaitu m³/ton yang setara dengan liter/kg. Perhitungan nilai *water footprint* dalam budidaya pakcoy dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$WF = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{grey} \dots\dots\dots (5)$$

dimana, WF adalah *water footprint* (m³/ton), WF_{green} merupakan *green water footprint* (m³/ton), WF_{blue} adalah *blue water footprint* (m³/ton), WF_{grey} merepresentasikan *grey water footprint* (m³/ton)

3.1.3 Uji Statistika

Analisis data yang dilakukan meliputi analisis data kebutuhan air tanaman, pemberian irigasi, kondisi kelembaban tanah, pertumbuhan tanaman, hasil panen, produktivitas air, dan nilai *water footprint* berdasarkan pengumpulan dan pengolahan data. Pada data pertumbuhan tanaman (tinggi tanaman dan jumlah daun) serta hasil panen 35 hari setelah tanam (HST), dilakukan analisis data dengan menggunakan metode analisis varians dua arah (*two way anova*) untuk mengetahui perbedaan atau signifikansi hasil pertumbuhan tanaman dan hasil panen berdasarkan skenario irigasi yang telah dirancang. Terdapat pula dua uji prasyarat yang perlu dilakukan sebelum pengujian Anova, meliputi uji normalitas dan uji homogenitas (Usmadi, 2020). Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov*, sedangkan uji homogenitas dilakukan dengan metode *Bartlet* pada taraf signifikansi $\alpha = 0.05$.

3.2 Kebutuhan Air Tanaman

Kebutuhan air bagi tanaman diperoleh berdasarkan nilai evapotranspirasi potensial (ET_o) dan koefisien tanaman (K_c) (Khairunnisak et al., 2017). Nilai evapotranspirasi potensial dicari dengan menggunakan metode *Hargreaves* yang dipengaruhi dua parameter, yaitu temperatur udara rata-rata dan radiasi matahari. Kedua data tersebut diperoleh berdasarkan data stasiun cuaca setempat yang berada di *Kinjiro Farm*. Adapun data koefisien tanaman pakcoy diperoleh berdasarkan literatur oleh (Rahmadhani et al., 2018). Hasil perhitungan kebutuhan air tanaman dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan air tanaman selama satu musim tanam

MST*	Tmean (°C)	Rs (MJ/m ² /minggu)	ET _o (mm/minggu)	K _c	ET _c (mm/minggu)
1	26.52	91.07	18.73	0.44	8.24
2	27.91	84.48	22.33	0.44	9.83
3	27.66	84.89	21.75	0.44	8.85
4	26.50	73.25	17.86	0.33	5.36
5	25.89	51.85	14.70	0.03	4.41
Total			95.36		36.68

*Minggu setelah tanam

Fase pertumbuhan tanaman pakcoy terdiri dari fase *initial stage* (awal), fase *mid-season* (tengah), dan fase *late-season* (akhir). Pada penelitian ini, kebutuhan air tanaman dihitung pada fase tengah dan fase akhir pertumbuhan. Nilai koefisien tanaman yang didapatkan dari data literatur terdiri dari fase tengah pertumbuhan sebesar 0.44 dan fase akhir pertumbuhan sebesar 0.30 (Rahmadhani et al., 2018). Berdasarkan hasil perhitungan antara evapotranspirasi potensial dan koefisien tanaman, maka didapatkan nilai kebutuhan air tanaman (ET_c) dengan total 36.68 mm. Rata-rata

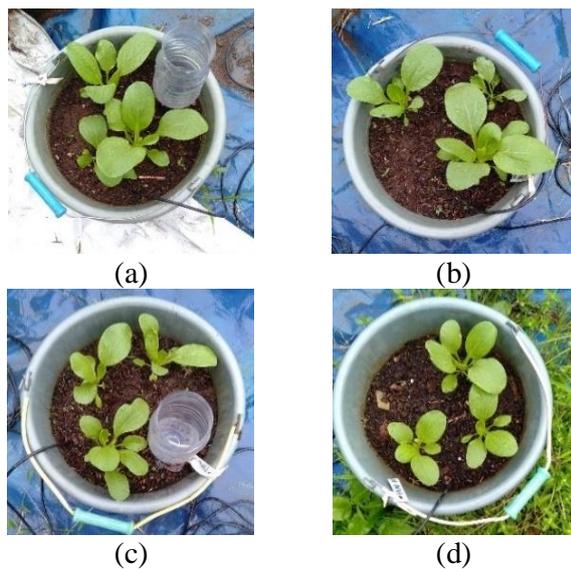
evapotranspirasi tanaman pada fase tengah sebesar 1.27 mm/hari dan fase akhir sebesar 0.75 mm/hari.

Kebutuhan air tanaman pada fase tengah pertumbuhan lebih besar dibandingkan kebutuhan air pada fase akhir pertumbuhan. Hal ini dapat terjadi karena pada fase tengah pertumbuhan, tanaman mengalami pertumbuhan secara maksimal dengan pembentukan daun-daun baru, sehingga semakin banyak air yang dibutuhkan oleh tanaman. Selain itu, proses transpirasi dari tanaman juga akan semakin besar akibat luas daun yang terus bertambah. Berbeda

pada fase akhir pertumbuhan, dimana sel-sel daun pada tanaman sudah mulai berhenti beraktivitas sehingga kebutuhan air tanaman akan menurun (Rahmadhani et al., 2018)

3.3 Pemberian Irigasi

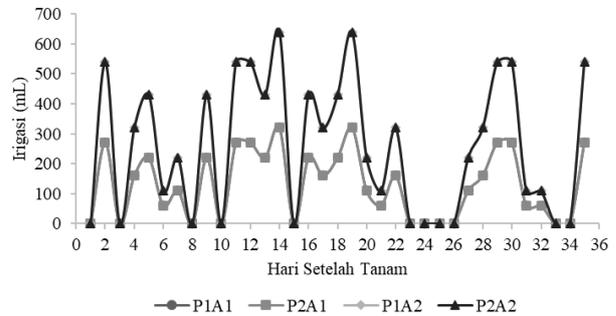
Penggunaan sistem irigasi *pocket fertigation* dan sistem irigasi konvensional dapat dilihat pada Gambar 3. Pada sistem irigasi *pocket fertigation*, air irigasi diberikan melalui sebuah *pocket*, sedangkan pada sistem irigasi konvensional, air irigasi diberikan di sekitar tanaman secara langsung. Jumlah air irigasi yang diberikan bergantung pada tingkat evaporasi harian yang terjadi berdasarkan pembacaan tinggi muka air di panci evaporasi yang mengalami kenaikan atau penurunan tinggi muka air. Penurunan tinggi muka air pada panci evaporasi menunjukkan bahwa proses evaporasi telah terjadi, dimana air berubah bentuk menjadi gas yang disebabkan oleh berbagai faktor, meliputi suhu udara, radiasi matahari, kecepatan angin, tekanan atmosfer, lokasi geografis, musim, dan lainnya (Morton, 1968).



Gambar 3 (a) P1A1, (b) P2A1, (c) P1A2, dan (d) P2A2

Tingkat evaporasi harian yang telah tercatat dikalikan dengan luas pot tanaman sehingga menghasilkan volume air irigasi yang harus diberikan berbeda-beda. Gambar 4 menunjukkan jumlah irigasi harian yang diberikan pada masing-masing skenario selama 35 HST. Tingkat evaporasi selama 35 HST cukup beragam, berkisar antara 0-6 mm/hari. Semakin besar tingkat evaporasi terjadi, maka semakin besar pula volume irigasi yang perlu diberikan. Volume irigasi tertinggi terjadi pada 14 HST dan 19 HST yang memiliki tingkat evaporasi tertinggi dengan volume irigasi sebesar 320 mL pada skenario P1A1 dan P2A1, serta 640 mL pada skenario P1A2 dan P2A2. dua parameter, yaitu temperatur udara rata-rata dan radiasi matahari. Kedua data tersebut diperoleh berdasarkan

data stasiun cuaca setempat yang berada di Kinjiro Farm. Adapun data koefisien tanaman pakcoy diperoleh berdasarkan literatur oleh (Rahmadhani et al., 2018). Hasil perhitungan kebutuhan air tanaman dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 4. Jumlah pemberian irigasi pada berbagai sistem irigasi

Terdapat pula volume irigasi yang diberikan sebesar 0 mL/hari seperti yang terjadi pada 1 HST, 3 HST, 8 HST, 10 HST, 15 HST, 23-26 HST, dan 33-34 HST akibat tingkat evaporasi yang terjadi sebesar 0 mm. Tingkat evaporasi sebesar 0 mm/hari menunjukkan terjadinya kenaikan tinggi muka air pada panci evaporasi akibat masukan air dari luar berupa curah hujan, sehingga curah hujan menjadi faktor yang paling mempengaruhi besarnya volume irigasi yang diberikan. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Linsley & Franzini, 1985), bahwa curah hujan merupakan salah satu hal yang mempengaruhi besarnya ketersediaan air irigasi. Semakin tinggi tingkat curah hujan yang terjadi, maka semakin kecil volume irigasi yang perlu diberikan. Curah hujan yang terjadi dianggap sudah dapat memenuhi kebutuhan air bagi tanaman. Hal ini menyebabkan tidak diperlukannya pemberian irigasi pada hari-hari tersebut.

Tabel 2. Jumlah irigasi pada setiap sistem irigasi setiap minggu

MST	Pemberian irigasi (mL/minggu)			
	P1A1	P2A1	P1A2	P2A2
1	820	820	1620	1620
2	1300	1300	2580	2580
3	1250	1250	2470	2470
4	540	540	1080	1080
5	660	660	1300	1300
Total	4570	4570	9050	9050

Jumlah pemberian irigasi mingguan selama 5 MST (35 HST) dapat dilihat pada Tabel 2. Volume irigasi tertinggi terjadi pada 2 MST sebesar 1300 mL/minggu pada skenario pemberian irigasi 1 kali evaporasi dan 2580 mL pada skenario pemberian irigasi 2 kali evaporasi. Volume irigasi terendah terjadi

pada 4 MST sebesar 540 mL/minggu pada skenario pemberian irigasi 1 kali evaporasi dan 1080 mL pada skenario pemberian irigasi 2 kali evaporasi. Hal ini sebanding dengan curah hujan dengan nilai tertinggi dibandingkan minggu-minggu lainnya, yaitu sebesar 74 mm/minggu, yang berdampak pada semakin kecilnya volume irigasi. Total air irigasi yang diberikan selama 35 HST pada skenario P1A1 dan P2A1 ialah sebesar 4570 mL, sedangkan total air irigasi pada skenario P1A2 dan P2A2 sebesar 9050 mL.

3.4 Hasil panen

Pengambilan hasil panen tanaman pakcoy dilakukan dengan mengambil keseluruhan tanaman dari akar hingga pucuk daun, kemudian memisahkan tajuk tanaman dengan batang dan akarnya. Berat keseluruhan tanaman dan berat tajuk tanaman kemudian ditimbang beratnya menggunakan timbangan digital. Pengambilan bagian tajuk tanaman dilakukan karena bagian tersebut merupakan bagian tanaman pakcoy yang dapat dikonsumsi. Hasil panen pada masing-masing skenario dapat dilihat pada Gambar 5.

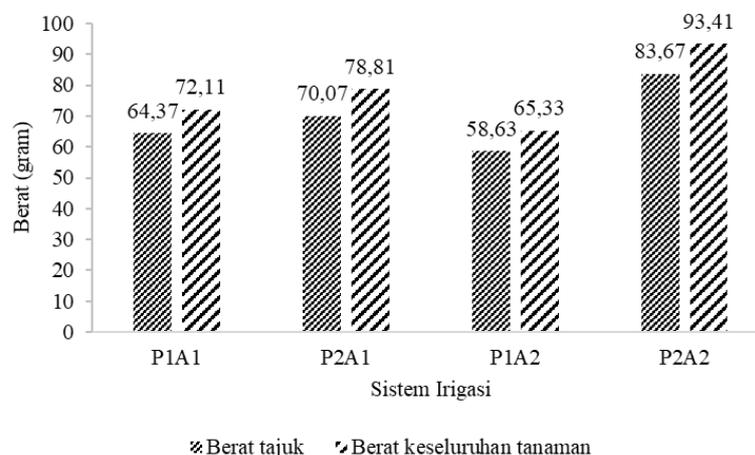
Berdasarkan faktor penggunaan sistem irigasi *pocket fertigation*, skenario P1A1 memiliki hasil panen yang lebih unggul dibandingkan P1A2, sedangkan berdasarkan penggunaan sistem irigasi konvensional, skenario P2A2 memberikan dampak yang lebih baik dibandingkan skenario P2A1. Jika dibandingkan dengan keseluruhan skenario, skenario P2A2 memiliki hasil panen terbesar dengan berat tajuk dan berat keseluruhan tanaman berturut-turut sebesar 83.67 g dan 93.41 g. Adapun hasil panen terendah terjadi pada skenario P1A2 dengan berat tajuk dan berat keseluruhan tanaman berturut-turut sebesar 58.63 g dan 65.33 g.

Berdasarkan hasil uji normalitas Kolmogorov-Smirnov, nilai D_{hitung} lebih kecil daripada D_{tabel} ($0.041 < 0.098$ dan $0.040 < 0.098$), sehingga dapat dikatakan sebaran data terdistribusi dengan normal. Pada hasil uji homogenitas Bartlett data berat tajuk tanaman dan

berat keseluruhan tanaman dalam Tabel 3, χ^2_{hitung} lebih kecil daripada χ^2_{tabel} ($4.92 < 7.81$ dan $5.76 < 7.81$). Hal ini menunjukkan bahwa data homogen.

Selanjutnya hasil analisis varians dua arah pada berat tajuk dan berat keseluruhan tanaman dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai F atau F_{hitung} pada faktor banyaknya air irigasi memiliki nilai yang lebih kecil daripada F_{crit} atau F_{tabel} , sehingga data tidak berbeda nyata. Hal yang sama terjadi pada interaksi antara banyaknya pemberian air irigasi dan sistem irigasi yang digunakan, dimana interaksi antara keduanya tidak memberikan pengaruh atau perbedaan yang signifikan terhadap hasil panen. Sebaliknya, terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil berat tajuk dan berat keseluruhan tanaman akibat faktor sistem irigasi yang digunakan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai F atau F_{hitung} yang lebih besar daripada nilai F_{crit} atau F_{tabel} pada sistem irigasi ($7.09 > 3.92$ dan $8.17 > 3.92$), sehingga dapat dikatakan bahwa penggunaan sistem irigasi yang berbeda dapat mempengaruhi hasil panen.

Hasil panen yang lebih baik pada sistem irigasi konvensional daripada sistem irigasi *pocket fertigation* dapat terjadi akibat masalah penyumbatan pada emitter cincin pada *pocket fertigation*, dimana pupuk NPK mengalami sedimentasi dan menghambat lubang pengeluaran air dan pupuk. Hal ini berdampak pada berkurangnya nutrisi dari pupuk yang seharusnya dapat terdistribusi dengan baik di daerah zona perakaran tanaman (Arif et al., 2022). NPK mengandung unsur hara yang berperan penting dalam merangsang pertumbuhan tanaman. Unsur N (nitrogen) berperan dalam proses pembentukan klorofil (D Enjellina, 2021), mengandung komponen penyusun asam amino, protein, dan enzim, sedangkan unsur P (fosfor) berperan dalam proses metabolisme, fotosintesis, dan respirasi. Unsur K (kalium) berperan dalam reaksi fotosintesis dan respirasi sebagai aktivator enzim, serta mengatur turgor sel (Lakitan, 2008). Apabila tanaman kekurangan unsur hara tersebut, maka pertumbuhan tanaman akan terhambat.



Gambar 5 Hasil panen pakcoy

Tabel 3. Hasil uji anova dua arah pada hasil panen

Sumber Variasi	Berat Tajuk					
	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sistem irigasi	5109.07	1	5109.07	7.09	0.01	3.92
Banyaknya irigasi	185.01	1	185.01	0.26	0.61	3.92
Interaksi	1591.41	1	1591.41	2.21	0.14	3.92
Galat	83538.10	116	720.16			
Total	90423.59	119				
	Berat Keseluruhan Tanaman					
Sistem irigasi	6825.21	1	6825.21	8.17	0.01	3.92
Banyaknya irigasi	175.21	1	175.21	0.21	0.65	3.92
Interaksi	2025.41	1	2025.41	2.43	0.12	3.92
Galat	96860.50	116	835.00			
Total	105886.33	119				

Pada penelitian ini, hasil panen terbaik berdasarkan faktor banyaknya air irigasi yang diberikan terdapat pada skenario P2A2 dengan pemberian irigasi sebanyak 2 kali evaporasi. Pemberian air yang lebih banyak dapat meningkatkan kadar air yang dibutuhkan tanaman sehingga semakin tinggi pula proses pertumbuhan dan produksinya, karena komponen utama tanaman hijau merupakan kadar air sebesar 70-90% dari total berat segar tanaman (Yulina & Ambarsari, 2021). Selain itu, kandungan air yang semakin tinggi dapat meningkatkan perkembangan akar dan penyerapan unsur hara yang lebih baik (Triana et al., 2018), dan berimplikasi pula pada kandungan air tanaman yang semakin tinggi sehingga berat panen juga semakin tinggi (Kartasapoetra, 2004). Hal ini berbanding lurus dengan rata-rata kelembaban tanah tertinggi terjadi pada skenario P2A2 sebesar 0.406 m³/m³ yang memiliki hasil panen tertinggi, sedangkan rata-rata kelembaban tanah terendah terjadi pada skenario P1A1 sebesar 0.128 m³/m³. Menurut (Reskiana et al., 2014), pemberian air yang semakin sedikit menyebabkan tanaman kekurangan air dan dapat mengalami stres, sehingga pertumbuhan tanaman terhambat dan menjadi kerdil.

3.5 Produktivitas Air

Produktivitas tanaman menunjukkan perbandingan antara total hasil panen dengan jumlah air yang digunakan selama masa pertumbuhan tanaman meliputi penggunaan air irigasi dan air hujan. Semakin tinggi hasil panen, dan semakin rendah jumlah air yang digunakan, maka produktivitas air akan semakin tinggi. Hasil perhitungan produktivitas air dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan hasil perhitungan produktivitas

air dari total air yang terevaporasi dan tertranspirasi, produktivitas air tertinggi terjadi pada skenario P2A1 sebesar 11.98 g pakcoy/L air, sedangkan produktivitas air terendah terjadi pada skenario P1A2 sebesar 8.19 g pakcoy/L air.

Tabel 4. Produktivitas air pada berbagai sistem irigasi

Sistem Irigasi	Total panen (g)	P (L)	I (L)	WP IR (g /L air)
P1A1	1987	134.58	45.70	11.02
P2A1	2160	134.58	45.70	11.98
P1A2	1843	134.58	90.50	8.19
P2A2	2453	134.58	90.50	10.90

Tingginya produktivitas air pada skenario P2A1 dapat disebabkan karena hasil panen yang cukup tinggi, walaupun hasil panen terbesar terjadi pada skenario P2A2. Selain itu, penggunaan air irigasi skenario P2A1 lebih rendah sebesar 1 kali evaporasi saja dibandingkan penggunaan air irigasi pada skenario P2A2 sebesar 2 kali evaporasi. Pemberian air irigasi yang lebih rendah dan hasil panen yang tinggi berdampak pada produktivitas air yang semakin tinggi seperti yang terjadi pada skenario P2A1, sebaliknya pemberian air irigasi yang lebih banyak dan hasil panen yang lebih rendah berdampak pada produktivitas air yang semakin rendah pula seperti yang terjadi pada skenario P1A2. Produktivitas air yang rendah menunjukkan bahwa air yang diberikan tidak terserap dengan baik oleh tanaman pada media tanam yang dapat dipengaruhi oleh penguapan yang tinggi, perkolasi, dan aliran permukaan (Triana et al., 2018).

Tabel 5. *Water footprint* pada berbagai sistem irigasi

Sistem Irigasi	Hasil Panen (ton/ha)	WF _{green} (m ³ /ton)	WF _{blue} (m ³ /ton)	WF _{grey} (m ³ /ton)	Total WF (m ³ /ton)
P1A1	37.44	3.66	23.00	225.06	251.72
P2A1	40.70	3.37	21.16	207.03	231.56
P1A2	34.73	3.95	49.10	242.64	295.69
P2A2	46.23	2.97	36.89	182.30	222.16

3.6 Water Footprint

Nilai jejak air (*water footprint*) yang digunakan selama masa pertumbuhan tanaman pakcoy diperoleh berdasarkan total *green water footprint*, *blue water footprint*, dan *grey water footprint*. *Green water footprint* merupakan total penggunaan air hujan yang dimanfaatkan oleh tanaman, dan didapatkan dengan mencari nilai minimum antara nilai evapotranspirasi tanaman dengan curah hujan yang terjadi. Lain halnya dengan *blue water footprint* yang merupakan total penggunaan air irigasi, sedangkan *grey water footprint* menunjukkan total penggunaan air yang dibutuhkan untuk mengencerkan polutan akibat penggunaan pupuk atau bahan kimia lainnya selama masa pertumbuhan tanaman (Hoekstra et al., 2009).

Jumlah keseluruhan *water footprint* pada keseluruhan skenario dapat dilihat pada Tabel 5. Nilai *water footprint* skenario P1A1, P2A1, P1A2, dan P2A2 secara berturut-turut sebesar 251.72 m³/ton, 231.56 m³/ton, 295.69 m³/ton, dan 222.16 m³/ton. Skenario P2A2 memiliki total jejak air paling rendah dibandingkan skenario lainnya, sehingga penggunaan sistem irigasi konvensional dengan 2 kali evaporasi lebih efisien daripada skenario lainnya. Dibandingkan dengan *water footprint* sayuran di dataran selatan Hebei, China sebesar 183.6 m³/ton (Chu et al., 2017), total *water footprint* pakcoy ini masih lebih besar, namun masih lebih kecil nilainya dibandingkan dengan *water footprint* rata-rata sayuran secara global sebesar 322 m³/ton (Mekonnen & Hoekstra, 2012).

4 KESIMPULAN

Nilai jumlah keseluruhan *water footprint* pada skenario P1A1, P2A1, P1A2, dan P2A2 secara berturut-turut sebesar 251.72 m³/ton, 231.56 m³/ton, 295.69 m³/ton, dan 222.16 m³/ton. Produktivitas air tertinggi terjadi pada skenario P2A1 berupa sistem irigasi konvensional dengan pemberian irigasi 1 kali evaporasi sebesar 3.52 g/L. Penggunaan sistem irigasi yang berbeda mempengaruhi hasil panen secara signifikan dengan hasil panen terbaik dihasilkan pada sistem irigasi konvensional. Sistem irigasi *pocket fertigation* masih kurang efisien untuk diaplikasikan dengan hasil panen yang lebih rendah, produktivitas air yang lebih rendah, dan *water footprint* yang lebih tinggi daripada sistem irigasi konvensional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai dari kegiatan penelitian dengan skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi dengan judul “Pengembangan *Smart Evaporative Irrigation* untuk Pertanian Presisi yang Ramah Lingkungan Berbasis Kecerdasan Buatan” dari tahun 2020-2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggriani, Y. (2020). Pengaruh jarak penetes irigasi bawah permukaan (subsurface irrigation) terhadap budidaya bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) pertanian bertingkat [Skripsi]. In *Skripsi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Arif, C., Setiawan, B. I., Saputra, S. F. D., & Mizoguchi, M. (2019). Water balance analysis on water management of organic System of Rice Intensification (organic-SRI) in West Java, Indonesia. *Jurnal Irigasi*, 14(1), 17–24. <https://doi.org/10.31028/ji.v14.i1.17-24>
- Arif, C., Setiawan, B. I., & Sofiyuddin, H. A. (2020). Analisis evapotranspirasi potensial pada berbagai model empiris dan jaringan syaraf tiruan dengan data cuaca terbatas. *Jurnal Irigasi*, 15(2), 71–84. <https://doi.org/10.31028/ji.v15.i2.71-84>
- Arif, C., Wibisono, Y., Dwi, B., Nugroho, A., Fauzi, S., Saputra, D., Malik, A., Setiawan, B. I., Mizoguchi, M., & Ardiansyah, A. (2022). Functional design of pocket fertigation under specific microclimate and irrigation rates: A preliminary study. *Agronomy*, 12(1362), 1–15.
- Badan Pusat Statistika. (2020). *Produksi Tanaman Buah-Buahan*. <https://www.bps.go.id/indicator/55/62/1/produksi-tanaman-buah-buahan.html>
- Bouman, B. A. M., Peng, S., Castañeda, A. R., & Visperas, R. M. (2005). Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management*, 74(2), 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.11.007>
- Chu, Y., Shen, Y., & Yuan, Z. (2017). Water footprint of crop production for different crop structures in the Hebei southern plain, North China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(6), 3061–3069. <https://doi.org/10.5194/hess-21-3061-2017>
- D Enjellina, D. (2021). Pengaruh durasi dan jeda sistem irigasi tetes terhadap pertumbuhan dan hasil sawi pakcoy (*Brassica rapa* L. Ssp. *Chinensis*). *Jurnal AGRIFOR*, 20(2), 311–324.
- Farida, F., Dasrizal, D., & Febriani, T. (2019). Review: Produktivitas air dalam pengelolaan sumber daya air pertanian di Indonesia. *Jurnal Spasial*, 5(3), 65–72. <https://doi.org/10.22202/js.v5i3.3161>

- Ginting, E. S. (2020). *Pertumbuhan dan produksi pakcoy (Brassica rapa L.) pada kombinasi media tanam kompos kotoran kambing dan arang sekam serta pemberian pupuk organik cair [Skripsi]*. Universitas Pembangunan Pasca Budi.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2009). Water Footprint Manual. In *State of the Art*. Water Footprint Network.
- Imanudin, M. S., & Prayitno. (2015). Pengembangan irigasi bawah tanah untuk irigasi mikro melalui metoda kapilaritas tanah. *Prosiding Seminar Nasional Swasembada Pangan*, 376–381.
- Kartasapoetra, A. G. (2004). *Klimatologi: Pengaruh Iklim Terhadap Tanah dan Tanaman*. Bumi Aksara.
- Khairunnisak, K., Devianti, D., & Mustafiril, M. (2017). Kajian aplikasi alat penyiraman otomatis dengan sistem irigasi tetes berbasis perubahan kadar air tanah pada tanaman pakcoy (*Brassica chinensis L.*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 2(3), 294–307. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v2i3.3709>
- Lakitan, B. (2008). *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. PT. Raja Grafindo Persada.
- Linsley, R. K., & Franzini, J. B. (1985). *Teknik Sumberdaya Air Jilid II*. Erlangga.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>
- Morton, F. I. (1968). *Evaporation and Climate: A Study in Cause and Effect, Scientific Series no. 4*. Department of Energy, Mines and Resources.
- Negara, I. D. G. J., Harianto, B., Supriyadi, A., & Suroso, A. (2023). Aplikasi irigasi tetes bertingkat dengan tanaman cabe di perumahan padat penduduk Kota Mataram Hulu. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.22225/pd.12.1.5882.66-75>
- Poerwanto, R., & Susila, A. D. (2014). *Teknologi Hortikultura*. IPB Press.
- Rahmadhani, N., Sumono, & Sari, D. (2018). Penentuan nilai koefisien tanaman dari beberapa spesies tanaman hortikultura pada tanah inceptisol dengan pembenah kompos. *Jurnal Rekayasa Pangan Dan Pertanian*, 6(2), 394–401.
- Reskiana, Setiawan, B. I., Saptomo, S. K., & Mustatiningsih, P. R. D. (2014). Uji kinerja emiter cincin. *Jurnal Irigasi*, 9(1), 63–74. <https://doi.org/10.31028/ji.v9.i1.63-74>
- Rizal, S. (2017). Pengaruh nutrisi terhadap pertumbuhan tanaman sawi pakcoy (*Brassicca rapa L.*) yang di tanam secara hidroponik. *Sainmatika*, 14(1), 38–44.
- Sarido, L., & Junia. (2017). Uji pertumbuhan dan hasil tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) dengan pemberian pupuk organik cair pada system hidroponik. *Jurnal AGRIFOR*, 26(1), 65–74.
- Triana, A. N., Purnomo, R. H., Tamaria Panggabean, T., & Juwita, R. (2018). Aplikasi irigasi tetes (drip irrigation) dengan berbagai media tanam pada tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*). *Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP)*, 5(1), 1–20.
- Usmadi. (2020). Pengujian Persyaratan Analisis (Uji Homogenitas Dan Uji Normalitas). *Inovasi Pendidikan*, 7(1), 50–62. <https://doi.org/10.31869/ip.v7i1.2281>
- Wu, I. (1997). *A Simple Evapotranspiration Model for Hawaii: The Hargreaves Model*. University of Hawaii.
- Yulianiwati, T. (2014). Pendugaan kebutuhan air tanaman dan nilai koefisien tanaman (kc) kedelai (*Glycine max (L) Merrill*) varietas Tanggamus dengan metode lysimeter. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 3(3), 233–238.
- Yulina, H., & Ambarsari, W. (2021). Hubungan kadar air dan bobot isi tanah terhadap berat panen tanaman pakcoy pada kombinasi kompos sampah kota dan pupuk kandang sapi. *Jurnal AgroTatanen*, 3(2), 1–6.