

MODEL OTOMATISASI IRIGASI BERDASARKAN MEKANISME EVAPOTRANSPIRASI UNTUK BUDIDAYA SAYURAN DALAM POT

RIANI MUHAROMAH



**ILMU KETEKNIKAN PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2021**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Model Otomatisasi Irigasi Berdasarkan Mekanisme Evapotranspirasi untuk Budidaya Sayuran dalam Pot” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2021

Riani Muharomah
F163170088

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

RIANI MUHAROMAH. Model Otomatisasi Irigasi Berdasarkan Mekanisme Evapotranspirasi untuk Budidaya Sayuran dalam Pot. Dibimbing oleh BUDI INDRA SETIAWAN, MOHAMMAD YANUAR JARWADI PURWANTO dan LIYANTONO.

Salah satu sistem irigasi yang relatif baru adalah irigasi evaporatif. Irigasi evaporatif merupakan konsep pengendalian air irigasi yang didasarkan pada respon tanaman yang diwakili oleh laju evaporasi dan evapotranspirasi. Metode perhitungan neraca air dapat digunakan untuk penjadwalan irigasi dengan memantau evapotranspirasi tanaman. Penjadwalan irigasi dengan penerapan air untuk tanaman dalam jumlah yang tepat dan pada waktu yang tepat dapat menghasilkan produktivitas air yang optimal. Produktivitas air merupakan indikator penting untuk mengetahui seberapa besar nilai ekonomis dari air irigasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang model otomatisasi irigasi untuk budidaya sayuran dalam pot dengan sistem irigasi evapotranspiratif di dalam dan di luar rumah tanaman. Penelitian dilakukan dengan mengembangkan teknologi irigasi otomatis yang dikontrol oleh stopkeran pelampung berdasarkan laju evaporasi dan evapotranspirasi tanpa tenaga listrik.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sumber Daya Air, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor selama 2 tahap. Penelitian tahap pertama dilakukan untuk pengamatan kinerja rancangan modifikasi teknologi hidroponik sistem terapung dalam rumah tanaman yang diuji dengan tanaman selada dari 25 April 2018 hingga 30 Mei 2018. Penelitian tahap kedua dilakukan untuk pengujian rancangan sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan di luar rumah tanaman yang diuji dengan tanaman kangkung dari tanggal 10 November 2020 sampai 27 Desember 2020.

Data iklim utama yang diukur pada penelitian ini adalah radiasi matahari, suhu udara, kelembaban relatif, dan curah hujan. Data radiasi matahari dikumpulkan dengan menggunakan sensor Decagon PYR Pyranometer. Data kelembaban relatif dan suhu udara dikumpulkan dengan menggunakan sensor Decagon VP-4. Data curah hujan dikumpulkan dengan menggunakan sensor Decagon ECRN-100 Rain Gauge. Semua data tersebut dikumpulkan dan direkam otomatis menggunakan data logger EM50 dengan interval waktu tiap 5 menit.

Evapotranspirasi potensial dalam penelitian ini dihitung menggunakan model Hargreaves. Pengamatan tinggi muka air dilakukan tiap hari dengan mengukur level muka air dari permukaan tanah. Pengukuran dilakukan secara manual setiap pukul 06.00 pagi dan 18.00 sore. Pengukuran kadar air tanah pada pengamatan sistem irigasi kedua penelitian ini juga dilakukan setiap hari dengan mengambil sampel tanah menggunakan *ring sample* berdiameter 4.8 cm dan tinggi 5.1 cm. Data tinggi muka air dan kadar air tanah tersebut digunakan untuk menghitung volume air dalam sistem pot tanam. Setelah menganalisis komponen-komponen penyusun dari neraca air, akhirnya dapat diturunkan persamaan untuk neraca air pada penelitian ini.

Produktivitas selada yang dihasilkan dengan modifikasi teknologi hidroponik sistem terapung dalam rumah tanaman sebesar 1114.6 g m^{-2} memiliki produktivitas air sebesar $29.58 \text{ g liter}^{-1}$. Koefisien tanaman (K_c) tanaman selada berubah terhadap

waktu membentuk persamaan parabola yang dimulai sebesar 0.7 pada awal tanam kemudian menurun hingga mencapai 0.5 kemudian meningkat menjadi 0.8 pada hari tanam ke-36. Sementara itu, produktivitas air secara fisik (WP_{ETc}) dalam penelitian ini adalah sebesar 12.32 g liter⁻¹ dan produktivitas air irigasi adalah sebesar 1307.34 g liter⁻¹. Produktivitas air secara ekonomis adalah sebesar Rp 9.2/kg. Dengan demikian, produktivitas air ekonomis dalam penelitian ini dapat menghemat sekitar Rp 22.7/kg untuk biaya air irigasi dalam produksi tanaman.

Komponen masukan air pada sistem pot tanam yang terbanyak didominasi oleh curah hujan sebesar 2237.8 liter atau setara dengan 41.56% dari neraca air. Infiltrasi yang terjadi sebesar 857.1 liter atau setara dengan 15.92% berada pada posisi kedua. Komponen irigasi pada neraca air adalah komponen inputan terkecil yang terjadi sebesar 1.9 liter atau setara dengan 0.04%. Sebagai komponen *output* atau keluaran air pada sistem yang terbanyak didominasi oleh *runoff* sebesar 1380.7 liter atau setara dengan 25.64%. Selanjutnya komponen drainase terjadi sebanyak 693.5 liter atau setara dengan 12.88%. Konsumsi air oleh tanaman atau evapotranspirasi aktual adalah sebesar 204.3 liter atau setara dengan 3.79%. Akhirnya komponen-komponen masukan dan keluaran pada neraca air ini mempengaruhi perubahan volume terhadap waktu selama pengamatan sebesar 9.8 liter atau setara dengan 0.18%. Nilai error untuk neraca air ini adalah sebesar 0.861%.

Model irigasi evapotranspiratif bawah permukaan dapat bekerja dan berfungsi dengan baik selama penelitian berlangsung. Sistem otomatisasi irigasi dengan menggunakan stopkeran pelampung yang diterapkan pada model dapat dengan baik menjaga distribusi air irigasi selama masa tanam sehingga dapat mempertahankan tinggi muka air. Model juga dapat dengan baik mendrainase volume kelebihan air yang berada pada pot tanam yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi.

Kata kunci: evapotranspirasi, irigasi evapotranspiratif, neraca air, produktivitas air.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

RIANI MUHAROMAH. Model of Irrigation Automatization Based on Evapotranspiration Mechanism for Vegetable Cultivation in Pots. Supervised by BUDI INDRA SETIAWAN, MOHAMMAD YANUAR JARWADI PURWANTO and LIYANTONO.

One of the relatively new irrigation systems is evaporative irrigation. Evaporative irrigation is an irrigation water control concept based on plant response which is represented by evaporation and evapotranspiration rate. The water balance calculation method can be used for irrigation scheduling by monitoring crop evapotranspiration. Irrigation scheduling with the application of water for plants in the right amount and at the right time can produce optimal water productivity. Water productivity is an important indicator to determine the economic value of irrigation water. This study aims to design an irrigation automation model for vegetable cultivation in pots with an evapotranspirative irrigation/fertigation system inside and outside the greenhouse. The research was conducted by developing automatic irrigation technology controlled by a floating valve based on the rate of evaporation and evapotranspiration without electricity.

The research was conducted at the Water Resources Engineering Laboratory, Department of Civil and Environmental Engineering, IPB University for 2 stages. The first stage of research was conducted to observe the performance of the modified floating hydroponic technology design in the greenhouse which was tested with lettuce from 25 April 2018 to 30 May 2018. The second stage of research was conducted to test the design of the subsurface evapotranspirative irrigation system outside the plant house which was tested with water lettuce from 10 November 2020 to 27 December 2020

The main climate data measured in this study are solar radiation, air temperature, relative humidity, and rainfall. Solar radiation data was collected using the Decagon PYR Pyranometer sensor. Relative humidity and air temperature data were collected using the Decagon VP-4 sensor. Rainfall data was collected using the Decagon ECRN-100 Rain Gauge sensor. All data is collected and recorded automatically using the EM50 data logger with 5 minute intervals.

Potential evapotranspiration in this study was calculated using the Hargreaves model. Observations of water level are carried out every day by measuring the water level from the soil surface. Measurements were carried out manually every 06.00 am and 06.00 pm. Measurement of soil water content in the second irrigation system observation in this study was also carried out every day by taking soil samples using a ring sample with a diameter of 4.8 cm and a height of 5.1 cm. The data on water level and soil water content are used to calculate the volume of water in the planting pot system. After analyzing the constituent components of the water balance, finally the equation for the water balance in this study can be derived.

The yield of lettuce produced by modification floating hydroponic technology in the greenhouse was 1114.6 g m^{-2} and the water productivity was $29.58 \text{ g liter}^{-1}$. The crop coefficient (K_c) of lettuce changed with time to form a parabolic equation which started at 0.7 at the beginning of planting and then decreased to 0.4 then increased to 1.4 on the 36th planting day. Meanwhile, physical water productivity (WP_{ETc}) in this study was $12.32 \text{ g liter}^{-1}$ and irrigation water productivity was

1307.34 g liter⁻¹. Economical water productivity is Rp 9.2/kg. Thus, the economic water productivity in this study can save around Rp 22.7/kg on the cost of irrigation water for crop production.

The water input component in the pot planting system is dominated by rainfall of 2237.8 liters or equivalent to 41.56% of the water balance. The infiltration of 857.1 liters or equivalent to 15.92% was in the second position. The irrigation component in the water balance is the smallest input component that occurs at 1.9 liters or equivalent to 0.04%. As a component of the water output in the system, which is mostly dominated by runoff of 1380.7 liters or equivalent to 25.64%. Furthermore, the drainage component occurred as much as 693.5 liters or equivalent to 12.88%. Water consumption by plants or actual evapotranspiration is 204.3 liters or equivalent to 3.79%. Finally, the input and output components in the water balance affect the change in volume over time during the observation of 9.8 liters or equivalent to 0.18%. The error value for this water balance is 0.861%.

The subsurface evapotranspiration irrigation model can work and function well during the research. The irrigation automation system using a float stopper that is applied to the model can properly maintain the distribution of irrigation water during the planting period so that it can maintain the water level. The model can also properly drain the volume of excess water that is in the planting pot caused by high rainfall.

Keywords: evapotranspiration, evapotranspiration irrigation, water balance, water productivity.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2021¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

MODEL OTOMATISASI IRIGASI BERDASARKAN MEKANISME EVAPOTRANSPIRASI UNTUK BUDIDAYA SAYURAN DALAM POT

RIANI MUHAROMAH

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian

**ILMU KETEKNIKAN PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2021**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr Chusnul Arif, STP, MSi
- 2 Dr Ir Mohamad Solahudin, MSi

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr Ir Mohamad Solahudin, MSi
- 2 Dr Imroatul Chalimah Juliana, ST, MT



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Disertasi: Model Otomatisasi Irigasi Berdasarkan Mekanisme Evapotranspirasi untuk Budidaya Sayuran dalam Pot
Nama : Riani Muharomah
NIM : F163170088

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof Dr Ir Budi Indra Setiawan, MAgr

Pembimbing 2:
Dr Ir M. Yanuar J. Purwanto, MS

Pembimbing 3:
Dr Liyantono, STP, MAgr



Digitally signed by
Budi Indra Setiawan
[BUDIINDRASETIAWAN] CN=, OU=, O=IPB University, C=ID
Date: 1 Aug 2021 19:35:14 WIB
Verify at dsign.ipb.ac.id



Digitally signed by
M. Yanuar J. Purwanto
[M. YANUAR J. PURWANTO] CN=, OU=, O=IPB University, C=ID
Date: 1 Aug 2021 19:35:14 WIB
Verify at dsign.ipb.ac.id



Digitally signed by
Liyantono
[LIYANTONO] CN=, OU=, O=IPB University, C=ID
Date: 1 Aug 2021 19:35:14 WIB
Verify at dsign.ipb.ac.id

Diketahui oleh

Ketua Program Studi :
Dr Ir Wawan Hermawan, MS
NIP. 196303231987031002

Dekan Sekolah Pascasarjana :
Prof Dr Ir Anas Miftah Fauzi, MEng
NIP. 196004191985031002



Digitally signed by
Wawan Hermawan
[WAWANHERMAWAN] CN=, OU=, O=IPB University, C=ID
Date: 2 Aug 2021 10:05:31 WIB
Verify at dsign.ipb.ac.id



Digitally signed by
Anas Miftah Fauzi
[ANASMIFTAHFAUZI] CN=, OU=, O=IPB University, C=ID
Date: 2 Aug 2021 10:05:31 WIB
Verify at dsign.ipb.ac.id

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tanggal Lulus: 30 JUL 2021

Tanggal Ujian:
19 Juli 2021

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan April 2018 sampai bulan Maret 2021 ini ialah irigasi evapotranspiratif, dengan judul “Model Otomatisasi Irigasi Berdasarkan Mekanisme Evapotranspirasi untuk Budidaya Sayuran dalam Pot”. Disertasi ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Doktor Ilmu Keteknikan Pertanian, IPB University.

Penelitian ini tidak dapat diselesaikan tanpa dukungan dari pembimbing, kolega, sahabat, teman, dan anggota keluarga. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof Dr Ir Budi Indra Setiawan, MAg; Dr Ir M. Yanuar J. Purwanto, MS; dan Dr Liyantono, STP MAg selaku komisi pembimbing atas nasehat, saran, bantuan, dan dukungannya selama masa studi Magister dan Doktoral.
2. Dr Ir Wawan Hermawan, MS selaku Ketua Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian atas motivasi dan bantuannya selama menempuh pendidikan.
3. Dr Chusnul Arif, STP, MSi, Dr Ir Mohamad Solahudin, MSi, dan Dr Imroatul Chalimah Juliana, ST, MT atas saran, masukan dan nasehat ilmiahnya selama ujian tertutup disertasi dan sidang promosi terbuka disertasi.
4. Seluruh dosen, staf, dan mahasiswa di Laboratorium Teknik Sumber Daya Air (Wisma Wageningen), Teknik Sipil dan Lingkungan (SIL) IPB atas bantuan dan dukungannya selama penelitian.
5. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan (SIL) IPB serta Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian (TEP) IPB atas dukungannya selama menempuh pendidikan.
6. Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan (SIL) angkatan 2015, Ilmu Keteknikan Pertanian Angkatan 2016-2017 Sekolah Pascasarjana IPB, dan para *awardee* PMDSU Batch 2 atas dukungannya selama penelitian dan studi.
7. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya atas doa dan dukungan selama meneruskan studi.
8. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi untuk beasiswa PMDSU *Batch II* sekaligus hibah penelitian PMDSU (2016-2019).
9. Anggota keluarga atas bimbingan, nasihat, dan doanya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2021

Riani Muharomah

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	4
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	4
2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Irigasi evapotranspiratif	5
2.2 Neraca air	5
2.3 Produktivitas Air Tanaman sayuran	7
3 KOEFISIEN TANAMAN TEMPORAL DAN PRODUKTIVITAS AIR HIDROPONIK SELADA (<i>Lactuca sativa L.</i>) DI RUMAH TANAMAN	8
3.1 Abstrak	8
3.2 Pendahuluan	8
3.3 Metode	9
3.4 Hasil dan Pembahasan	13
3.5 Simpulan	18
4 MODEL IRIGASI EVAPOTRANSPIRATIF BAWAH PERMUKAAN DIUJI DENGAN TANAMAN KANGKUNG	19
4.1 Abstrak	19
4.2 Pendahuluan	19
4.3 Metode	20
4.4 Hasil dan Pembahasan	22
4.5 Simpulan	27
5 NERACA AIR PADA BUDIDAYA KANGKUNG DALAM POT MENGUNAKAN IRIGASI EVAPOTRANSPIRATIF	28
5.1 Abstrak	28
5.2 Pendahuluan	28
5.3 Metode	29
5.4 Hasil dan Pembahasan	31
5.5 Simpulan	40
6 PEMBAHASAN UMUM	41
7 PENUTUP	43
7.1 Simpulan Umum	43
7.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



LAMPIRAN

50

RIWAYAT HIDUP

67

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

1	Daftar persamaan dan singkatan yang digunakan dalam menentukan <i>ET</i>	12
---	--	----

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka penelitian	3
2	Rumah tanaman penelitian	10
3	Rancangan modifikasi teknologi hidroponik sistem terapung	11
4	ETp di luar (ETPout) dan di dalam (ETPin) rumah tanaman	15
5	Tinggi muka air harian selama budidaya selada	16
6	Nilai <i>Kc</i> selada selama periode tanam	17
7	(a) Berat kering dan konsumsi air yang digunakan oleh selada selama masa tanam (b) Produktivitas air dari budidaya selada dengan THST modifikasi	18
8	Sistem pot irigasi evapotranspiratif	20
9	<i>Prototype</i> sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan	22
10	Volume air dalam pot tanam	24
11	Volume air biomassa	25
12	Perubahan volume air pada pot terhadap waktu	25
13	Hasil panen (<i>yield</i>)	26
14	Sistem pot irigasi evapotranspiratif	30
15	Parameter iklim terukur	33
16	Evapotranspirasi potensial selama hari pengamatan	33
17	Evapotranspirasi potensial pada pot tanam	34
18	Curah hujan, <i>run-off</i> , dan infiltrasi	35
19	Irigasi	36
20	Drainase	37
21	Evapotranspirasi aktual	38
22	Koefisien tanaman (<i>Kc</i>)	39
23	Neraca air tanaman kangkung dengan sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan	40

DAFTAR LAMPIRAN

1	Data muka air dan iklim di dalam rumah tanaman pengamatan tahap 1	51
2	Data perbandingan iklim di luar dan di dalam rumah tanaman pengamatan tahap 1	52
3	Kalibrasi optimasi <i>Co/Kr</i> model Hargreaves untuk estimasi <i>ETp</i> dalam rumah tanaman	53
4	Proses Kalman filter untuk nilai <i>Kc</i> selada	54
5	Data sampel tanaman selada dengan modifikasi THST di dalam rumah tanaman	55
6	Hasil panen kangkung pengamatan tahap 2	56

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

7	Parameter iklim dan ET_p pengamatan tahap 2	57
8	Tinggi muka air dalam pot-pot tanam pengamatan tahap 2	58
9	Volume air dalam pot-pot tanam pengamatan tahap 2	61
10	Volume <i>runoff</i> pot-pot tanam pengamatan tahap 2	64

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemenuhan kebutuhan air tanaman yang tidak terukur dan presisi dapat menyebabkan terbuangnya air secara percuma. Pengelolaan air berdasarkan kebutuhan air tanaman merupakan kebutuhan pokok dalam irigasi, yang dapat dideteksi dengan perhitungan evapotranspirasi tanaman (*ET*) yang akurat (Er-Raki *et al.* 2007; Li *et al.* 2008; de Oliveira *et al.* 2009; Bezerra *et al.* 2015; Liu *et al.* 2020). Kuantifikasi evapotranspirasi merupakan aspek yang sangat penting dari desain irigasi dan manajemen air yang optimal (Zirebwa *et al.* 2014). Penyediaan irigasi untuk tanaman yang sesuai dengan jumlah evapotranspirasi tanaman atau hilangnya air oleh tanaman sangat penting untuk meningkatkan produktivitas air. Menurut Amin *et al.* (2011) pemberian air yang tepat di tempat yang tepat, pada waktu yang tepat dan dalam jumlah yang tepat atau pengelolaan zona spesifik lokasi dapat mendukung pertanian presisi.

Berbagai teknologi irigasi telah banyak diterapkan di Indonesia. Salah satu sistem irigasi yang relatif baru adalah irigasi evaporatif. Irigasi evaporatif merupakan konsep pengendalian air irigasi yang didasarkan pada respon tanaman yang diwakili oleh laju evaporasi dan evapotranspirasi (Ardiansyah *et al.* 2019). Evapotranspirasi referensi (ET_0) merupakan faktor utama dalam menentukan kebutuhan air tanaman dalam irigasi evaporatif (Arif *et al.* 2021a). Hal ini menjadi salah satu jawaban untuk mengatasi kendala dalam penyediaan air irigasi karena sulitnya pengaturan parameter yang digunakan untuk pengaturan waktu dan jumlah air irigasi sesuai kebutuhan tanaman (Amalia *et al.* 2020).

Evapotranspirasi (*ET*), yaitu air yang dipindahkan ke atmosfer melalui evaporasi tanah dan transpirasi tanaman, merupakan salah satu komponen yang paling relevan dari neraca air-tanah (Consoli dan Vanella 2014). Beberapa studi telah melakukan penelitian terkait komponen neraca air untuk daerah irigasi dimana sebagian besar berfokus pada komponen tunggal seperti evapotranspirasi (*ET*) atau *runoff* (Campos *et al.* 2016; Mattar *et al.* 2016; Z. Liu *et al.* 2020). Komponen neraca air seperti perubahan volume air di dalam sistem tanam sampai saat ini belum ada yang meneliti.

Menurut (Burt 1999), sebuah "keseimbangan air" adalah perhitungan dari semua volume air yang masuk dan meninggalkan suatu ruang selama periode waktu tertentu. Perubahan penyimpanan air internal juga harus dipertimbangkan. Batas spasial dan temporal neraca air harus didefinisikan dengan jelas untuk menghitung dan menganalisis neraca air. Neraca air yang lengkap tidak hanya terbatas pada air irigasi atau air hujan atau air tanah, tetapi mencakup semua air yang masuk dan keluar dari batas-batas ruang. Sammis *et al.* (2012) mengatakan metode perhitungan neraca air dapat digunakan untuk penjadwalan irigasi dengan memantau defisit kelembaban tanah, atau dengan memantau potensi air tanaman. Penjadwalan irigasi dengan penerapan air untuk tanaman dalam jumlah yang tepat dan pada waktu yang tepat dapat menghasilkan hasil panen maksimum dan pencucian air dan nutrisi minimum ke air tanah.

Studi eksperimen pada waktu dan lokasi spesifik yang telah dilakukan di lokasi ini, dapat memberikan informasi untuk pengelolaan irigasi di bawah sistem tanah-air-tanaman tertentu dan kondisi iklim tertentu (Amalia *et al.* 2020; Dewi *et*



al. 2020a; Dewi *et al.* 2020b; Dewi *et al.* 2020c; Muharomah *et al.* 2020). Namun informasi ini mungkin tidak berlaku untuk lokasi yang sama pada waktu berikutnya karena variabilitas lapangan dan iklim yang tinggi. Oleh karena itu, sebuah model irigasi yang spesifik diperlukan untuk manajemen praktik irigasi. Selain itu, mengukur semua komponen neraca air-tanah dalam percobaan lapangan relatif sulit (Han *et al.* 2015). Pendekatan pemodelan yang digabungkan dengan eksperimen lapangan dapat menentukan semua komponen neraca air, termasuk perubahan volume air pada sistem tanam, infiltrasi, dan drainase.

Produktivitas air merupakan indikator penting untuk mengetahui seberapa besar nilai ekonomis dari air irigasi (Fuadi *et al.* 2016). Dengan meningkatkan produktivitas dan efisiensi penggunaan air irigasi dalam penerapan teknologi pengelolaan irigasi dapat mengakibatkan penggunaan air irigasi per satuan berat hasil pertanian menjadi lebih kecil (Sirait *et al.* 2015). Keuntungan dalam efisiensi penggunaan air dapat dicapai ketika aplikasi air secara tepat disesuaikan dengan kebutuhan air tanaman yang terdistribusi secara spasial dan temporal (Hassan-Esfahani *et al.* 2015). Produktivitas air tanaman pertanian juga dapat ditingkatkan dengan menggunakan pasokan air yang lebih kecil (Hasanah *et al.* 2017).

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi irigasi adalah dengan menerapkan sistem irigasi cerdas (*smart irrigation*). Sistem irigasi otomatis yang cerdas dapat menghabiskan biaya yang tinggi karena menggunakan berbagai instrumen mikrokontroler (González Perea *et al.* 2016). Dalam penelitian ini, sistem irigasi dirancang menggunakan teknologi irigasi otomatis berdasarkan prinsip evapotranspirasi yang diuji dengan dua metode tanam yang berbeda untuk di dalam dan di luar rumah tanaman. Berbagai instrumen mikrokontroler yang biasanya digunakan dalam *smart* irigasi dieliminasi dengan cara mendesain sistem irigasi evapotranspiratif yang dikontrol oleh stopkeran pelampung berdasarkan laju evapotranspirasi tanpa tenaga listrik. Sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang dirancang diharapkan dapat menjadi pilihan yang tepat dalam mengatur air irigasi secara lebih efektif dan efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana kinerja model otomatisasi aliran air pada budidaya sayuran dalam pot menggunakan irigasi evapotranspiratif terhadap produksi biomassa, produktivitas air dan koefisien tanaman, serta neraca air pada sistem irigasi. Kerangka penelitian untuk memecahkan masalah ditunjukkan pada Gambar 1.

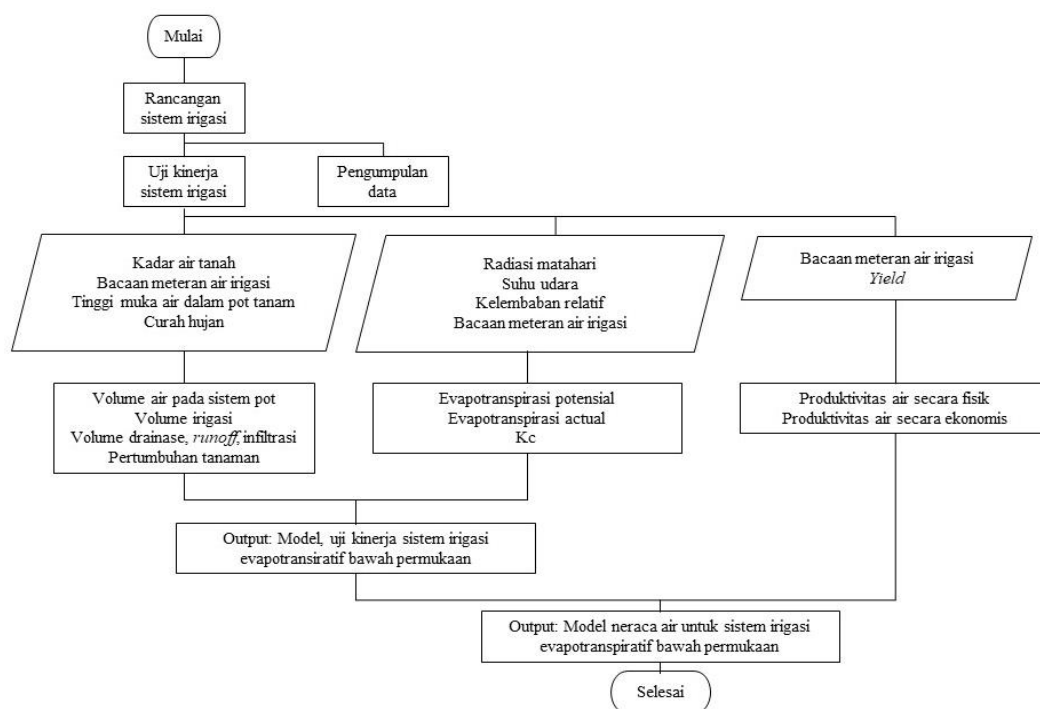
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 1 Kerangka penelitian

1.3 Tujuan

Tujuan umum penelitian ini adalah merancang model otomatisasi irigasi untuk budidaya sayuran dalam pot dengan sistem irigasi evapotranspiratif di dalam dan di luar rumah tanaman. Tujuan khusus penelitian ini yaitu:

1. Merancang dan menguji kinerja irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang digunakan dalam budidaya sayuran dalam pot baik di dalam maupun di luar rumah tanaman.
2. Mengetahui implikasinya terhadap produksi biomassa, produktivitas air dan koefisien tanaman.
3. Membangun model hidrologis untuk menganalisis neraca airnya secara temporal.

1.4 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah pengembangan bagi ilmu pengetahuan dan referensi penelitian. Manfaat penerapan pada lahan pertanian adalah metode penyediaan air yang sesuai dengan kebutuhan air tanaman agar efektif dan efisien. Manfaat teknologi adalah implementasi sistem irigasi evapotranspiratif sebagai sistem irigasi otomatis cerdas yang sederhana yang mampu diterapkan oleh seluruh lapisan masyarakat.

Output dari penelitian ini adalah menghasilkan teknologi irigasi evapotranspiratif bawah permukaan. *Outcome* penelitian ini bermanfaat untuk budidaya tanaman. *Impact* dari penelitian ini dapat meningkatkan pendapatan petani dengan menurunkan biaya air untuk produksi tanaman, menyederhanakan *smart irrigation* yang relatif mahal dan sulit diaplikasikan sehingga dapat menekan biaya instrumen dan peralatan, serta dapat digunakan di berbagai macam situasi dan kondisi, tidak hanya di pedesaan namun juga bisa diterapkan di perkotaan (*urban*

farming). Keberlanjutan atau *sustainability* dari penelitian ini diharapkan adanya penerimaan dari masyarakat yang tercermin dari keberlanjutan pemanfaatan teknologi, serta keberlanjutan secara ekonomis yang terlihat dari hasil pendapatan dan keuntungan petani dari pemanfaatan teknologi ini.

4.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

- 1. Hasil keluaran neraca air untuk sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan
- 2. Rancangan sistem irigasi merupakan pengembangan sistem otomatisasi irigasi sederhana

4.6 Kebaruan (*novelty*)

Kebaruan (*novelty*) yang dihasilkan penelitian ini adalah:

- 1. Model irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang merupakan pengembangan sistem otomatisasi irigasi
- 2. Nilai koefisien tanaman (K_c) selada yang dibudidayakan dengan modifikasi teknologi hidroponik sistem terapung dalam rumah tanaman
- 3. Model neraca air untuk sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Irigasi evapotranspiratif

Ide irigasi evaporatif diperkenalkan pada tahun 2019 sebagai salah satu cara alternatif untuk irigasi hemat air (Ardiansyah *et al.* 2019). Sistem ini mengontrol suplai air dengan katup apung irigasi berdasarkan laju evaporasi dan evapotranspirasi. Ide ini tidak memerlukan daya listrik untuk mengatur sistem karena bekerja secara otomatis pada ketinggian air tertentu (Arif *et al.* 2021a).

Saat ini belum terlalu banyak penelitian yang membahas tentang irigasi evapotranspiratif. Hasil evaluasi kinerja sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan masih sangat sedikit dilaporkan. Dewi *et al.* (2020) mengembangkan teknologi irigasi terkontrol berdasarkan prinsip kapilaritas. Irigasi ini digerakkan oleh tekanan matriks dan evapotranspirasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi ini mampu mempertahankan kadar air pada posisi antara kapasitas lapang dan titik layu permanen. Semua tanaman berkinerja baik selama periode budidaya. Sistem ini hanya membutuhkan air sebesar 0.038 m³ selama masa tanam. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem irigasi yang dikembangkan 40% lebih efisien dibandingkan dengan irigasi sprinkler. Melalui teknologi ini, semua petani kecil dapat dengan mudah menerapkan dan mengurangi kehilangan air di irigasi.

Menurut Arif *et al.* (2021a) dalam sebuah studi yang bertujuan untuk merancang irigasi evaporatif cerdas pada sistem minapadi di Indonesia, irigasi evaporatif cerdas bekerja dengan baik selama tahap pertumbuhan vegetatif. Ketinggian muka air aktual dapat dijaga dengan baik dan dapat dipertahankan pada *setpoint* seperti yang ditunjukkan oleh kesalahan absolut rata-rata yang rendah (MAE). Sistem irigasi yang dirancang dapat diandalkan untuk mengontrol laju evapotranspirasi di mana lebih sedikit air irigasi maka air yang menguap terjadi lebih sedikit.

Amalia *et al.* (2020) dengan kajian desain sistem irigasi evaporatif untuk tanaman lada menunjukkan hasil bahwa pemberian air dengan sistem irigasi evaporatif 5.2 mm/hari telah mampu memenuhi kebutuhan air evapotranspirasi sebesar 4.1 mm/hari untuk tanaman lada. Pemberian air melalui sistem irigasi tersebut mampu mendorong pertumbuhan cabang primer dan pembungaan. Kinerja irigasi evaporatif yang dirancang ini cukup praktis jika dilihat dari pengoperasian dan tingkat keseragaman distribusi airnya sehingga prospektif untuk diterapkan pada daerah yang curah hujannya rendah atau digunakan saat musim kemarau.

2.2 Neraca air

Kinerja sistem irigasi tergantung pada efisiensi penggunaan air di lahan pertanian, kondisi sistem tanam dan kebutuhan tenaga kerja untuk pengoperasian sistem tersebut. Pendekatan neraca air dapat digunakan untuk menilai kebutuhan air tanaman dan mengatur penjadwalan irigasi (Cunha *et al.* 2019). Neraca air harian yang diterapkan pada seluruh zona akar (Allen *et al.* 1998a; Allen *et al.* 1998b) dapat dinyatakan dengan menghitung penurunan muka air pada tanah pada akhir setiap hari (mm), yang dituliskan sebagai:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P_i - RO_i) - I_i - CR_i + ET_{c,act,i} + DP_i \dots \dots \dots (1)$$

Dimana $D_{r,i-1}$ adalah penipisan zona akar pada akhir hari sebelumnya $i-1$ (mm), P_i adalah curah hujan (mm), RO_i adalah limpasan (mm), I_i adalah kedalaman irigasi bersih yang meresap ke dalam tanah (mm), CR_i adalah kenaikan kapiler dari permukaan air tanah dangkal (mm), $ET_{c\ act,i}$ adalah evapotranspirasi tanaman aktual (mm), dan DP_i adalah perkolasi dalam melalui bagian bawah zona akar (mm), dengan semua istilah mengacu pada hari i . ET_c mengacu pada kondisi tanaman dan irigasi yang optimal dan suboptimal, yaitu di bawah irigasi penuh atau defisit dan/atau praktik tanam yang beragam.

Keseimbangan neraca air sangat terintegrasi dalam fungsi tanaman. Integrasi neraca air dan pertimbangan faktor lingkungan yang terkait, seperti kelembaban udara, akan meningkatkan fungsi model secara keseluruhan. Maclean *et al.* (2012) melakukan penelitian terhadap model neraca air untuk tanaman selada. Pendekatan pengembangan model yang diusulkan dengan model keseimbangan massa sederhana menjadi metode yang berguna untuk mengembangkan model andal sederhana dan sangat penting ketika berhadapan dengan kumpulan data yang terbatas. Hasil penelitian menunjukkan model berhasil memprediksi penyerapan air oleh tanaman, konsentrasi karbon dioksida dan oksigen, dan berat kering akhir biomassa.

Pereira *et al.* (2020) melakukan penelitian untuk mengkaji pendekatan model neraca air tanah (*soil water balance/SWB*) untuk menentukan kebutuhan irigasi tanaman dan penjadwalan irigasi dengan mengadopsi metode FAO56. Pendekatan K_c-ET_o dibahas dengan mempertimbangkan konsep dasar yaitu konsep standar *vs* konsep K_c aktual, serta pendekatan K_c tunggal dan ganda. Persyaratan untuk SWB yang akurat dan parameterisasi dan kalibrasi yang sesuai diperkenalkan. Pendekatan komputasi satu langkah *vs* dua langkah dibahas sebelum tinjauan metode FAO56 untuk menghitung dan membagi evapotranspirasi tanaman dan neraca air tanah. Hasil studi menunjukkan bahwa model SWB memiliki potensi besar untuk penjadwalan irigasi termasuk penilaian praktik pengelolaan tanaman alternatif, serta indikator biofisik dan ekonomis produktivitas air tanaman. Metodologi FAO56 yang diadopsi di SWB sangat akurat dengan kebutuhan data yang moderat; model SWB yang lebih sederhana telah diadopsi untuk mendukung penjadwalan irigasi tetapi kemungkinan pada risiko ketidakakuratan neraca air yang lebih besar, yaitu ketika perkolasi dalam dan kenaikan kapiler tidak dipertimbangkan dengan benar dan ketika estimasi K_c kurang tepat.

Analisis neraca air dapat menjadi suatu metode untuk mengetahui efisiensi dan produktivitas air dari suatu irigasi. Kazem Attar *et al.* (2020) memperkenalkan metodologi dan detail untuk menghitung parameter yang berbeda dan kualitas serta koefisien yang menguntungkan dalam persamaan neraca air. Jaringan irigasi dan drainase Moghan di barat laut Iran dipilih sebagai area studi menggunakan data meteorologi, pola tanam, volume air irigasi, drainase alami dan buatan, kualitas infiltrasi dan aliran balik. Selain itu, produktivitas air irigasi dihitung dengan mempertimbangkan volume air berdasarkan konsep efisiensi yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sekitar 87% aliran masuk, 91% curah hujan, 89% evapotranspirasi, 13% air yang tidak dapat digunakan kembali, dan 91% aliran balik berguna di wilayah studi. Efisiensi tertinggi dan terendah terjadi berturut-turut pada bulan September dan November. Rata-rata Efisiensi meso dan mikro masing-masing adalah 72% dan 47.5%, dan CE adalah 37.9%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produktivitas air berdasarkan SE lebih besar dari pada CE.

Produktivitas air pada tingkat meso juga menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada tingkat mikro.

Evans dan Zaitchik (2008) melakukan studi pemodelan dampak neraca air dari sistem irigasi yang berbeda. Dalam studi ini, perbandingan penggunaan air dan interaksi tanah-atmosfer yang terkait dengan irigasi penggenangan tradisional-praktik yang meluas tetapi sangat tidak efisien air-dan irigasi tetes yang hemat air. Simulasi dengan irigasi tetes menunjukkan 30% lebih sedikit evapotranspirasi selama musim irigasi dan 60% lebih sedikit kebutuhan air secara keseluruhan dibandingkan dengan irigasi penggenangan tradisional.

Studi neraca air pohon almond muda dengan irigasi tetes dengan tingkat air irigasi yang berbeda pernah dilakukan oleh Franco *et al.* (2000). Hasil penelitian menyajikan model untuk memperkirakan parameter neraca air, dengan mempertimbangkan daerah yang terkena dan tidak terkena air irigasi. Model ini mencakup metode pembobotan untuk menyatakan perubahan penyimpanan air dan drainase di daerah tersebut. Selama estimasi neraca air, kandungan air tanah dari zona yang terkena irigasi praktis tetap konstan, terlepas dari jumlah air yang diterapkan. Kadar air tanah di daerah yang tidak terkena irigasi mengikuti pola musiman sesuai dengan kebutuhan evaporasi. Persentase yang tinggi dari air yang dipasok sebagai hujan hilang oleh limpasan, kehilangan tersebut mencapai lebih dari 70% pada bulan-bulan hujan lebat. Kehilangan melalui drainase air sangat berbeda pada perlakuan irigasi yang berbeda.

2.3 Produktivitas Air Tanaman sayuran

Produktivitas air dalam pertanian, juga dikenal sebagai efisiensi penggunaan air, didefinisikan sebagai rasio antara hasil panen aktual yang dicapai dan penggunaan air yang sesuai, yang dapat mengacu pada penggunaan air total, termasuk curah hujan, penggunaan air irigasi, hingga konsumsi air oleh tanaman, atau hanya untuk transpirasi tanaman (Pereira *et al.* 2020). Peningkatan produktivitas air dapat meningkatkan produksi tanaman pada jumlah air tertentu atau dalam kondisi terbatas air. Oleh karena itu, penurunan kelangkaan air dan peningkatan ketersediaan air untuk masa depan dapat diatasi dengan meningkatkan produktivitas air (Hinai dan Jayasuriya 2021).

Kangkung merupakan tanaman air yang dapat tumbuh baik di lahan tergenang maupun di lahan kering. Tang *et al.* (2020) melakukan penelitian tentang pengaruh rezim air terhadap pertumbuhan kangkung. Variabel pertumbuhan tanaman ditingkatkan dengan perlakuan penggenangan, dengan peningkatan rata-rata 98.82% untuk tinggi tanaman, 26.81% untuk diameter batang, 25.72% untuk biomassa pucuk, dan 55.17% untuk biomassa akar. Namun, tidak ada perbedaan yang signifikan antara akumulator rendah dan tinggi di bawah rezim air yang berbeda.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tulung *et al.* (2019) yang mencoba melihat produktivitas air tanaman kangkung dengan sistem hidroponik, jumlah konsumsi air sebanyak 11.155 ml dapat menghasilkan biomassa dengan berat 181.28 g kangkung, sistem DFT dengan ketinggian air 2 cm dengan total konsumsi air sebesar 9.016 ml dapat menghasilkan biomassa seberat 160.33 g, dan sistem NFT dengan konsumsi air sebesar 10.657 ml dapat menghasilkan biomassa seberat 153.28 g.



3 KOEFISIEN TANAMAN TEMPORAL DAN PRODUKTIVITAS AIR HIDROPONIK SELADA (*Lactuca sativa* L.) DI RUMAH TANAMAN

3.1 Abstrak

Hampir semua negara di dunia telah menggunakan budidaya hidroponik selada di rumah tanaman karena cocok untuk pertumbuhan dan produksi tanaman. Sayuran yang ditanam di rumah tanaman memiliki kebutuhan air yang banyak. Pada penelitian ini akan diteliti iklim yang mempengaruhi evapotranspirasi selada dengan modifikasi teknologi hidroponik sistem terapung di dalam rumah tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis iklim mikro, model evapotranspirasi potensial yang sesuai, dan koefisien temporal tanaman dan produktivitas air selada. Rumah tanaman percobaan menggunakan atap polikarbonat dengan 90% transparansi dan dinding jaring, dengan dimensi 9 x 3 x 4 m. Data primer yang dikumpulkan berupa tinggi muka air, dan data iklim baik di dalam maupun di luar rumah tanaman. Nilai ET_p diestimasi dengan menggunakan tujuh model evapotranspirasi potensial dan diantara model tersebut ditentukan model yang paling sesuai. Iklim di dalam rumah tanaman sangat berbeda dengan di luar. Dimana selama 40 hari budidaya selada, radiasi matahari dan kelembaban relatif di dalam lebih rendah daripada di luar, tetapi suhu di dalam lebih tinggi daripada di luar. Evapotranspirasi potensial di dalam rumah tanaman dapat diperkirakan secara tepat dengan model Hargreaves. K_c berubah terhadap waktu membentuk persamaan parabola dimulai yang dari 0.7 kemudian menurun hingga mencapai 0.5 kemudian meningkat menjadi 0.8. Produktivitas selada 1114.6 g m⁻² memiliki produktivitas air 29.58 g liter⁻¹ yang berbanding lurus dengan konsumsi air oleh tanaman.

3.2 Pendahuluan

Hampir semua negara di dunia menggunakan budidaya selada dengan hidroponik pada rumah tanaman terutama daerah di ketinggian menengah karena sesuai untuk pertumbuhan dan produksi tanaman. Rumah tanaman dapat memungkinkan kontrol kondisi meteorologi yang secara signifikan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Haraguchi *et al.* 2005). Pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh cuaca dan iklim. Iklim adalah salah satu faktor yang mempengaruhi produktivitas dan dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya dalam sistem produksi tanaman (Koesmaryono *et al.* 1997). Dalam pertumbuhan tanaman, hampir semua elemen cuaca berpengaruh secara signifikan, sedangkan faktor yang paling mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman adalah suhu udara dan panjang hari. Tujuan penggunaan rumah tanaman adalah untuk menciptakan iklim mikro yang menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman ketika kondisi iklim tidak kondusif. Suhardiyanto *et al.* (2009) berpendapat bahwa penggunaan rumah tanaman dalam budidaya tanaman adalah salah satu cara untuk menyediakan lingkungan yang lebih dekat dengan kondisi optimal untuk pertumbuhan tanaman. Rumah tanaman adalah bangunan yang berfungsi melindungi tanaman dari berbagai macam gangguan cuaca seperti hujan, angin, dan intensitas radiasi matahari yang tinggi serta melindungi tanaman dari serangan hama.

Iklim mikro di dalam rumah tanaman merupakan faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Rumah tanaman tertutup dan semi tertutup bertujuan untuk mendapatkan panas yang berlebihan untuk memenuhi persyaratan panas sambil mempertahankan kondisi lingkungan terbaik untuk pertumbuhan tanaman (Boulard *et al.* 2017). Dalam budidaya menggunakan rumah tanaman, energi matahari merangsang fotosintesis tanaman (Ghasemi Mobtaker *et al.* 2016). Radiasi matahari adalah faktor paling kritis yang mempengaruhi evapotranspirasi (*ET*) di antara parameter lingkungan (Zhang *et al.* 2010). Efek perubahan radiasi pada iklim mikro rumah tanaman adalah signifikan karena sekitar 40% radiasi matahari yang masuk diserap oleh tutupan tanaman (Boulard *et al.* 2017).

Memilih metode untuk estimasi evapotranspirasi tanaman yang lebih akurat adalah faktor penting untuk pengelolaan air yang efisien (Tyagi *et al.* 2000; Mao *et al.* 2003; Zhang *et al.* 2004). Pengelolaan air dan hasil panen dapat ditingkatkan melalui peningkatan penggunaan metode yang andal untuk memperkirakan evapotranspirasi tanaman (Hargreaves dan Allen 2003). Studi evapotranspirasi tanaman adalah masalah penting untuk memahami dan meningkatkan lingkungan tanaman baik di ladang terbuka dan budidaya rumah tanaman (Takakura *et al.* 2009). Evapotranspirasi (*ET*) adalah total kehilangan air ke atmosfer melalui penguapan dan transpirasi (hilangnya air dari tanaman). Tidak ada cara mudah untuk membedakan antara proses penguapan dan transpirasi. Estimasi akurat kehilangan air oleh *ET* sangat penting untuk menilai ketersediaan air dan persyaratan tanaman. Persamaan evapotranspirasi Penman-Monteith tidak dapat digunakan secara langsung di bawah kondisi iklim mikro rumah tanaman karena pengabaian aerodinamika (kecepatan angin di rumah tanaman kira-kira sama dengan nol).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis iklim yang mempengaruhi evapotranspirasi selada dengan modifikasi teknologi hidroponik sistem terapung di dalam rumah tanaman. Tingkat evapotranspirasi di dalam rumah tanaman didominasi oleh transpirasi tanaman. Transpirasi tanaman tidak hanya dipengaruhi oleh parameter iklim (suhu, intensitas cahaya, angin, kelembaban) tetapi juga dari faktor lain, seperti tahap pertumbuhan tanaman. Nilai evaporasi sangat kecil atau tidak ada area terbuka. Tingkat evapotranspirasi dipengaruhi oleh jumlah radiasi matahari dan suhu di luar dan di dalam rumah tanaman. Model yang sudah ada untuk menghitung evapotranspirasi potensial hanya sesuai untuk di luar rumah tanaman karena iklim mikro di dalam rumah tanaman berbeda dengan di luar, sedangkan untuk evapotranspirasi aktual selada dengan modifikasi teknologi hidroponik sistem terapung di dalam rumah tanaman diketahui melalui penurunan tingkat air. Pengaruh iklim terhadap penurunan muka air ditunjukkan oleh evapotranspirasi potensial dan koefisien tanaman (*Kc*), serta laju konsumsi air juga mempengaruhi produktivitas air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis iklim mikro, model yang sesuai dari evapotranspirasi potensial, dan koefisien tanaman temporal dan produktivitas air selada yang ditanam menggunakan teknologi hidroponik sistem terapung di rumah tanaman.

3.3 Metode

Penelitian dilakukan di sebuah rumah tanaman yang terletak di Laboratorium Teknik Sumber Daya Air, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor dari 25 April 2018 hingga 30 Mei 2018. Lokasi penelitian



berada di ketinggian 250 m di atas permukaan laut. Orientasi rumah tanaman adalah arah timur-barat. Rumah tanaman eksperimental menggunakan atap polikarbonat dengan transparansi 90% dan dinding kassa. Rumah tanaman memiliki panjang 9 m dan lebar 3 m, dengan tinggi 4 m. Kemiringan atap rumah tanaman sebesar 30°. Rumah tanaman pada penelitian ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Rumah tanaman penelitian

Sistem hidroponik yang diterapkan dalam penelitian ini adalah teknologi hidroponik sistem terapung (THST) yang dimodifikasi. Secara umum, THST menggunakan kolam besar dengan dimensi 30 m x 3 m x 0.6 m. *Styrofoam* digunakan sebagai panel tanam dengan ketebalan 4 cm dan ukuran panel 40 x 60 cm terapung pada kolam hidroponik yang berisi larutan nutrisi.

Dalam penelitian ini, THST dimodifikasi dengan rangkaian pipa seperti pada Gambar 3. Sistem irigasi tersiri dari (1) reservoir, (2) katup penghubung, (3) pipa distribusi, (4) pot untuk media terapung. Sebagai pot tempat mengapung dan pertumbuhan tanaman digunakan pipa berdiameter 4 inci dan *styrofoam* dengan ketebalan 4 cm dan jarak tanam 20 cm. Media tanam yang digunakan adalah *rockwool*.

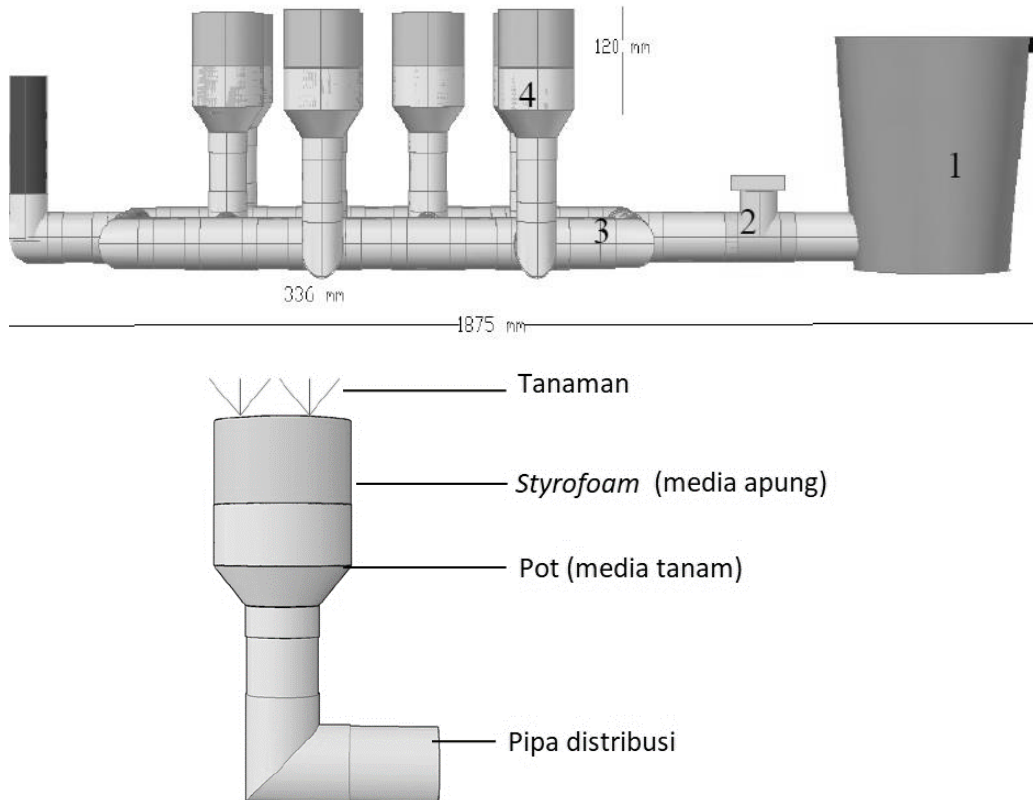
Secara umum, pola budidaya selada dengan hidroponik adalah pembenihan yang dilakukan di luar sistem hidroponik dengan *rockwool* selama ± 7 hari, dan kemudian benih sayuran dipindahkan ke THST dengan media apung adalah *styrofoam* untuk budidaya lebih lanjut. Satu periode penanaman sayuran selada adalah selama ± 40 hari sampai panen.

Larutan hara yang digunakan pada modifikasi teknologi hidroponik sistem terapung ini adalah AB mix dengan stok A yang terdiri atas: KNO_3 , $Ca(NO_3)_2$, $FeEDTA$; dan larutan hara stok B: KNO_3 , K_2SO_4 , KH_2PO_4 , $MgSO_4$, $MnSO_4$, $CuSO_4$, $(NH_4)_2SO_4$, Na_2HBO_3 , $ZnSO_4$ dan Na_2MoO_4 . Dosis yang diterapkan adalah masing-masing larutan stok A dan B sebanyak 10 ml untuk tiap 1 liter air, kemudian diaduk hingga homogen.

Pengamatan penurunan muka air dilakukan setiap hari. Tinggi muka air THST yang dimodifikasi diukur dengan menggunakan sensor Decagon CTD yang dipasang di tanki larutan nutrisi. Data ketinggian air harian diinterpolasi

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

menggunakan persamaan matematika yang menghasilkan akurasi tinggi. Derivasi dari persamaan ke waktu menghasilkan persamaan laju konsumsi air yang dapat mewakili laju evapotranspirasi aktual seperti yang dinyatakan oleh Maclean *et al.* (2012).



Gambar 3 Rancangan modifikasi teknologi hidroponik sistem terapan

Data iklim yang terkumpul adalah radiasi matahari, kelembaban udara, dan suhu di dalam dan di luar rumah tanaman. Data radiasi matahari dikumpulkan menggunakan sensor Pyranometer Decagon PYR. Data kelembaban relatif dan suhu udara dikumpulkan menggunakan sensor Decagon VP-4. Data dikumpulkan dengan interval 15 menit menggunakan data logger EM50.

Nilai evapotranspirasi yang terjadi dalam penelitian ini adalah kombinasi nilai evaporasi dan transpirasi. Evapotranspirasi sulit untuk diukur dan ketika diukur variabilitas spasialnya biasanya tidak diperhitungkan (Gomariz-Castillo *et al.* 2018). Pengaruh kedua proses tersebut tidak dipisahkan dalam analisis perhitungan karena kedua proses tersebut terjadi secara bersamaan dan tidak ada cara mudah untuk membedakannya (Allen *et al.* 1998b).

Evapotranspirasi potensial umumnya diidentifikasi sebagai ET_p . Nilai ET_p dapat diperkirakan menggunakan persamaan FAO Penman-Monteith. Persamaan ET_p membutuhkan data meteorologi yang terdiri dari data suhu udara, kelembaban relatif udara, kecepatan angin, dan radiasi matahari. Dalam penelitian ini data meteorologi tidak diperoleh sepenuhnya menggunakan sensor pengukuran yang digunakan. Oleh karena itu, nilai ET_p dalam penelitian ini dihitung menggunakan model Hargreaves yang disarankan oleh Allen *et al.* (1998b) dan beberapa model yang ada yaitu Blaney-Cridley, Kharuffa, Turc, Jensen-Haise, Remanencko, dan

Linacre Model untuk mengatasi masalah karena keterbatasan data yang tersedia. Persamaan pada Tabel 1 digunakan untuk menghitung evapotranspirasi potensial.

Tabel 1 Daftar persamaan dan singkatan yang digunakan dalam menentukan *ETp* (Allen *et al.* 1998b; Hargreaves dan Allen 2003; Lu *et al.* 2005)

Model	Persamaan	Singkatan
Hargreaves	$ETp = \frac{C_o}{K_r} R_s (T_{mean} + 17.8)$	HRG
Blaney-Cridle	$ETp = p (0.4 T_{mean} + 8)$	BLC
Kharuffa	$ETp = 0.34 p T_{mean}^{1.3}$	KRF
Turc	$ETp = 0.013 \frac{T_{mean}}{T_{mean} + 15} (23.88 R_s + 50)$	TRC
Jensen-Haise	$ETp = C_t (T_{mean} - T_x) R_s / 2.45$	JSH
Remanenko	$ETp = 0.00018 (25 + T_{mean})^2 (100 - RH)$	RMN
Linacre	$ETp = \frac{(500T_m / (100 - A)) + 15(T_{mean} - T_d)}{80 - T_{mean}}$ $T_m = T_{mean} + 0.006h$	LNC

Dimana, *ETp* adalah evapotranspirasi potensial (mm h⁻¹), *Co/Kr* adalah koefisien penyesuaian (0.0135), *Tmean* adalah suhu rata-rata (°C), *Rs* adalah radiasi matahari (mm h⁻¹), *p* adalah sinar matahari setiap hari tergantung pada posisi lintang tempat pengukuran dan waktu pengukuran, *C_T* dan *T_x* adalah fungsi dari tekanan uap jenuh yang dihitung dari suhu udara maksimum dan minimum setiap hari, *RH* adalah kelembaban relatif, *A* adalah garis lintang (derajat), *h* adalah ketinggian (m), dan *T_d* adalah suhu udara pada titik embun (°C).

Model-model yang sudah ada untuk memperkirakan evapotranspirasi potensial hanya sesuai untuk di luar rumah tanaman. Model-model evapotranspirasi tersebut tidak berlaku untuk menghitung evapotranspirasi di dalam rumah tanaman karena iklim mikro di dalam rumah tanaman tidak sama dengan di luar rumah tanaman. Penutup plastik yang digunakan pada rumah tanaman secara signifikan mengubah keseimbangan radiasi relatif terhadap lingkungan eksternal dan menciptakan penghalang hilangnya kelembaban (Amiri *et al.* 2018). Penggunaan rumah tanaman mengurangi kebutuhan air dengan mengurangi evapotranspirasi. Sedangkan untuk evapotranspirasi selada dengan teknologi hidroponik sistem terapung di rumah tanaman diketahui melalui penurunan muka air. Besarnya evapotranspirasi dipengaruhi oleh iklim di luar dan di dalam rumah tanaman. Di antara model-model tersebut, model yang sesuai dari evapotranspirasi potensial ditentukan oleh rentang paling realistis dari evapotranspirasi potensial. Program *solver* pada Ms. Excel digunakan untuk mengoptimasi nilai koefisien penyesuaian agar mendapatkan model evapotranspirasi yang paling cocok digunakan untuk tanaman di dalam rumah tanaman.

Koefisien tanaman (*Kc*) merupakan parameter penting dalam studi respons tanaman terhadap penerapan praktik irigasi (Arif *et al.* 2012). Penentuan nilai *Kc* dalam penelitian ini menggunakan persamaan berikut:

$$Kc = \frac{ETc}{ETp in} \dots\dots\dots (1)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Dimana, ET_c adalah evapotranspirasi aktual tanaman (mm h^{-1}) dan $ET_{p_{in}}$ adalah evapotranspirasi potensial di dalam rumah tanaman. Nilai K_c dalam hasil penelitian dibandingkan dengan nilai referensi K_c selada dari Allen *et al.* (1998b). Hasil nilai K_c terhadap waktu diinterpolasi menggunakan persamaan matematika yang menghasilkan akurasi tinggi untuk mengetahui fungsi koefisien tanaman temporal.

Produksi selada menggunakan THST modifikasi di rumah tanaman akhirnya digunakan untuk menentukan hasil dan produktivitas air. Persamaan untuk menghitung hasil dan produktivitas air ditulis sebagai berikut:

$$Yield = \frac{DW}{A} \dots\dots\dots (2)$$

$$WP = \frac{DW}{CU} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana, $Yield$ adalah produksi selada (g m^{-2}), WP adalah produktivitas air (g liter^{-1}), DW adalah berat selada kering (g), A adalah luas area tanam (m^2), dan CU adalah penggunaan konsumtif air oleh selada. Tingkat produktivitas air terhadap penggunaan konsumtif air oleh selada ditentukan untuk menentukan fungsi produktivitas air temporal dari selada yang ditanam menggunakan teknologi hidroponik terapung di dalam rumah perkebunan.

3.4 Hasil dan Pembahasan

3.3.1 Iklim

Iklim di dalam rumah tanaman sangat berbeda dengan luar rumah tanaman. Sinar matahari yang menembus atap transparan memainkan peran penting dalam membentuk iklim di dalam rumah tanaman. Pada hari-hari ketika sinar matahari cerah, radiasi matahari di dalam rumah tanaman berkisar antara 49% hingga 61% dari luar selama 40 hari budidaya selada. Ada kecenderungan radiasi matahari menurun seiring waktu terutama karena akumulasi debu di sisi luar atap transparan. Radiasi matahari harian di luar rumah tanaman berkisar antara $5.702 \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ hingga $33.086 \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ sedangkan di dalam rumah tanaman berkisar antara $3.484 \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ hingga $16.303 \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Pengurangan transmisivitas sinar matahari hingga 77% dilaporkan karena perubahan panjang gelombang (Boulard *et al.* 2017). Faktor-faktor lain yang mungkin juga berkontribusi pada pengurangan radiasi matahari adalah pengembangan kanopi tanaman, naungan tambahan yang digunakan di rumah tanaman dan sudut datangnya sinar matahari (Cossu *et al.* 2014). Sebaliknya, suhu di dalam rumah tanaman relatif lebih tinggi daripada di luar karena efek rumah kaca yang menjebak radiasi gelombang panjang (Lamnatou dan Chemisana 2013). Menggunakan PV sebagai atap rumah tanaman untuk naungan di iklim panas juga mengurangi suhu udara di dalam rumah-rumah tanaman dan radiasi matahari yang tinggi (Hassanien *et al.* 2016). Suhu tertinggi dan terendah di luar rumah tanaman masing-masing adalah $34.4 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $21.0 \text{ }^\circ\text{C}$ sementara yang di dalam adalah $35.4 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $21.2 \text{ }^\circ\text{C}$. Kelembaban relatif (RH) di luar rumah tanaman berkisar antara 80.6% hingga 99.6% dengan rata-rata 90.6% sementara yang di dalam berkisar antara 79.0% hingga 96.7% dengan rata-rata 88.3%. Kelembaban yang lebih rendah di dalam rumah ini mengikuti suhu yang lebih tinggi.



3.3.2 Evapotranspirasi Potensial (*ETp*)

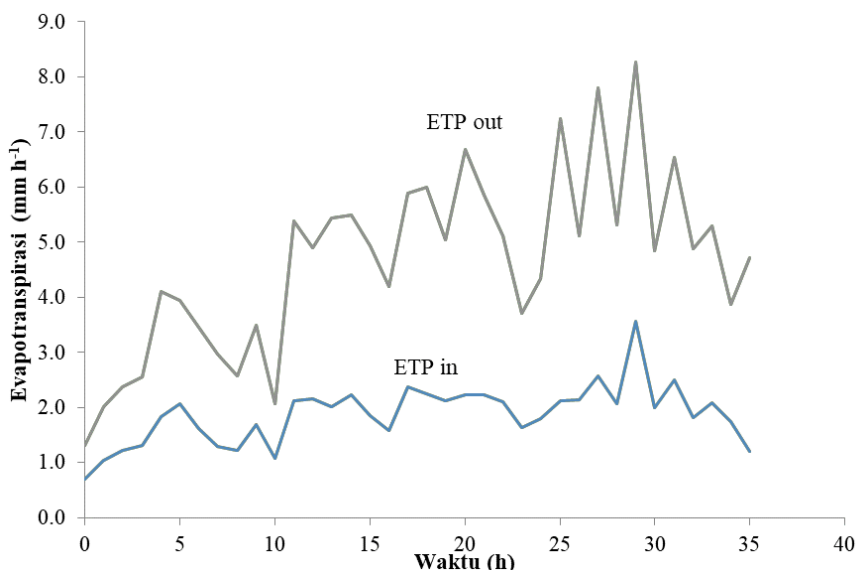
Berdasarkan model evapotranspirasi yang sesuai dengan data iklim yang tersedia, evapotranspirasi potensial (*ETp*) di luar rumah tanaman yang diperkirakan oleh model HRG berkisar antara 1.3 mm h⁻¹ hingga 8.3 mm h⁻¹ dengan rata-rata 4.7 mm h⁻¹; model BLC dari 6.7 mm h⁻¹ hingga 9.4 mm h⁻¹ dengan rata-rata 8.4 mm h⁻¹; model LNC dari 2.1 mm h⁻¹ hingga 4.3 mm h⁻¹ dengan rata-rata 3.3 mm h⁻¹; model KRF dari 8.2 mm h⁻¹ hingga 12.2 mm h⁻¹ dengan rata-rata 10.6 mm h⁻¹; Model RMN mulai 0.2 mm h⁻¹ hingga 8.7 mm h⁻¹ dengan rata-rata 4.4 mm h⁻¹; Model JSH dari 0.1 mm h⁻¹ hingga 1.8 mm h⁻¹ dengan rata-rata 0.9 mm h⁻¹; dan model TRC dari 0.40 mm h⁻¹ hingga 0.44 mm h⁻¹ dengan rata-rata 0.42 mm h⁻¹. Di antara model-model itu, kisaran paling realistis dari evapotranspirasi potensial diwakili dengan tepat oleh model HRG, LNC dan RMN. Evapotranspirasi kumulatif dari ketiga model ini adalah masing-masing 167.7 mm, 119.7 mm dan 157.0 mm.

ETp di dalam rumah tanaman berdasarkan model HRG berkisar antara 0.8 mm h⁻¹ hingga 4.2 mm h⁻¹ dengan rata-rata 2.2 mm h⁻¹; model LNC dari 2.3 mm h⁻¹ hingga 4.5 mm h⁻¹ dengan rata-rata 3.6 mm h⁻¹; dan model RMN mulai 1.4 mm h⁻¹ hingga 9.7 mm h⁻¹ dengan rata-rata 5.5 mm h⁻¹. Evapotranspirasi kumulatif dari ketiga model ini masing-masing adalah 79.3 mm, 127.8 mm, dan 198.4 mm. Sementara dua model lainnya menghasilkan evapotranspirasi kumulatif yang lebih tinggi dibandingkan dengan di luar rumah tanaman, model HRG menghasilkan nilai yang paling realistis dimana evapotranspirasi kumulatif potensial (79.3 mm) lebih rendah daripada yang di luar (167.7 mm). Evapotranspirasi aktual kumulatif di dalam rumah tanaman sendiri adalah 44 mm yang kemudian dirujuk untuk koefisien penyesuaian *Co/Kr* dan menemukan koefisien tanaman harian (*Kc*). Kalibrasi atau penyesuaian koefisien model Hargreaves untuk kondisi iklim yang berbeda adalah pendekatan yang diterima dengan baik untuk mencapai estimasi bebas kesalahan dari persamaan (Patel *et al.* 2014). Model Hargreaves (Persamaan 4) dengan koefisien yang dioptimasi (*Co/Kr*) adalah 0.0116, atau menjadi persamaan berikut:

$$ETp_{inside} = 0.0116 R_{s\ inside} (T_{mean\ inside} + 17.8) \dots\dots\dots (4)$$

Gambar 4 menunjukkan *ETp* harian di dalam dan di luar rumah tanaman yang dihitung dengan model Hargreaves. *ETp* harian di dalam rumah tanaman selalu lebih rendah daripada di luar dengan rasio rata-rata (*slope*) 0.392 dan R² = 0.738.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 4 ETP di luar (ETPout) dan di dalam (ETPin) rumah tanaman

3.3.3 Evapotranspirasi Aktual (ETc)

Gambar 5 menunjukkan tinggi muka air harian yang dapat mewakili air yang dikonsumsi oleh tanaman atau evapotranspirasi aktual. Tinggi muka air harian dapat diperkirakan dengan persamaan polinomial orde 3 (Persamaan 5) menghasilkan R² 0.998.

$$h = - 0.00027 t^3 + 0.00198 t^2 - 0.73380 t + 1.5832 \dots\dots\dots (5)$$

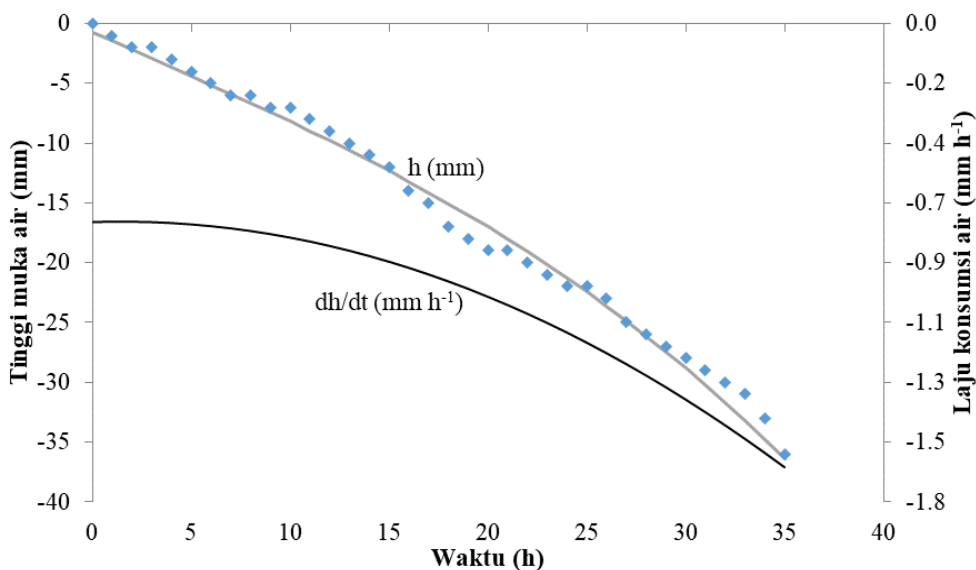
Dimana *h* adalah ketinggian air (mm) dan *t* adalah waktu (hari).

Jumlah total evapotranspirasi aktual adalah sekitar 44 mm. Derivasi pertama dari persamaan (5) mengacu pada laju harian evapotranspirasi aktual, atau ditulis sebagai persamaan berikut:

$$-dh/dt = - 0.00081 t^2 + 0.00396 t - 0.73380 \dots\dots\dots (6)$$

Menurut Esquivia *et al.* (2016) *ETc* selada yang terakumulasi dalam siklus tanam selama 60 hari adalah 78.58 mm. Konsumsi air pada fase pertumbuhan lambat adalah 31.83 mm (40.51% dari total konsumsi), dan pada fase pertumbuhan cepat) adalah sebesar 46.75 mm (59.49% dari total air dikonsumsi).

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, dalam penelitian ini laju konsumsi air oleh tanaman meningkat pada awal pertumbuhan dari 0.73 mm h⁻¹ menjadi 1.86 mm h⁻¹ sebelum waktu panen dengan rata-rata 1.1 mm h⁻¹. Peningkatan evapotranspirasi aktual pada waktu di mana nilai mencapai puncak saat berbunga dan berbuah dilaporkan sebelumnya oleh (Grewal *et al.* 2011).



Gambar 5 Tinggi muka air harian selama budidaya selada

Hasil penelitian menunjukkan bahwa evapotranspirasi aktual (ET_c) dipengaruhi oleh umur selada. Selama tahap awal pertumbuhan ketika selada masih kecil, tingkat konsumsi air minimal dan saat selada meningkatkan ukurannya, tingkat konsumsi air juga meningkat. Tanaman selada yang sepenuhnya dikembangkan dan matang dalam hidroponik mengkonsumsi banyak air, dan perubahan kondisi iklim juga menyebabkan pergeseran yang signifikan dalam konsumsi air selama tahap pertumbuhan (Pelesco dan Alagao 2014).

3.3.4 Koefisien Tanaman (K_c)

Gambar 6 menunjukkan variasi koefisien tanaman selada selama pertumbuhan tanaman. Nilai K_c selada pada fase awal (pada hari 0–6 setelah penanaman) adalah 0.7 hingga 0.5, pada fase tengah (pada hari 17–23 setelah penanaman) adalah 0.4 hingga 0.7, dan pada fase akhir musim (pada hari ke 30–36 setelah penanaman) adalah 0.6 hingga 1.4. K_c selada selama periode tanam pada penelitian ini membentuk garis parabola dengan persamaan polinomial orde 2 berbentuk $K_c = 0.0012 t^2 + 0.0315 t + 0.6772$, dimana K_c adalah koefisien tanaman selada, dan t adalah waktu (hari), dengan $R^2 = 0.6418$.

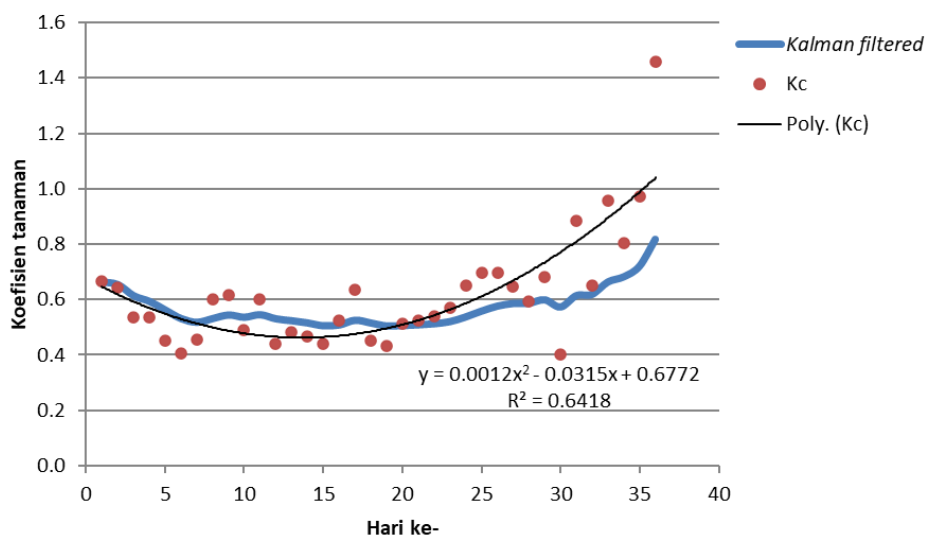
Nilai K_c pada penelitian ini kemudian dilakukan filterisasi dengan metode Kalman filter untuk menghasilkan nilai efisien (rekursi) dalam arti mengestimasi dengan cara meminimalisasi *mean* kuadrat eror. Rudiyanto *et al.* (2006) menyatakan bahwa pada pengolahan data menggunakan Kalman Filter perlu ditentukan terlebih dahulu nilai jumlah data (N), kovarian gangguan pada proses (Q), dan kovarian gangguan pada data (R). Pada penelitian ini, N yang digunakan adalah 36 data K_c selama periode tanam, sedangkan nilai Q dan R mengikuti nilai yang digunakan Rudiyanto *et al.* (2006), yakni 0.000002 dan 0.0001.

Hasil filterisasi menunjukkan nilai K_c selada dengan budidaya modifikasi THST dalam rumah tanaman pada fase awal adalah 0.7, pada fase tengah adalah 0.5, dan pada fase akhir tanaman adalah 0.8. Allen *et al.* (1998b) menyatakan bahwa nilai umum untuk K_c selada di lapangan di bawah

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

manajemen irigasi tipikal dan pembasahan tanah pada fase awal adalah 0.7, pada fase tengah adalah 1.00, dan pada fase akhir tanam adalah 0.95.



Gambar 6 Nilai K_c selama periode tanam

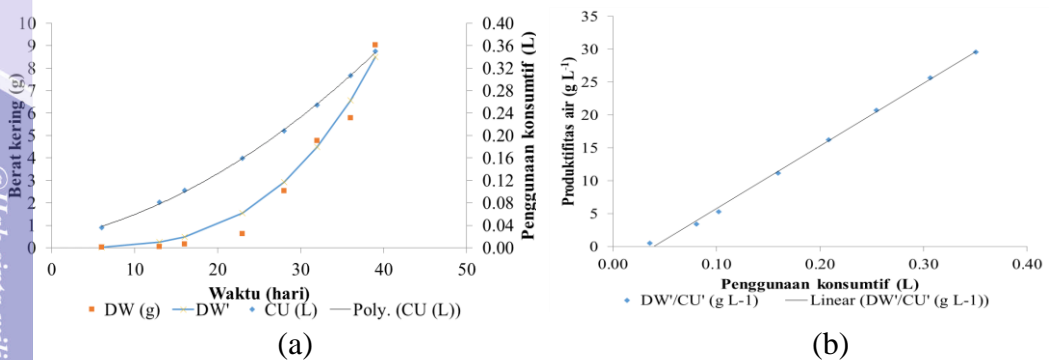
3.3.5 Produktivitas Air

Hasil selada dalam penelitian ini adalah 1114.6 g m^{-2} , dan produktivitas air adalah $29.58 \text{ g liter}^{-1}$. Gambar 7 (a) menunjukkan penggunaan air konsumtif oleh tanaman menjadi bobot kering pada hari setelah tanam. Peningkatan konsumsi air juga meningkatkan berat kering. Penggunaan konsumtif (CU) dapat diperkirakan dengan persamaan polinomial orde 3 dengan R^2 0.9996 berbentuk $CU = 0.0001 t^2 + 0.0031 t + 0.0146$, dimana CU adalah konsumsi air selada (liter) dan t adalah waktu (hari). Sedangkan bobot kering (DW) dapat diperkirakan dengan persamaan berbentuk $DW = 0.000062 t^{3.2277}$ dengan R^2 0.9803 dimana DW adalah bobot kering selada (g), dan t adalah waktu (hari).

Produktivitas air berasal dari persamaan DW dibagi dengan persamaan CU . Ini berarti setiap liter air yang dikonsumsi akan menghasilkan biomassa (g liter^{-1}). Pada periode tanam 6 hari pertama, 0.04 liter penggunaan air konsumtif menghasilkan $0.55 \text{ g liter}^{-1}$ dari berat kering selada. Pada periode tanam tengah pada hari ke-23, 0.16 liter penggunaan air konsumtif menghasilkan $11.15 \text{ g liter}^{-1}$ berat kering. Dan pada hari panen, 0.35 liter penggunaan air konsumtif menghasilkan $29.58 \text{ g liter}^{-1}$ berat kering. Produktivitas air selada dalam penelitian ini lebih kecil dari produktivitas selada basah dengan irigasi tetes dengan pasokan air terbatas (Contreras *et al.* 2008) dengan nilai 0.61 kg m^{-3} . Berdasarkan Gambar 7 (b), fungsi produktivitas air dapat diperkirakan dengan persamaan linear (Persamaan 7) dengan R^2 sebesar 0.9979.

$$WP = 95.552 CU - 3.792 \dots\dots\dots (7)$$

Di mana, WP adalah produktivitas air (g liter^{-1}) dan CU adalah penggunaan konsumtif (liter).



Gambar 7 (a) Berat kering dan konsumsi air yang digunakan oleh selada selama masa tanam (b) Produktivitas air dari budidaya selada dengan THST modifikasi

5.5 Simpulan

Iklm mikro di dalam rumah tanaman sangat berbeda dengan di luar rumah tanaman. Selama 40 hari penanaman selada, radiasi matahari di dalam rumah tanaman berkisar 3.484–16.303 MJ m⁻² h⁻¹ dan di luar 5.702–33.086 MJ m⁻² h⁻¹, suhu di dalam rumah tanaman berkisar 21.2–35.4 °C dan di luar 21.0–34.4 °C, dan kelembaban relatif di dalam rumah tanaman berkisar 79.0%–96.7% dan di luar 80.6%–99.6%. Evapotranspirasi potensial di dalam rumah tanaman berkisar 0.8–4.2 mm h⁻¹ yang dapat diperkirakan dengan tepat menggunakan model Hargreaves dengan optimasi koefisien penyesuaian (*Co/Kr*) adalah 0.0116. Koefisien tanaman (*Kc*) berubah terhadap waktu membentuk persamaan parabola yang dimulai sebesar 0.7 pada awal tanam kemudian menurun hingga mencapai 0.5 kemudian meningkat menjadi 0.8 pada hari tanam ke-36. Produktivitas selada sebesar 1114.6 g m⁻² memiliki produktivitas air 29.58 g liter⁻¹ yang secara linier terkait dengan penggunaan konsumtif air oleh selada.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

4 MODEL IRIGASI EVAPOTRANSPIRATIF BAWAH PERMUKAAN DIUJI DENGAN TANAMAN KANGKUNG

4.1 Abstrak

Penyediaan irigasi untuk tanaman yang sesuai dengan jumlah evapotranspirasi tanaman atau kehilangan air oleh tanaman sangat penting untuk meningkatkan produktivitas air. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi irigasi adalah dengan menerapkan sistem irigasi cerdas. Sistem irigasi otomatis yang cerdas berbiaya mahal karena menggunakan berbagai instrumen mikrokontroler. Pada penelitian ini, perancangan model irigasi memanfaatkan teknologi irigasi otomatis berdasarkan prinsip evapotranspirasi yang dapat menekan biaya tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan irigasi bawah permukaan evapotranspiratif yang diuji dengan kangkung dan menguji kinerja model ditinjau dari produktivitas air secara fisik dan ekonomi. Sistem irigasi bawah permukaan evapotranspiratif menggunakan pot berbentuk kerucut terbalik dengan diameter atas 40 cm. Pot tersebut terdiri dari 1 pot sebagai suplai air irigasi, 13 pot sebagai pot tanam, dan 1 pot untuk pengukuran penguapan. Pot-pot dihubungkan dengan pipa berdiameter $\frac{1}{2}$ in sehingga ketinggian air di pot sama. Model ini memberikan hasil yang baik. Produktivitas air secara fisik sebesar $12.32 \text{ g liter}^{-1}$ dan produktivitas ekonomi air sebesar $9.2/\text{kg}$ dapat menghemat Rp 22.7/kg untuk biaya air irigasi dalam produksi tanaman.

4.2 Pendahuluan

Pemenuhan kebutuhan air tanaman yang tidak terukur dan presisi dapat menyebabkan terbuangnya air secara percuma. Pertanian presisi menurut Amin *et al.* (2011) membutuhkan pemberian masukan yang tepat di tempat yang tepat, pada waktu yang tepat dan dalam jumlah yang tepat atau pengelolaan zona spesifik lokasi. Penyediaan irigasi untuk tanaman yang sesuai dengan jumlah evapotranspirasi tanaman atau hilangnya air oleh tanaman sangat penting untuk meningkatkan produktivitas air. Pengelolaan air berdasarkan kebutuhan air tanaman merupakan kebutuhan pokok dalam irigasi, yang dapat dideteksi dengan perhitungan evapotranspirasi tanaman (ET) yang akurat (Li *et al.* 2008; de Oliveira *et al.* 2009; Bezerra *et al.* 2015; Z. Liu *et al.* 2020). Evapotranspirasi acuan (ET_0) merupakan faktor utama dalam menentukan kebutuhan air tanaman pada irigasi evaporatif (Arif *et al.* 2021a).

Berbagai teknologi irigasi sudah banyak diterapkan di Indonesia. Irigasi evaporatif merupakan suatu konsep pengendalian air irigasi yang didasarkan pada respon tanaman yang diwakili oleh laju evaporasi dan evapotranspirasi (Ardiansyah *et al.* 2019).

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi irigasi adalah dengan menerapkan sistem irigasi cerdas (*smart irrigation*). Sistem irigasi otomatis yang cerdas dapat menghabiskan biaya yang tinggi karena menggunakan berbagai instrumen mikrokontroler. Dalam penelitian ini, sistem irigasi dirancang menggunakan teknologi irigasi otomatis berdasarkan prinsip evapotranspirasi yang dapat menekan biaya tinggi. Berbagai instrumen mikrokontroler yang biasanya digunakan dalam smart irigasi dieliminasi dengan cara mendesain sistem irigasi



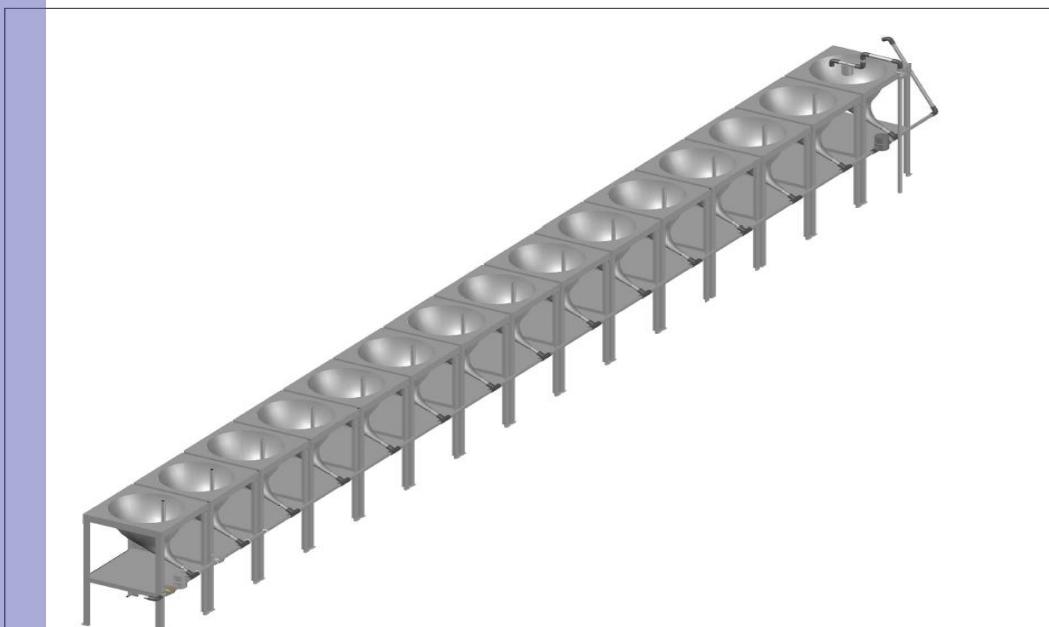
evapotranspiratif yang dikontrol oleh stopkeran pelampung berdasarkan laju evaporasi dan evapotranspirasi tanpa tenaga listrik. Sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang dirancang diharapkan dapat menjadi pilihan yang tepat dalam mengatur air irigasi secara lebih efektif dan efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji kinerja irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang digunakan dalam budidaya sayuran dalam pot, dan mengetahui implikasinya terhadap produksi biomassa dan produktivitas air.

4.3 Metode

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sumber Daya Air, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor dari tanggal 10 November 2020 sampai 27 Desember 2020. Lokasi penelitian berada pada ketinggian 250 m di atas permukaan laut dengan latitude -6.56 dalam radian.

Sistem budidaya tanaman kangkung yang diterapkan pada penelitian ini menggunakan pot tanam berbentuk kerucut terbalik yang terpotong pada bagian bawah dengan diameter permukaan atas 40 cm, diameter bagian bawah 10 cm, dan tinggi 23 cm. Pot tanam yang digunakan sebagai media tanam terdiri dari 13 pot, 1 pot yang tidak ditanami untuk pengukuran evaporasi, dan 1 pot sebagai tanki irigasi. Rangkaian pot sebagai sistem budidaya tanaman kangkung tersebut disusun memanjang dengan pipa sebesar 1/2 in sebagai penghubung. Sebanyak 2 buah meteran air dipasang untuk mengukur jumlah air yang masuk dan keluar pada sistem tanam. Media tanam yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah aluvial yang dicampur dengan pupuk organik. Sistem pot tanam yang diaplikasikan dapat dilihat seperti pada Gambar 8.



Gambar 8 Sistem pot irigasi evapotranspiratif

Konsep dasar sistem irigasi evapotranspiratif ini dibangun atas prinsip-prinsip sederhana dari respon tanaman terhadap evapotranspirasi dan evaporasi. Desain irigasi ini diklasifikasikan sebagai irigasi bawah permukaan yang memiliki efisiensi tinggi. Irigasi evapotranspiratif dapat disebut juga sebagai irigasi otomatis

yang menggunakan prinsip sederhana. Ide irigasi ini mengontrol suplai air dengan katup pelampung air berdasarkan tingkat kehilangan air akibat penguapan. Sistem ini tidak memerlukan tenaga listrik untuk mengatur katup pelampung karena bekerja secara otomatis pada ketinggian air tertentu (Arif *et al.* 2021b). Katup pelampung otomatis terhubung langsung dengan sumber air utama, kemudian air disuplai ke pot melalui prinsip bejana berhubungan. Prinsip wadah atau bejana berhubungan adalah jika suatu bejana diberikan cairan yang sejenis, maka bejana ini akan memiliki tinggi muka air yang sama di semua wadah (Dewi *et al.* 2020).

Selama masa budidaya, apabila terjadi kehilangan air pada system pot tanam, input air dari stopkran utama akan otomatis mengalir ke reservoir sesuai dengan kebutuhan, yaitu berdasarkan ketinggian muka air yang telah ditentukan. Muka air pada pot silinder akan mengikuti ketinggian reservoir sumber air. Pengaturan awal ketinggian muka air pada penelitian ini adalah ± 0 mm pada permukaan tanah.

Sistem irigasi ini dikendalikan sepenuhnya oleh evapotranspirasi dan hujan. Ketika evapotranspirasi terjadi, system pot tanam akan kehilangan air akibat terjadinya penguapan oleh tanaman itu sendiri dan pada permukaan tanah. Penurunan muka air tersebut akan otomatis membuka kran pelampung yang terhubung ke sumber air dan melepaskan air sesuai dengan besarnya jumlah kehilangan air. Air yang ditambahkan pada reservoir ini akan otomatis mengalir ke setiap pot melalui pipa distribusi. Ketika terjadi hujan, air yang jatuh akan tertampung pada system pot tanam. Apabila volume air hujan sudah melebihi volume tampungan kosong pada pot dan telah malampaui kapasitas infiltrasi, air hujan akan mengalir keluar sebagai *runoff* dan debit drainase.

Selama budidaya, ketinggian muka air dipertahankan pada ketinggian air reservoir. Volume air irigasi yang masuk ke system pot tanam dihitung melalui meteran air yang dipasang di pipa saluran masuk. Air hujan yang jatuh pada system pot tanam juga dihitung volumenya menggunakan sensor Decagon ECRN-100 Rain Gauge yang dipasang pada lokasi penelitian. Volume air yang terdrainase dihitung menggunakan meteran air pada pipa drainase.

Mengingat pot berbentuk kerucut terpotong, volume air dalam pot dihitung sebagai berikut:

$$V_i = \frac{\pi}{3}(R_i^2 H_i - R_0^2 h_0) \dots \dots \dots (8)$$

$$H_i = h_i + \theta_i Z_i \dots \dots \dots (9)$$

Dimana R adalah jari-jari kerucut pada H (cm), R_0 dan h_0 bernilai tetap masing-masing 34 cm dan 22 cm, h adalah muka air di lapisan tanah jenuh (cm), θ adalah kadar air volumetrik dalam lapisan tanah tak jenuh ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), dan Z adalah kedalaman lapisan tanah tak jenuh (mm).

Dengan memasukkan volume air dalam biomassa, maka volume air secara keseluruhan dapat ditulis sebagai berikut:

$$V_{T,i} = V_i^t + V_{b,i}^t \dots \dots \dots (10)$$

Dimana V_T dan V_b adalah volume air secara total dan dalam biomassa (cm^3).

Secara umum pola penanaman yang diterapkan pada penelitian ini adalah penyemaian benih tanaman kangkung selama 7 hari, kemudian benih tanaman yang telah berkecambah dipindahkan pada sistem pot tanam. Kangkung ditanam selama lebih kurang 14 hari, dan pada hari ke-15 dilakukan pemanenan. Tanaman



kangkung yang dipanen hanya diambil daunnya saja, sehingga batang yang tertinggal akan menumbuhkan daun kangkung kembali setelah pemanenan. Pada penelitian ini siklus penanaman kangkung ini dilakukan sebanyak 3 kali.

Pupuk yang digunakan sebagai nutrisi tanaman untuk pengujian budidaya kangkung dengan irigasi evapotranspiratif ini adalah pupuk cair organik EM4 dengan dosis 10cc/liter air yang diberikan tiap 2 minggu sekali.

Dari *yield* biomassa yang dihasilkan dalam penelitian ini, kita dapat menganalisis besarnya produktivitas air. Ada dua istilah produktivitas air dalam penelitian ini, yaitu produktivitas air secara fisik dan produktivitas air secara ekonomis. Persamaan produktivitas air dituliskan seperti pada persamaan (11) dan (12) di bawah ini:

$$WP_{ETc} = \frac{yield}{ETc} \dots\dots\dots (11)$$

$$WP_E = \frac{1}{yield/I_r/harga\ air} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana WP_{ETc} adalah produktivitas air secara fisik ($g\ liter^{-1}$), WP_E adalah produktivitas air ekonomis (Rp/kg), *yield* adalah hasil panen biomassa (g), ETc adalah evapotranspirasi actual (liter), dan I_r adalah besarnya air irigasi yang diberikan (liter).

4.4 Hasil dan Pembahasan

4.4.1 Implementasi Desain Sistem Irigasi

Model sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang terlihat seperti pada Gambar 9 menggunakan (1) pot silinder sebagai reservoir, (2) stopkeran pelampung otomatis, (3) meteran air, (4) pipa drainase, (5) pot silinder sebagai media tanam yang berjumlah 13 pot, dan (6) pipa distribusi.



Gambar 9 *Prototype* sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan

Berdasarkan hasil uji kebocoran, system pot tanam menunjukkan tidak terjadi adanya kebocoran dan air dari pot reservoir dapat mengalir dengan baik

melalui pipa distribusi menuju ke pot-pot tanam silinder. Tinggi muka air juga dapat mencapai muka air yang sama pada seluruh pot baik pot reservoir maupun 13 pot tanam. Air dapat terdistribusi secara terus menerus dan membasahi hingga ke permukaan tanam pada pot tanam. Hal ini mengindikasikan bahwa system irigasi evapotranspiratif bawah permukaan dapat bekerja dan berfungsi dengan baik.

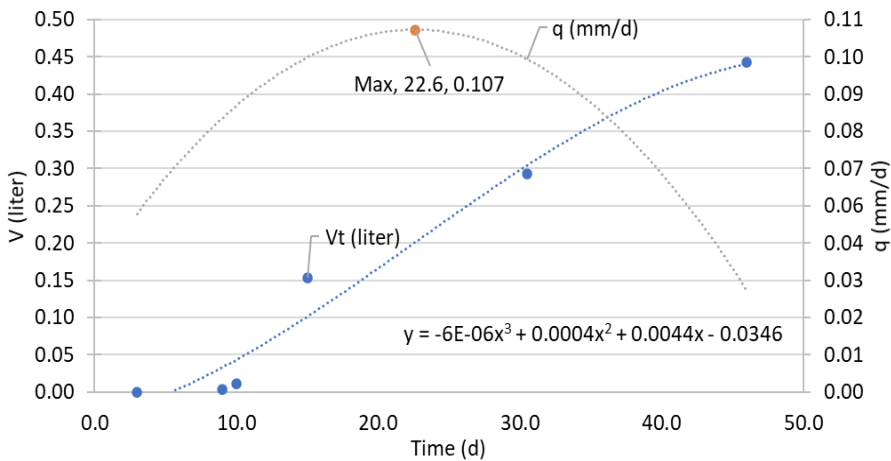
Berdasarkan hasil pemantauan terhadap kadar air volumetric tanah (θ) pada model irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang diuji coba dengan tanaman kangkung, nilai θ berada pada kisaran 29%–78% dengan rata-rata sebesar 58% selama 3 periode tanam. Kadar air tanah adalah salah satu parameter untuk mengevaluasi aspek fungsional dari aplikasi sistem irigasi (Dewi *et al.* 2020).

Budidaya tanaman dengan sistem pertanian yang teririgasi, termasuk budidaya dalam rumah tanaman, sering mengalami kadar air tanah yang berfluktuasi yang ditandai dengan siklus pengeringan dan pembasahan tanah yang berulang (Barickman *et al.* 2020). Pada penelitian ini kadar air tanah mengalami fluktuasi selama 3 periode tanam yang diakibatkan oleh beberapa factor seperti iklim, curah hujan, dan irigasi evapotranspiratif bawah permukaan itu sendiri. Pada kondisi ini, akar tanaman tetap dapat menyerap air dengan cukup baik. Pada saat tidak terjadi hujan, kadar air tanah pada sistem pot cenderung menurun. Sistem irigasi evapotranspiratif ini akan segera mensuplai air melalui bawah permukaan untuk menjaga kadar air tanah pada pot tanam tetap optimal. Sementara itu, kadar air tanah pada sistem pot akan meningkat bahkan dapat mendekati kondisi jenuh air apabila curah hujan yang terjadi cukup besar. Bagaimanapun, sistem ini mampu diandalkan untuk mendrainase volume kelebihan air yang berada pada pot tanam dengan segera dan mengembalikan kembali tinggi muka air dan kadar air tanah pada *initial condition*-nya. Pembasahan dan pengeringan tanah melalui praktik irigasi juga umum untuk memperoleh efisiensi penggunaan air yang lebih banyak dan untuk mengkondisikan dinamika aerobik-anaerobik di zona akar yang sangat penting untuk menyebarkan aktivitas mikroorganisme dan untuk mengontrol respirasi tanah (Setiawan *et al.* 2015).

4.4.2 Perubahan Volume Air pada Pot terhadap Waktu ($\Delta V/\Delta t$)

Perubahan volume air terhadap waktu ($\Delta V/\Delta t$) di dalam sistem pot tanam selama 3 periode masa tanam atau 45 hari dapat dilihat seperti pada Gambar 10. Perubahan volume air pada sistem irigasi ini diketahui melalui data bacaan meteran air yang dipasang pada sumber suplai air di reservoir yang menuju ke pipa distribusi.





Gambar 10 Volume air dalam pot tanam

Dengan melakukan interpolasi terhadap bacaan meteran air pada pot tanam setiap hari, fungsi untuk menghitung volume air dalam pot terhadap waktu dapat didekati dengan persamaan polinomial orde 3 yang berbentuk:

$$V = -0.000006 t^3 + 0.0004 t^2 + 0.0044 x - 0.0346 \dots\dots\dots (13)$$

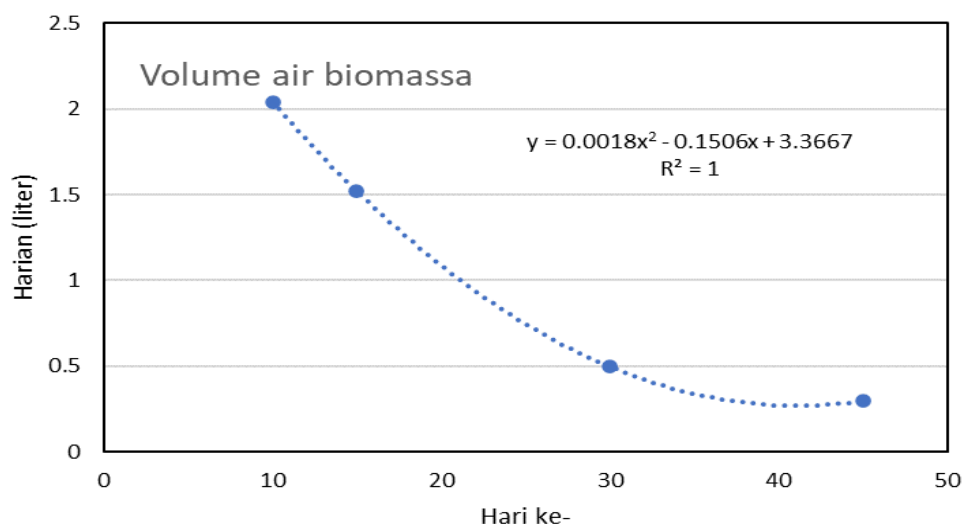
Dimana V adalah volume air dalam pot (l), dan t adalah waktu (hari).

Perubahan volume air melalui pot reservoir yang disediakan pada system irigasi evapotranspiratif bawah permukaan baru terjadi pada hari ke-10 HST dengan penambahan sebesar 0.01 liter. Penambahan volume air terus meningkat seiring dengan bertambahnya hari tanam. Pada hari ke-15, 30, dan 46, peningkatan volume air melalui irigasi evapotranspiratif berturut-turut adalah sebesar 0.15 liter, 0.29 liter, dan 0.44 liter. Laju konsumsi air yang terus menerus meningkat selama masa tanam juga dilaporkan oleh Grewal *et al.* (2011) dan Muharomah *et al.* (2017).

Dari persamaan (10) tersebut kemudian dilakukan derivasi untuk mendapatkan nilai debit (q). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, dalam penelitian ini nilai debit membentuk kurva berbentuk parabola dengan debit maksimum terjadi pada hari ke-22 HST sebesar 0.107 mm h^{-1} . Pada hari awal tanam, nilai debit adalah sebesar 0.053 mm h^{-1} dan pada hari terakhir nilai debit adalah sebesar 0.03 mm h^{-1} .

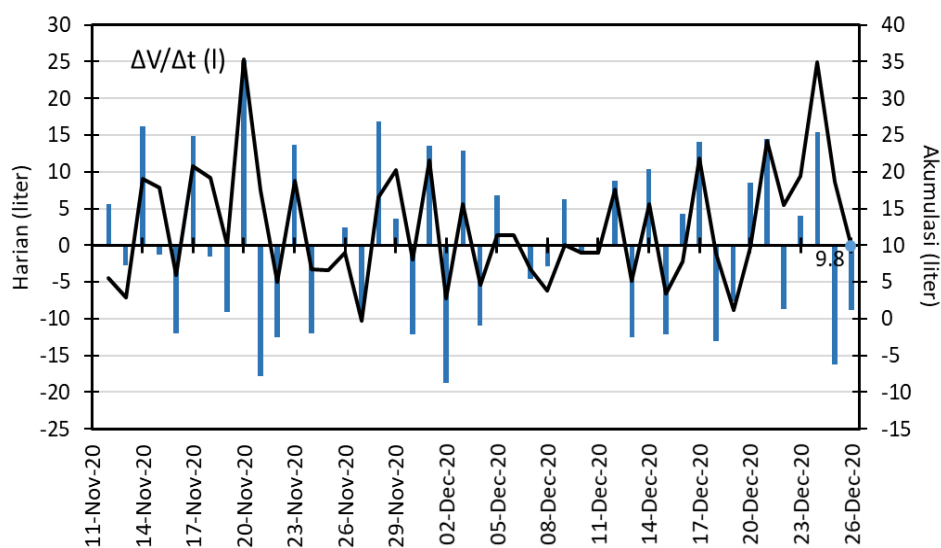
Volume air dalam biomassa (V_b) juga mempengaruhi total jumlah air yang tersimpan di dalam system pot tanam. Volume air dalam biomassa (V_b) yang diukur dari hasil panen tanaman kangkung dapat digambarkan seperti pada Gambar 11. Dari interpolasi titik-titik nilai hasil panen, nilai V_b dapat didekati dengan persamaan polinomial orde 2 yang berbentuk

$$Vb = 0.0018 t^2 - 0.1506 t + 3.3667 \dots\dots\dots (14)$$



Gambar 11 Volume air biomassa

Perubahan total volume air pada pot tanam terhadap waktu selama 3 periode ujicoba tanaman kangkung dengan system irigasi evapotranspiratif bawah permukaan dapat dilihat seperti pada Gambar 12.



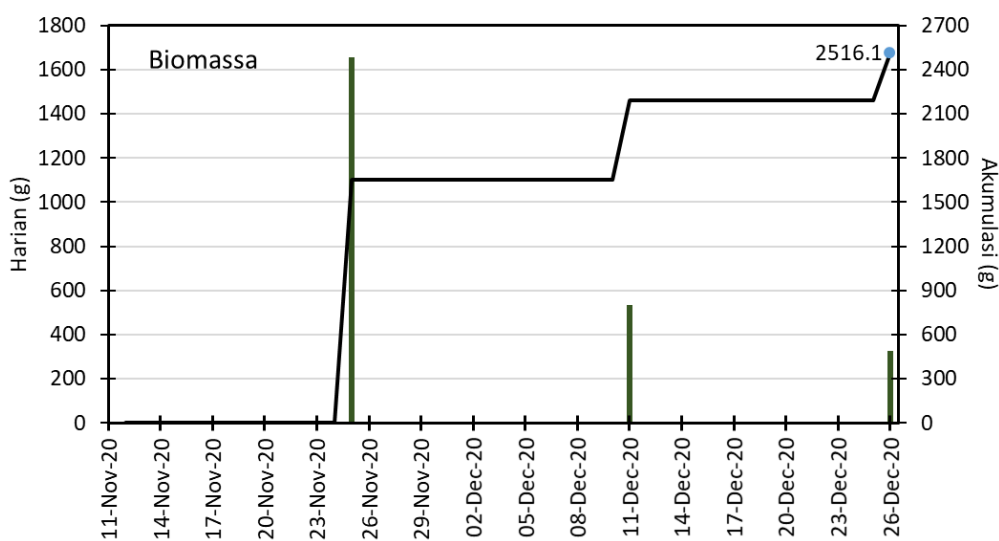
Gambar 12 Perubahan volume air pada pot terhadap waktu

4.4.3 Biomassa

Pengetahuan tentang respon *yield* biomassa terhadap penggunaan air sangat krusial untuk membangun model irigasi yang tepat dan sesuai agar dapat mengatasi variabilitas kondisi iklim, keterbatasan ketersediaan air, dan kebutuhan untuk meningkatkan hasil dan keuntungan ekonomis (Pereira *et al.* 2020). Dalam penelitian ini total hasil *yield* yang dihasilkan selama 3 periode tanam selama 45 hari adalah sebesar 2516.1 g. Pada periode tanam pertama, total *yield* yang dihasilkan adalah sebesar 1654.66 g untuk 13 pot tanam, dengan berat air sebesar 171.2 g dan konsumsi air oleh tanaman sebesar 120.03 liter. Pada periode tanam kedua, total *yield* yang dihasilkan menurun sebesar 534.51 g untuk 13 pot tanam, dengan berat air sebesar 180.94 g dan konsumsi air oleh tanaman sebesar 123.02 liter. Pada periode tanam yang ketiga, total *yield*

semakin menurun hingga sebesar 326.91 g untuk 13 pot tanam, dengan berat air sebesar 161.98 g dan konsumsi air oleh tanaman sebesar 161.12 liter.

Gambar 13 menunjukkan grafik *yields* kangkung yang dihasilkan selama penelitian. Hasil *yield* yang terus menurun pada periode tanam berikutnya diakibatkan oleh kondisi tanaman kangkung yang semakin menua, sehingga batang-batang kangkung semakin banyak yang mati dan tidak dapat menghasilkan daun. Kedepannya, model respon pertumbuhan tanaman diharapkan dapat dikembangkan agar dapat digunakan untuk memprediksi hasil biomassa sebagai output dari kombinasi antara pengelolaan tanaman dan manajemen irigasi yang diimplementasikan.



Gambar 13 Hasil panen (*yield*)

4.4.4 Produktivitas Air

Ada dua istilah produktivitas air dalam penelitian ini, yaitu produktivitas air secara fisik dan ekonomis. Produktivitas air secara fisik maksudnya adalah jumlah biomassa yang dapat dihasilkan dalam sejumlah air yang dikonsumsi oleh tanaman dalam satuan berat. Penggunaan air secara konsumtif sangat mempengaruhi *yield* dan produktivitas air secara fisik (Muharomah *et al.* 2020). Produktivitas air secara ekonomis adalah jumlah hasil biomassa yang dapat dihasilkan dalam satuan berat dari setiap Rupiah jumlah air irigasi yang digunakan. Total biomassa yang dihasilkan selama 3 periode tanam selama 45 hari dalam penelitian ini adalah sebesar 2516.1 g, sementara total laju konsumsi air selama masa tanam adalah sebesar 204.3 liter. Jumlah input air irigasi yang diberikan selama 45 hari masa tanam adalah sebesar 1.9 liter. Kisaran harga air bersih di lokasi penelitian adalah sekitar Rp.12000/m³. Sehingga produktivitas air secara fisik (WP_{ETc}) dalam penelitian ini adalah sebesar 12.32 g liter⁻¹ dan produktivitas air irigasi adalah sebesar 1307.34 g liter⁻¹. Produktivitas air ekonomis (WP_E) sebesar Rp 0.0092/g atau setara dengan Rp 9.2/kg. Siddik *et al.* (2017) melakukan analisis terhadap biaya air untuk produksi kangkung tiap kilogram adalah sebesar Rp 31.9/kg. Dengan demikian, produktivitas air ekonomis dalam penelitian ini dapat menghemat sekitar Rp 22.7/kg untuk biaya air irigasi dalam produksi tanaman.

4.5 Simpulan

Model irigasi evapotranspiratif bawah permukaan dapat bekerja dan berfungsi dengan baik selama penelitian berlangsung. Sistem otomatisasi irigasi dengan menggunakan stopkeran pelampung yang diterapkan pada model dapat dengan baik menjaga distribusi air irigasi selama masa tanam sehingga dapat mempertahankan tinggi muka air. Model juga dapat dengan baik mendrainase volume kelebihan air yang berada pada pot tanam yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi. Model irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang diuji dengan tanaman kangkung selama 3 periode tanam dapat menghasilkan 2516.1 g biomassa, dengan total konsumsi air selama masa tanam adalah sebesar 204.3 liter dan jumlah pemberian air irigasi sebesar 1.9 liter. Produktivitas air secara fisik (WP_{ETc}) dalam penelitian ini adalah sebesar 12.32 g liter⁻¹ dan produktivitas air ekonomis (WP_E) sebesar Rp 9.2/kg.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



5 NERACA AIR PADA BUDIDAYA KANGKUNG DALAM POT MENGGUNAKAN IRIGASI EVAPOTRANSPIRATIF

5.1 Abstrak

Irigasi evapotranspiratif disini disebut sebagai teknik irigasi dimana air yang disuplai ke tanaman dikendalikan oleh evapotranspirasi aktual. Dengan demikian, air yang dikonsumsi oleh tanaman dari lapisan tanah akan digantikan oleh volume air irigasi yang sama. Teknik irigasi ini sangat hemat air dan perlu untuk dikembangkan lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model neraca air dalam pot yang diuji dengan tanaman kangkung dengan menerapkan irigasi evapotranspiratif dimana air diberikan dari dasar pot. Ketinggian air dalam pot diatur pada kedalaman tertentu untuk menjaga kelembaban tanah dengan menggunakan stopkeran pelampung yang dipasang pada reservoir air. Pot tanam berbentuk kerucut dengan diameter atas 40 cm dan bawah 10 cm dan tinggi 23 cm. Sejumlah 13 pot dipasang secara seri dan masing-masing terhubung dengan pipa distribusi air yang berasal dari reservoir. Model yang dibangun dapat menghitung komponen neraca air secara keseluruhan yang terdiri dari curah hujan 41.56%, infiltrasi 15.92%, irigasi 0.04%, *runoff* 25.64%, evapotranspirasi aktual 3.79%, drainase 12.88%, dan perubahan volume air dalam pot 0.18% selama 45 hari budidaya dengan 3 kali panen. Model yang dibangun sangat akurat dengan menghasilkan nilai *error* kurang dari satu persen.

5.2 Pendahuluan

Berbagai teknologi irigasi telah banyak diterapkan di Indonesia. Salah satu sistem irigasi yang relatif baru adalah irigasi evaporatif. Irigasi evaporatif merupakan konsep pengendalian air irigasi yang didasarkan pada respon tanaman yang diwakili oleh laju evaporasi dan evapotranspirasi (Ardiansyah *et al.* 2019). Evapotranspirasi referensi (ET_0) merupakan faktor utama dalam menentukan kebutuhan air tanaman dalam irigasi evaporatif (Arif *et al.* 2021a). Hal ini menjadi salah satu jawaban untuk mengatasi kendala dalam penyediaan air irigasi karena sulitnya pengaturan parameter yang digunakan untuk pengaturan waktu dan jumlah air irigasi sesuai kebutuhan tanaman (Amalia *et al.* 2020).

Evapotranspirasi (ET), yaitu air yang dipindahkan ke atmosfer melalui evaporasi tanah dan transpirasi tanaman, merupakan salah satu komponen yang paling relevan dari neraca air-tanah (Consoli dan Vanella 2014). Beberapa studi telah melakukan penelitian terkait komponen neraca air untuk daerah irigasi dimana sebagian besar berfokus pada komponen tunggal seperti evapotranspirasi (ET) atau *runoff* (Campos *et al.* 2016; Mattar *et al.* 2016; Z. Liu *et al.* 2020). Komponen neraca air seperti perubahan volume air di dalam sistem tanam sampai saat ini belum ada yang meneliti.

Menurut (Burt 1999), sebuah "keseimbangan air" adalah perhitungan dari semua volume air yang masuk dan meninggalkan suatu ruang selama periode waktu tertentu. Perubahan penyimpanan air internal juga harus dipertimbangkan. Batas spasial dan temporal neraca air harus didefinisikan dengan jelas untuk menghitung dan menganalisis neraca air. Neraca air yang lengkap tidak hanya terbatas pada air irigasi atau air hujan atau air tanah, tetapi mencakup semua air yang masuk dan

keluar dari batas-batas ruang. Sammis *et al.* (2012) mengatakan metode perhitungan neraca air dapat digunakan untuk penjadwalan irigasi dengan memantau defisit kelembaban tanah, atau dengan memantau potensi air tanaman. Penjadwalan irigasi dengan penerapan air untuk tanaman dalam jumlah yang tepat dan pada waktu yang tepat dapat menghasilkan hasil panen maksimum dan pencucian air dan nutrisi minimum ke air tanah.

Studi eksperimen pada waktu dan lokasi spesifik yang telah dilakukan di lokasi ini, dapat memberikan informasi untuk pengelolaan irigasi di bawah sistem tanah-air-tanaman tertentu dan kondisi iklim tertentu (Amalia *et al.* 2020; Dewi *et al.* 2020a; Dewi *et al.* 2020b; Dewi *et al.* 2020c; Muharomah *et al.* 2020). Namun informasi ini mungkin tidak berlaku untuk lokasi yang sama pada waktu berikutnya karena variabilitas lapangan dan iklim yang tinggi. Oleh karena itu, sebuah model irigasi yang spesifik diperlukan untuk manajemen praktik irigasi. Selain itu, mengukur semua komponen neraca air-tanah dalam percobaan lapangan relatif sulit (Han *et al.* 2015). Pendekatan pemodelan yang digabungkan dengan eksperimen lapangan dapat menentukan semua komponen neraca air, termasuk perubahan volume air pada sistem tanam, infiltrasi, dan drainase.

Produktivitas air merupakan indikator penting untuk mengetahui seberapa besar nilai ekonomis dari air irigasi (Fuadi *et al.* 2016). Dengan meningkatkan produktivitas dan efisiensi penggunaan air irigasi dalam penerapan teknologi pengelolaan irigasi dapat mengakibatkan penggunaan air irigasi per satuan berat hasil pertanian menjadi lebih kecil (Sirait *et al.* 2015). Keuntungan dalam efisiensi penggunaan air dapat dicapai ketika aplikasi air secara tepat disesuaikan dengan kebutuhan air tanaman yang terdistribusi secara spasial dan temporal (Hassan-Esfahani *et al.* 2015). Produktivitas air tanaman pertanian juga dapat ditingkatkan dengan menggunakan pasokan air yang lebih kecil (Hasanah *et al.* 2017).

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi irigasi adalah dengan menerapkan sistem irigasi cerdas (*smart irrigation*). Sistem irigasi otomatis yang cerdas dapat menghabiskan biaya yang tinggi karena menggunakan berbagai instrumen mikrokontroler (González Perea *et al.* 2016). Dalam penelitian ini, sistem irigasi dirancang menggunakan teknologi irigasi otomatis berdasarkan prinsip evapotranspirasi melalui bawah permukaan tanah yang dapat menekan biaya tinggi. Berbagai instrumen mikrokontroler yang biasanya digunakan dalam *smart* irigasi dieliminasi dengan cara mendesain sistem irigasi evapotranspiratif yang dikontrol oleh stopkeran pelampung berdasarkan laju evaporasi dan evapotranspirasi tanpa tenaga listrik. Sehingga tujuan penelitian ini adalah untuk membangun model hidrologis untuk menganalisis neraca airnya secara temporal pada sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang diuji dengan tanaman kangkung.

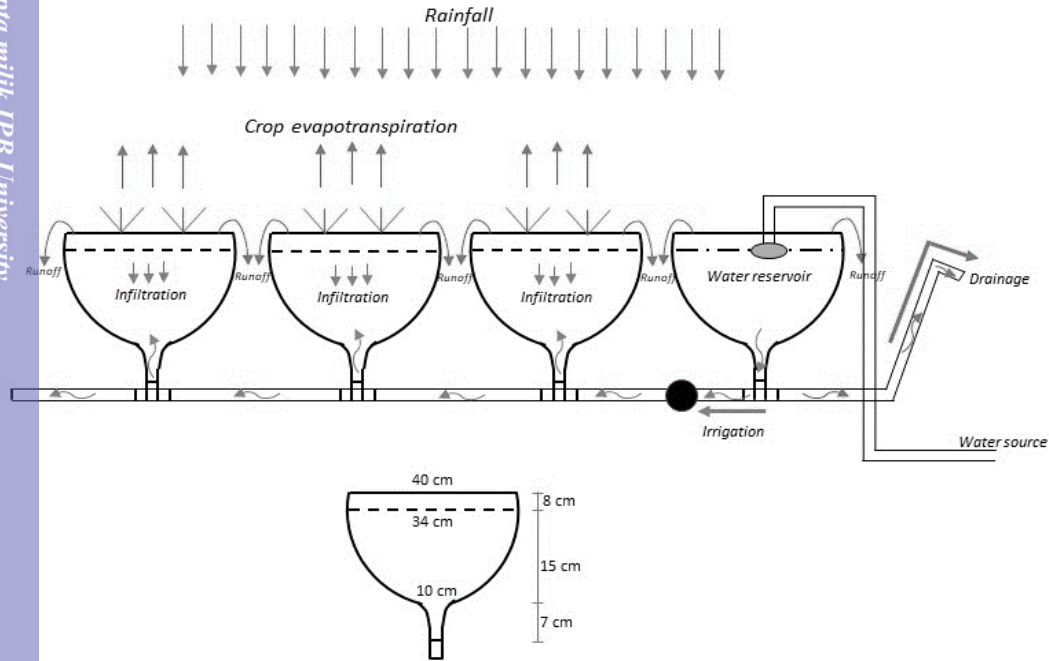
5.3 Metode

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sumber Daya Air, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor dari tanggal 10 November 2020 sampai 27 Desember 2020. Lokasi penelitian berada pada ketinggian 250 m di atas permukaan laut dengan latitude -6.56 dalam radian.

Sistem budidaya tanaman kangkung yang diterapkan pada penelitian ini menggunakan pot tanam berbentuk kerucut terbalik yang terpotong pada bagian bawah dengan diameter permukaan atas 40 cm, diameter bagian bawah 10 cm, dan tinggi 23 cm. Pot tanam yang digunakan sebagai media tanam terdiri dari 13 pot, 1



pot yang tidak ditanami untuk pengukuran evaporasi, dan 1 pot sebagai tanki irigasi. Rangkaian pot sebagai sistem budidaya tanaman kangkung tersebut disusun memanjang dengan pipa sebesar 1/2 in sebagai penghubung. Sebanyak 2 buah meteran air dipasang untuk mengukur jumlah air yang masuk dan keluar pada sistem tanam. Media tanam yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah aluvial yang dicampur dengan pupuk organik. Sistem pot tanam yang diaplikasikan dapat dilihat seperti pada Gambar 14.



Gambar 14 Sistem pot irigasi evapotranspiratif

Data iklim utama yang diukur pada penelitian ini adalah radiasi matahari (R_s), suhu udara (T), kelembaban relatif (RH), dan curah hujan. Data radiasi matahari dikumpulkan dengan menggunakan sensor Decagon PYR Pyranometer. Data kelembaban relatif dan suhu udara dikumpulkan dengan menggunakan sensor Decagon VP-4. Data curah hujan dikumpulkan dengan menggunakan sensor Decagon ECRN-100 Rain Gauge. Semua data tersebut dikumpulkan dan direkam otomatis menggunakan data logger EM50 dengan interval waktu tiap 5 menit.

Nilai evapotranspirasi yang terjadi pada penelitian ini merupakan kombinasi dari nilai evaporasi dan transpirasi. Evapotranspirasi sulit untuk diukur, dan ketika diukur variabilitas spasialnya biasanya tidak diperhitungkan (Gomariz-Castillo *et al.* 2018). Pengaruh kedua proses tersebut sulit dipisahkan dalam analisis perhitungan karena kedua proses tersebut terjadi bersamaan dan tidak ada cara yang mudah untuk membedakannya (Allen *et al.* 1998).

Evapotranspirasi potensial umumnya diidentifikasi sebagai ET_p . Nilai ET_p dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan FAO Penman-Monteith. Persamaan ET_p membutuhkan data meteorologi yang terdiri dari data suhu udara, kelembaban relatif udara, kecepatan angin, dan radiasi matahari. Dalam penelitian ini, data meteorologi tidak diperoleh secara lengkap dengan menggunakan sensor pengukuran yang digunakan dalam penelitian. Oleh karena itu, nilai ET_p dalam penelitian ini dihitung menggunakan model Hargreaves yang dikemukakan oleh (Allen *et al.* 1998). Menurut Muharomah *et al.* (2020) model ET_p yang sesuai untuk

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

digunakan pada lokasi penelitian ini juga adalah model Hargreaves. Persamaan Hargreaves untuk mengestimasi nilai ETp harian adalah sebagai berikut:

$$ETp = \frac{C_o}{K_r} R_s (T_{mean} + 17.8) \dots\dots\dots(15)$$

Dimana ETp adalah evapotranspirasi potensial (mm h^{-1}), C_o/K_r adalah koefisien penyesuaian (0.0135), T_{mean} adalah suhu rata-rata harian ($^{\circ}\text{C}$), dan R_s adalah radiasi matahari (mm h^{-1}). Nilai ETp disini kemudian dikalikan dengan luasan area tanam sehingga diperoleh besarnya nilai ETp dalam liter (l).

Pengamatan tinggi muka air dilakukan tiap hari dengan mengukur level muka air dari permukaan tanah. Pengukuran dilakukan secara manual setiap pukul 06.00 pagi dan 18.00 sore. Pengukuran kadar air tanah (θ) pada penelitian ini juga dilakukan setiap hari dengan mengambil sampel tanah menggunakan *ring sample* berdiameter 4.8 cm dan tinggi 5.1 cm. Data tinggi muka air dan kadar air tanah tersebut digunakan untuk menghitung volume air dalam sistem pot tanam.

5.4 Hasil dan Pembahasan

5.4.1 Model Neraca Air

Berdasarkan Gambar 14, neraca air dalam satuan volume setiap pot dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$\frac{\Delta V_i}{\Delta t} = (I_i - ETc_i)A_p + Q_i - D_i \dots\dots\dots(16)$$

$$\Delta V_i = V_i^{t+\Delta t} - V_i^t \dots\dots\dots(17)$$

$$I_i = P - RO_i \dots\dots\dots(18)$$

$$RO_i = \begin{cases} P & H_i \geq H_p \\ 0 & H_i < H_p \end{cases} \dots\dots\dots(19)$$

$$ETc_i = Kc_i ETp \dots\dots\dots(20)$$

Dimana V adalah volume air (cm^3), I adalah infiltrasi (cm h^{-1}), ETc adalah evapotranspirasi aktual (cm h^{-1}), A_p adalah luas permukaan tanah (cm^2), Q adalah irigasi (cm h^{-1}), D adalah drainase (cm h^{-1}), P adalah curah hujan (cm h^{-1}), Kc adalah koefisien tanaman, ETp adalah evapotranspirasi potensial (cm h^{-1}), RO adalah *runoff* (cm h^{-1}), H adalah ketinggian air dalam pot (cm), H_p adalah ketinggian air tertinggi ($H_p = 30$ cm), i adalah nomor pot ($i = 1, 2, \dots, ni = 14$), dan t adalah waktu (hari) dengan Δt adalah interval waktu (h).

Mengingat pot berbentuk kerucut terpotong, volume air dalam pot dihitung sebagai berikut:

$$V_i = \frac{\pi}{3} (R_i^2 H_i - R_0^2 h_0) \dots\dots\dots(21)$$

$$H_i = h_i + \theta_i Z_i \dots\dots\dots(22)$$

Dimana R adalah jari-jari kerucut pada H (cm), R_0 dan h_0 bernilai tetap masing-masing 34 cm dan 22 cm, h adalah muka air di lapisan tanah jenuh (cm), θ adalah kadar air volumetrik dalam lapisan tanah tak jenuh ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), dan Z adalah kedalaman lapisan tanah tak jenuh (mm).



Karena irigasi (Q) dan drainase (D) diukur masing-masing pada satu saluran masuk dan keluar, Persamaan 16 setiap waktu t dapat ditulis sebagai berikut.

$$\sum_i^{ni} \frac{\Delta V_i}{\Delta t} - [A_p \sum_i^{ni} (I_i - Kc_i ETp) + Q - D] = 0 \dots\dots\dots (23)$$

Dengan memasukkan volume air dalam biomassa, persamaan neraca air secara keseluruhan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\sum_i^{ni} \frac{\Delta V_{T,i}}{\Delta t} - [A_p \sum_i^{ni} (I_i - Kc_i ETp) + Q - D] = 0 \dots\dots\dots (24)$$

$$V_{T,i} = V_i^t + V_{b,i}^t \dots\dots\dots (25)$$

Dimana V_T dan V_b adalah volume air secara total dan dalam biomassa (cm^3).

Persamaan neraca air ini dapat digunakan untuk memperkirakan nilai Kc_i pada setiap waktu t dengan menggunakan optimasi *solver* yang tersedia di MS Excel.

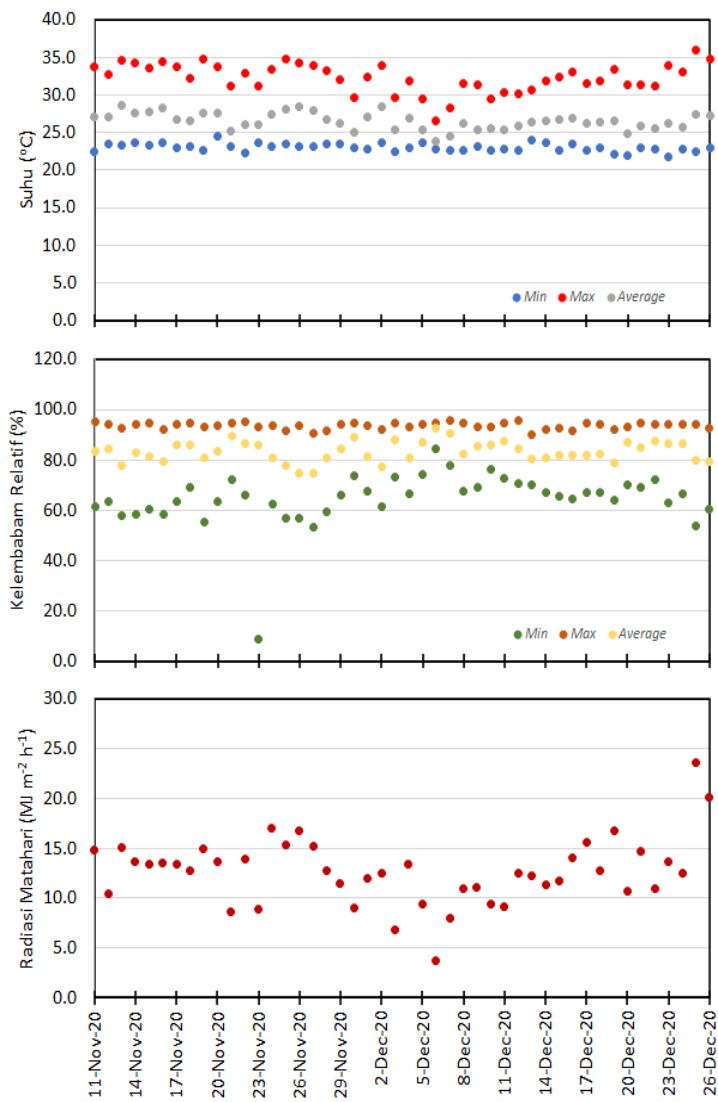
Dalam hasil dan pembahasan neraca air penelitian ini, selanjutnya komponen neraca air dianalisis dalam satuan liter. Hal ini dikarenakan potongan penampang pot yang berbentuk kerucut terbalik tidak memiliki ukuran seragam dari atas hingga bawah penampang, sehingga satuan kedalaman atau *depth* (mm) yang pada umumnya digunakan untuk analisis neraca air tidak tepat untuk sistem pot irigasi evapotranspiratif bawah permukaan ini.

5.4.2 Iklim

Parameter iklim yang diamati pada lokasi penelitian adalah suhu (T), kelembaban relatif (RH), dan radiasi matahari (R_s). Lokasi penelitian berada pada ketinggian 250 m diatas permukaan laut. Suhu tertinggi dan terendah di lokasi penelitian adalah 35.9 °C dan 21.8 °C dengan suhu rata-rata sebesar 26.6 °C, sementara suhu titik embun lokasi penelitian adalah 23.0 °C. Kelembaban relatif (RH) di lokasi penelitian berkisar antara 8.6% hingga 95.5% dengan rata-rata sebesar 83.2%. Radiasi matahari harian yang terukur pada lokasi penelitian berkisar antara 3.7 MJ m⁻² h⁻¹ hingga 27.4 MJ m⁻² h⁻¹ dengan rata-rata adalah sebesar 13.0 MJ m⁻² h⁻¹. Kondisi iklim di luar rumah tanaman selama hari pengamatan dapat dilihat seperti pada Gambar 15.

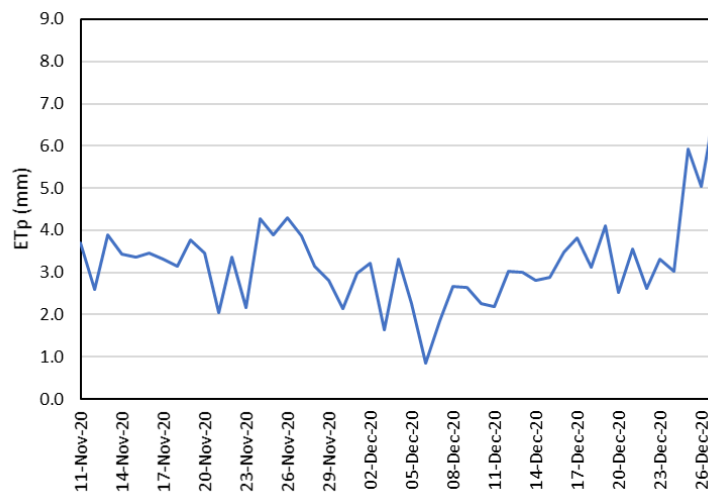
Iklim, media tanam, dan parameter tanaman merupakan tiga faktor utama yang mempengaruhi proses pertumbuhan tanaman. Iklim merupakan salah satu faktor yang berdampak langsung pada kualitas dan produktivitas tanaman (Chowdhury *et al.* 2016; Haditiya dan Prijono 2018). Faktor iklim yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman antara lain radiasi matahari, suhu, kecepatan angin, dan curah hujan. Kondisi Indonesia dengan iklim tropis dengan kelembaban 80% dan suhu mencapai 35 °C mempengaruhi hasil pertumbuhan tanaman (Dewi *et al.* 2020).

Parameter iklim yang terukur dalam penelitian ini sangat krusial untuk mengestimasi evapotranspirasi potensial (ETp). Semakin tinggi nilai radiasi matahari, suhu, dan kelembaban relatif dalam hari pengamatan, maka akan berdampak pada nilai ETp yang juga ikut meningkat, dan berlaku juga sebaliknya. Oleh karena itu sangat penting untuk memperoleh data iklim lokasi penelitian agar dapat dengan baik memodelkan hubungan antara faktor iklim dengan pertumbuhan tanaman dan kebutuhan air irigasi.



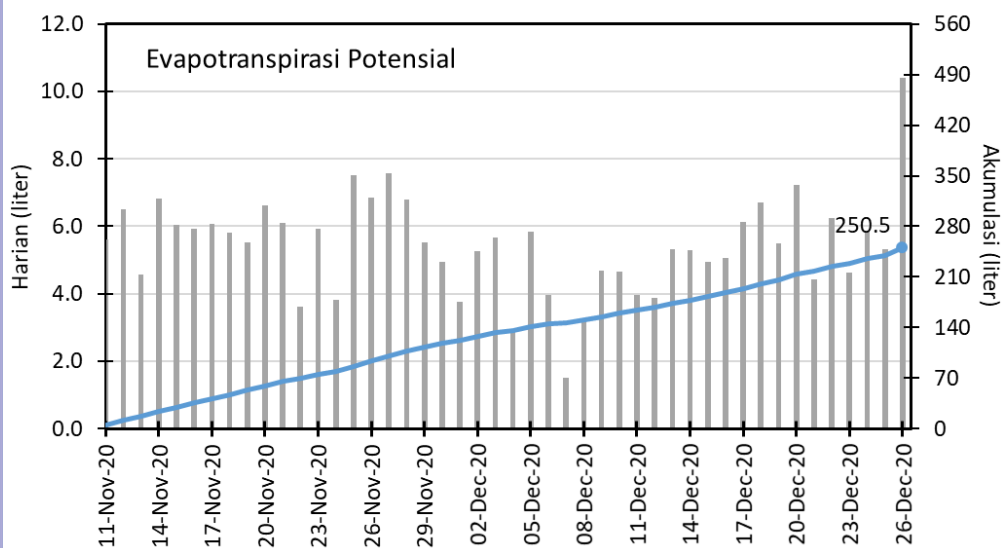
Gambar 15 Parameter iklim terukur

5.4.3 Evapotranspirasi Potensial



Gambar 16 Evapotranspirasi potensial selama hari pengamatan

Gambar 16 menunjukkan evapotranspirasi potensial yang terjadi pada lokasi penelitian berkisar antara 0.9 mm h⁻¹ hingga 6.9 mm h⁻¹ dengan rata-rata sebesar 3.2 mm h⁻¹. Besarnya evapotranspirasi potensial yang terjadi pada 14 pot tanam juga dilakukan analisis dengan hasil berkisar antara 1.5 liter h⁻¹ hingga 10.4 liter h⁻¹ dan rata-rata sebesar 5.4 liter h⁻¹. Evapotranspirasi potensial secara akumulatif yang terjadi selama 45 hari penanaman pada sistem pot tanam adalah sebesar 250.5 liter. Evapotranspirasi potensial yang terjadi selama 3 periode penanaman kangkung dapat dilihat seperti pada Gambar 17.



Gambar 17 Evapotranspirasi potensial pada pot tanam

Evapotranspirasi potensial merupakan komponen penting dalam model neraca air dan penjadwalan irigasi. Secara umum metode penjadwalan irigasi melibatkan pemeliharaan kondisi ketersediaan air dalam sistem budidaya tanaman melalui model neraca air. Model neraca air memperkirakan jumlah air yang tersedia di tanah untuk penggunaan oleh tanaman, dan memperhitungkan air yang dikeluarkan dari tanah melalui evapotranspirasi dan untuk air yang ditambahkan ke tanah melalui curah hujan dan irigasi. Ketika cadangan air di tanah yang tersisa, atau terjadi penipisan air tanah yang mencapai tingkat kritis, irigasi diperlukan untuk menggantikan sumber daya air tanah yang habis (Fisher dan Pringle 2013).

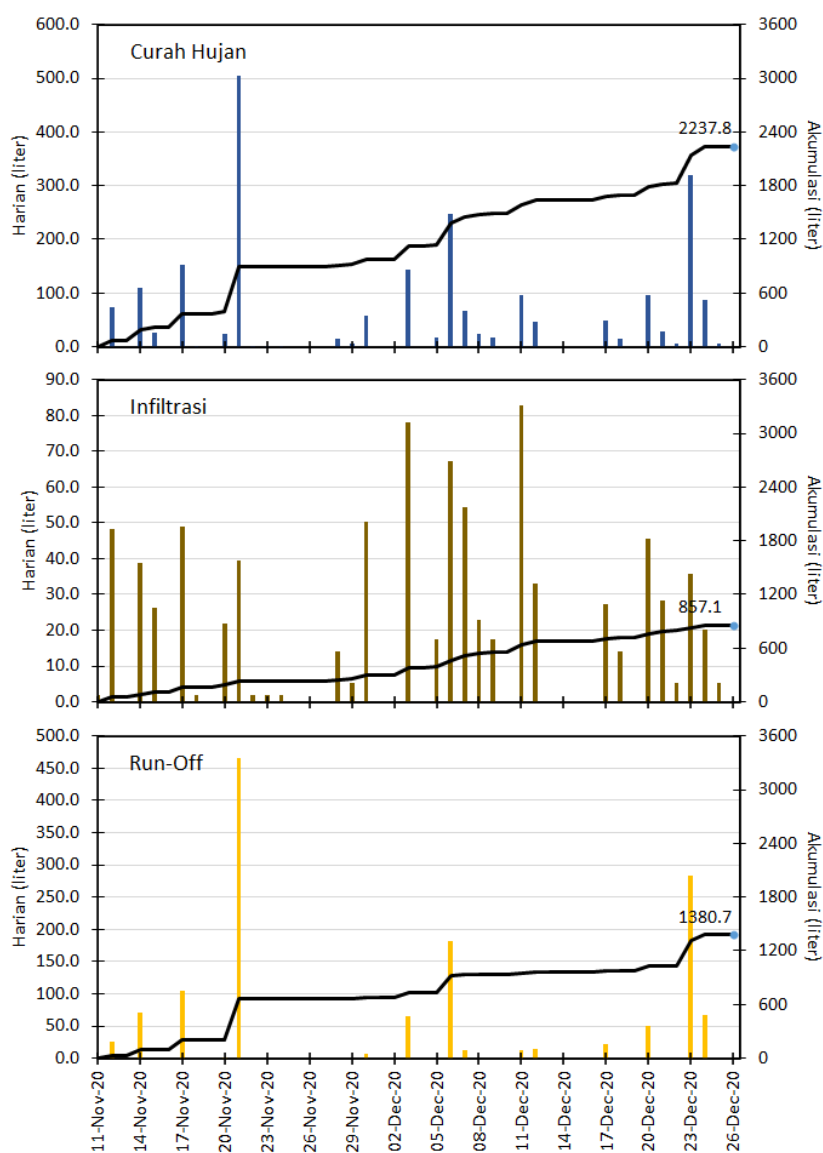
5.4.4 Curah Hujan, Infiltrasi, Run-Off

Curah hujan yang terjadi pada lokasi penelitian selama tanggal 10 November–26 Desember 2020 atau selama 45 hari penanaman kangkung secara akumulatif adalah sebesar 2237.8 liter. Curah hujan maksimum adalah sebesar 504.9 liter yang terjadi pada tanggal 21 November 2020 atau hari ke-10 HST. Rata-rata curah hujan selama 45 hari tanam adalah sebesar 48.6 liter. Besarnya curah hujan, infiltrasi, dan *runoff* selama penelitian berlangsung dapat dilihat seperti pada Gambar 18.

Hujan yang terjadi pada lokasi penelitian menyebabkan volume air dalam sistem pot tanam dengan irigasi evapotranspiratif bawah permukaan menjadi bertambah. Volume air yang bertambah akibat hujan ini sebagian ada yang dapat tertampung pada sistem pot tanam dan kemudian terinfiltrasi ke dalam tanah.

Apabila volume air hujan sudah melebihi volume tampungan kosong pada pot dan telah malampaui kapasitas infiltrasi, air hujan akan mengalir keluar sebagai *runoff* dan debit drainase.

Akumulasi infiltrasi yang terjadi selama 3 periode penanaman kangkung adalah sebesar 857.1 liter. Kemampuan tanah yang digunakan dalam penelitian ini dapat menginfiltrasi maksimal sebesar 82.75 liter pada hari ke-30 HST atau pada tanggal 11 Desember 2020. Nilai rata-rata kemampuan infiltrasi selama penelitian berada pada 18.63 liter. Pada saat terjadi hujan dan kapasitas infiltrasi mencapai nilai 0, maka pada saat itulah terjadi limpasan atau *runoff* melalui sistem pot tanam.



Gambar 18 Curah hujan, *run-off*, dan infiltrasi

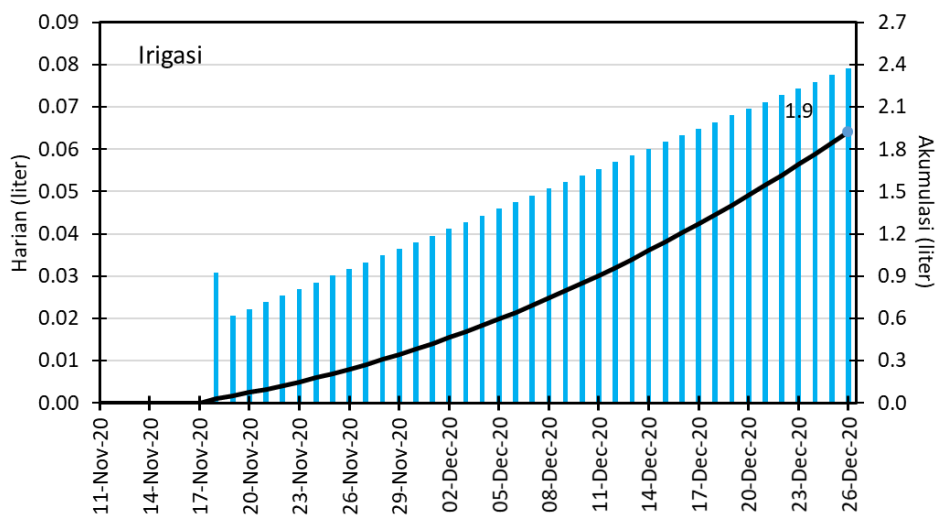
Selama penelitian berlangsung, akumulasi *runoff* yang dilimpaskan oleh sistem pot tanam akibat curah hujan yang tidak dapat tertampung adalah sebesar 1380.7 liter. Nilai *runoff* maksimal terjadi pada hari ke-10 HST atau pada tanggal 21 November 2020 sebesar 465.49 liter. Nilai *runoff* yang besar pada hari

tersebut dapat dikonfirmasi diakibatkan oleh curah hujan yang terjadi sebesar 504.9 liter selama penelitian. Nilai rata-rata *runoff* yang terjadi selama 45 hari pengamatan adalah sebesar 30.02 liter.

Dari Gambar 18 dapat ditarik hubungan antara curah hujan, infiltrasi, dan *runoff* yang terjadi pada sistem pot tanam dengan irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang ditanami kangkung. *Runoff* hanya terjadi ketika terjadi hujan yang volume airnya sudah tidak dapat ditampung lagi oleh sistem pot tanam. Ketika volume air hujan yang jatuh besar, maka volume infiltrasi akan mengecil, dan volume *runoff* membesar. Pada saat volume air hujan yang jatuh pada sistem pot tanam kecil, maka kemampuan tanah untuk menginfiltrasi air tersebut besar, dan *runoff* yang terjadi kecil atau bahkan tidak ada.

5.4.5 Irigasi

Jumlah air irigasi yang diberikan selama budidaya tanaman kangkung dengan sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan pada penelitian ini diketahui melalui bacaan meteran air pada pipa distribusi yang dipasang pada pot reservoir air menuju ke pot-pot tanam. Pemberian air irigasi selama penelitian berlangsung dapat dilihat pada Gambar 19. Irigasi yang diberikan selama 45 hari pengamatan terus meningkat mulai dari awal tanam hingga hari terakhir. Pada hari ke-43 HST, pemberian air irigasi mencapai puncaknya yaitu sebesar 0.08 liter. Akumulasi air irigasi yang diberikan selama 3 periode tanam yaitu sebesar 1.9 liter.



Gambar 19 Irigasi

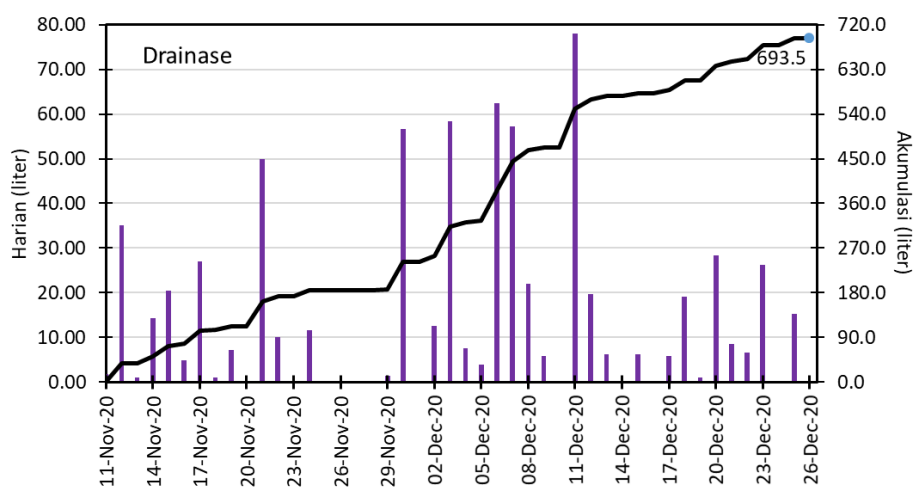
Pengaruh irigasi terhadap produksi tanaman biasanya diukur dengan menggunakan fungsi produktivitas air tanaman yang menghubungkan hasil *yield* tanaman dengan jumlah air yang digunakan. Irigasi yang berlebihan menyebabkan penurunan efisiensi penggunaan air atau *water use efficiency* (WUE) oleh tanaman dan irigasi defisit yang efektif dapat menghasilkan produksi dan WUE yang lebih tinggi (Sun *et al.* 2006). Pada penelitian ini, distribusi air yang dilepaskan oleh sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan sebesar 1.9 liter hanya mempengaruhi komponen neraca air sebesar 0.04%. Jumlah air irigasi yang relatif sedikit tersebut telah mampu untuk ujicoba

budidaya tanaman kangkung selama 3 periode tanam atau sepanjang 45 hari pengamatan.

5.4.6 Drainase

Kelebihan air yang masuk ke dalam sistem pot tanam akibat curah hujan akan dikeluarkan melalui pipa drainase yang dipasang di sebelah pot reservoir air. Air yang terdrainase oleh sistem pot tanam yang diuji dengan tanaman kangkung pada penelitian ini tidak diukur dengan meteran air. Estimasi besaran drainase selama hari pengamatan dihitung menggunakan model neraca air.

Jumlah air yang terdrainase dalam penelitian ini dapat dilihat seperti pada Gambar 20. Selama 45 hari penelitian, nilai drainase bervariasi dari pertama hingga hari terakhir pengamatan. Besarnya air yang terdrainase berkisar antara 0–78.09 liter dengan rata-rata sebesar 15.08 liter dan akumulasi selama pengamatan sebesar 693.5 liter. Jumlah air drainase ini dipengaruhi oleh curah hujan yang terjadi. Pada saat curah hujan yang terjadi besar, maka jumlah air yang terdrainase juga besar, dan juga sebaliknya. Drainase akan terus berlangsung untuk menurunkan muka air yang berlebih pada sistem pot tanam hingga mencapai *set point* muka air yang telah ditentukan pada kondisi awal. Sistem pot tanam ini dirancang dapat menjaga keseimbangan neraca air dalam sistem pot selama masa tanam.



Gambar 20 Drainase

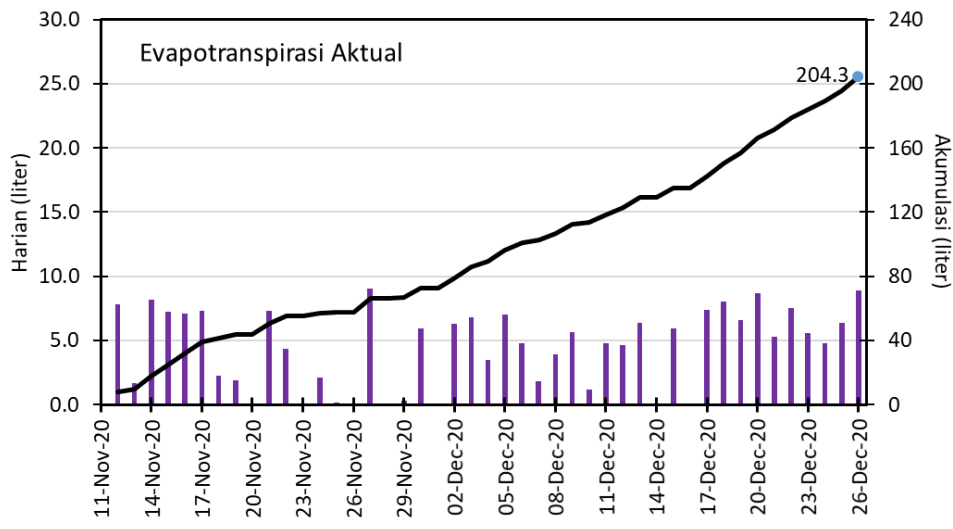
5.4.7 Evapotranspirasi Aktual (ET_c)

Evapotranspirasi actual atau *crop evapotranspiration* (ET_c) adalah jumlah konsumsi air oleh tanaman selama masa pertumbuhan. Nilai ET_c ini adalah nilai jumlah air yang harus dipenuhi untuk mengganti kehilangan air yang terjadi akibat evaporasi maupun kebutuhan air oleh tanaman untuk proses transpirasi.

Selama 3 periode uji coba budidaya tanaman kangkung, jumlah konsumsi air oleh tanaman secara akumulatif adalah sebesar 204.3 liter. Kisaran nilai konsumsi air oleh tanaman selama 45 hari pengamatan berada pada 0– 9.07 liter dengan rata-rata sebesar 4.54 liter. Nilai ET_c cenderung mencapai puncak pada fase tengah pada setiap periode tanam. Grafik nilai ET_c dalam penelitian ini ditampilkan seperti pada Gambar 21. Pelesco dan Alagao (2014) menyebutkan bahwa umur tanaman sangat berpengaruh terhadap konsumsi air. Tanaman yang sudah matang dan berkembang penuh mengkonsumsi banyak air dan perubahan

kondisi iklim juga menyebabkan perubahan konsumsi air yang signifikan selama tahap pertumbuhan ini.

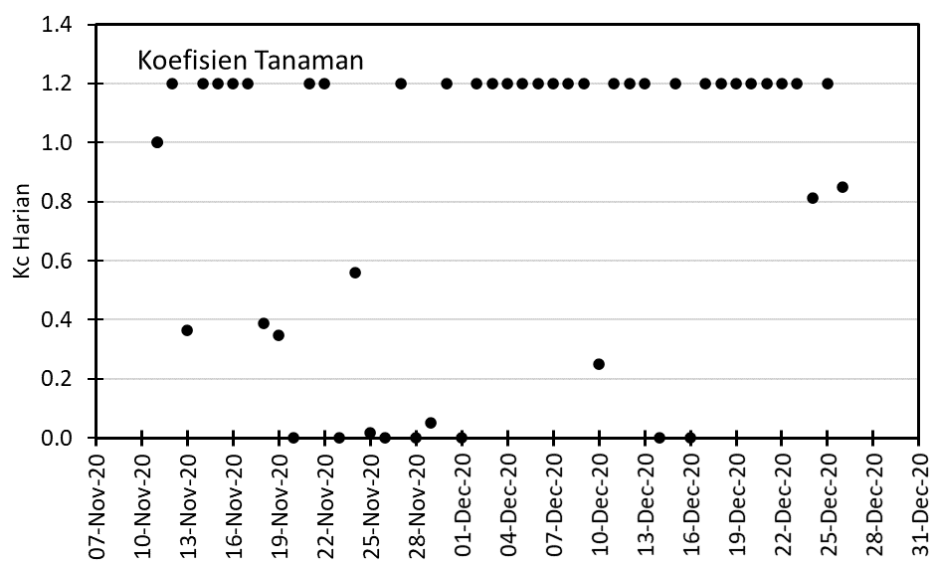
Casanova *et al.* (2009) dan Domínguez-Niño *et al.* (2020) mengukur nilai *ETc* setiap hari menggunakan lysimeter, kemudian dianalisis berdasarkan perhitungan sistem neraca air. Metode lain yang berhasil dan dapat diandalkan untuk memperkirakan evapotranspirasi tanaman (*ETc*) dan kebutuhan air tanaman adalah dengan mengkalkulasi koefisien tanaman (*Kc*) dengan evapotranspirasi potensial (*ETp*). Metode ini menggunakan data cuaca untuk memperkirakan *ETc* pada kondisi potensial dan mengalikan estimasi tersebut dengan koefisien tanaman yang mewakili tingkat relatif *ET* dari tanaman dan kondisi tertentu dengan kondisi referensi (Allen dan Pereira 2009). Pengetahuan yang tepat tentang kebutuhan air tanaman yang harus dipenuhi memungkinkan untuk mencapai pengelolaan sumber daya irigasi yang tepat dengan efisiensi maksimum (González-Esquivá *et al.* 2017). Perhitungan konsumsi air yang benar oleh tanaman selama periode waktu tertentu dan jumlah air yang akan diganti ke tanah sangat penting untuk keberhasilan pertanian berkelanjutan (Pereira *et al.* 2019).



Gambar 21 Evapotranspirasi aktual

5.4.8 Koefisien Tanaman (*Kc*)

Koefisien tanaman (*Kc*) sangat diperlukan untuk mengetahui jumlah air yang tepat untuk disuplai di lahan budidaya (Hasanah *et al.* 2015). *Kc* atau *crop coefficient* tanaman kangkung dengan sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan selama 45 hari atau 3 periode tanam pada penelitian ini ditampilkan seperti pada Gambar 22.



Gambar 22 Koefisien tanaman (Kc)

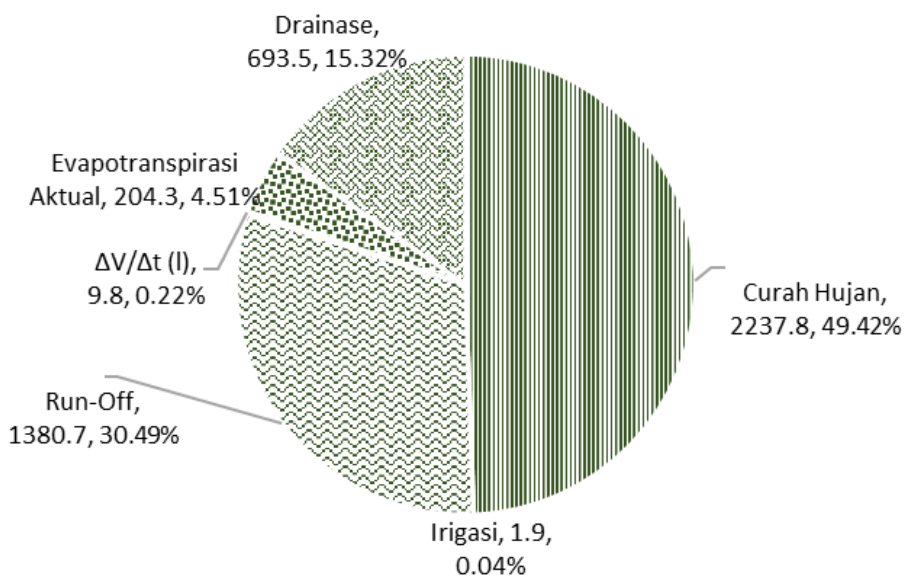
Nilai K_c tanaman kangkung bervariasi selama pengamatan berlangsung. Selama periode tanam, nilai K_c bervariasi antara 0–1.2. Hasil perhitungan menunjukkan nilai K_c harian menggunakan persamaan neraca air sangat fluktuatif. Pola nilai K_c yang terbentuk pada Gambar 22 memperlihatkan nilai K_c pada fase awal tanam adalah kecil, kemudian meningkat pada fase tengah, dan menurun kembali pada hari ke-15 setiap periode tanam. Nilai K_c tanaman kangkung yang berfluktuasi dipengaruhi oleh kondisi iklim dan cuaca. Selain itu, usia tanaman juga mempengaruhi nilai K_c karena terkait dengan fase pertumbuhan tanaman yang terjadi (Wahyudi *et al.* 2014). Oleh karena itu, kondisi tanah yang lebih kering juga berpengaruh terhadap penurunan nilai K_c . Umumnya pada tahap awal dan perkembangan tanaman, air yang digunakan berbanding lurus dengan transpirasi, akibatnya ketika lahan menjadi lebih kering, respon tanaman yang paling efektif adalah dengan mengurangi transpirasi (Arif *et al.* 2015).

5.4.9 Komponen Neraca Air

Komponen neraca air untuk model irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang diuji dengan tanaman kangkung selama 3 periode tanam mulai dari tanggal 10 November 2020 sampai 27 Desember 2020 dapat dilihat pada Gambar 23.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Komponen Neraca Air



Gambar 23 Neraca air tanaman kangkung dengan sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan

Komponen masukan air pada sistem pot tanam yang terbanyak didominasi oleh curah hujan sebesar 2237.8 liter atau setara dengan 41.56% dari neraca air. Infiltrasi yang terjadi sebesar 857.1 liter atau setara dengan 15.92% berada pada posisi kedua. Komponen irigasi pada neraca air adalah komponen inputan terkecil yang terjadi sebesar 1.9 liter atau setara dengan 0.04%. Sebagai komponen *output* atau keluaran air pada sistem yang terbanyak didominasi oleh *runoff* sebesar 1380.7 liter atau setara dengan 25.64%. Selanjutnya komponen drainase terjadi sebanyak 693.5 liter atau setara dengan 12.88%. Konsumsi air oleh tanaman atau evapotranspirasi aktual adalah sebesar 204.3 liter atau setara dengan 3.79%. Akhirnya komponen-komponen masukan dan keluaran pada neraca air ini mempengaruhi perubahan volume terhadap waktu selama pengamatan sebesar 9.8 liter atau setara dengan 0.18%. Nilai *error* untuk neraca air ini adalah sebesar 0.861%.

5.5 Simpulan

Model hidrologis yang dibangun telah dapat digunakan untuk menganalisis komponen-komponen penyusun neraca air pada sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang diuji dengan tanaman kangkung. Komponen neraca air terdiri dari 41.56% curah hujan, 15.92% infiltrasi, 0.04% irigasi, 25.64% run-off, 7.51% evapotranspirasi tanaman, 9.17% drainase, dan 9.8% perubahan volume air dalam pot terhadap waktu selama masa tanam. Nilai *error* sebesar 0.861% menunjukkan model neraca air yang dibangun akurat untuk digunakan.

6 PEMBAHASAN UMUM

Budidaya tanaman sayuran di dalam dan di luar rumah tanaman membutuhkan jumlah air yang berbeda. Perbedaan kebutuhan air tersebut dipengaruhi oleh faktor iklim yang terdiri dari radiasi matahari (R_s), suhu udara (T), kelembaban relative (RH), dan curah hujan. Perbedaan kondisi iklim yang signifikan antara di dalam dan di luar rumah tanaman tersebut mengakibatkan nilai evapotranspirasi yang berbeda pula. Parameter yang paling krusial dalam penentuan jumlah air yang harus dipenuhi selama periode tanam ditentukan oleh evapotranspirasi tanaman (ET_c). Estimasi ET_c yang tepat membutuhkan model yang sesuai. Memilih metode untuk estimasi evapotranspirasi tanaman yang lebih akurat adalah faktor penting untuk pengelolaan air yang efisien (Tyagi *et al.* 2000; Mao *et al.* 2003; Zhang *et al.* 2004).

Tingkat evapotranspirasi di dalam rumah tanaman didominasi oleh transpirasi tanaman. Transpirasi tanaman tidak hanya dipengaruhi oleh parameter iklim (suhu, intensitas cahaya, angin, kelembaban) tetapi juga dari faktor lain, seperti tahap pertumbuhan tanaman. Nilai evaporasi sangat kecil atau tidak ada area terbuka. Model yang sudah ada untuk menghitung evapotranspirasi potensial hanya sesuai untuk di luar rumah tanaman karena iklim mikro di dalam rumah tanaman berbeda dengan di luar, sedangkan untuk evapotranspirasi aktual selada dengan modifikasi teknologi hidroponik sistem terapung di dalam rumah tanaman diketahui melalui penurunan muka air. Pengaruh iklim terhadap penurunan muka air ditunjukkan oleh evapotranspirasi potensial dan koefisien tanaman (K_c), serta laju konsumsi air juga mempengaruhi produktivitas air.

Pada percobaan pertama penelitian ini, dimana aplikasi budidaya tanaman selada dilakukan di dalam rumah tanaman menggunakan teknologi hidroponik sistem terapung yang dimodifikasi dengan rangkaian pipa sebagai media apungnya, evapotranspirasi potensial di dalam rumah tanaman dapat diperkirakan dengan tepat menggunakan model Hargreaves dengan optimasi koefisien penyesuaian (Co/Kr) adalah 0.0116. Produktivitas selada yang dihasilkan sebesar 1114.6 g m⁻² memiliki produktivitas air 29.58 g liter⁻¹ yang secara linier terkait dengan penggunaan konsumtif air oleh selada. Koefisien tanaman (K_c) tanaman selada berubah terhadap waktu membentuk persamaan parabola yang dimulai sebesar 0.7 pada awal tanam kemudian menurun hingga mencapai 0.4 kemudian meningkat menjadi 1.4 pada hari tanam ke-36. Nilai K_c yang berbeda dengan Allen *et al.* (1998b) ini disebabkan oleh perbedaan metode budidaya tanaman. Pada saat tanaman berada pada fase awal, nilai K_c masih cenderung kecil karena kebutuhan air oleh tanaman juga masih sedikit. Kemudian pada fase tengah, nilai K_c justru semakin mengecil daripada fase awal. Nilai K_c yang mengecil ini disebabkan oleh ukuran tanaman yang semakin membesar, akibatnya luas daun selada juga semakin lebar yang menyebabkan permukaan air yang menjadi tempat terapung tanaman ternaungi oleh tanaman. Hal ini menyebabkan proses transpirasi tanaman menjadi dominan dibandingkan dengan proses evaporasi. Kondisi ini akhirnya berdampak pada nilai K_c tanaman yang menurun. Pada fase akhir tanam, konsumsi air oleh tanaman berada pada kondisi puncak. Jumlah konsumsi air tanaman yang besar ini menjadi penyebab nilai K_c yang jauh meningkat hingga mencapai puncaknya sebesar 1.4. Nilai K_c



temporal pada penelitian ini merupakan suatu temuan baru yang menjadi originalitas hasil penelitian.

Pada percobaan kedua, penelitian dilakukan dengan melakukan perbandingan pengamatan budidaya tanaman dibawah sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan. Model irigasi evapotranspiratif bawah permukaan ini diimplementasikan di luar rumah tanaman. Rancangan dan uji kinerja irigasi evapotranspiratif bawah permukaan yang digunakan dalam budidaya sayuran menggunakan media pot berbentuk silinder terbalik dilakukan untuk mengetahui implikasinya terhadap produksi biomassa dan produktivitas air, serta membangun model hidrologis untuk menganalisis neraca airnya secara temporal. Hasil penelitian menghasilkan 2516.1 g biomassa, dengan total konsumsi air selama masa tanam adalah sebesar 204.3 liter dan jumlah pemberian air irigasi sebesar 1.9 liter. Produktivitas air secara fisik (WP_{ETc}) untuk tanaman kangkung dalam penelitian ini adalah sebesar 12.32 g liter⁻¹. Hasil ini menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan produktivitas air selada dengan teknologi hidroponik sistem terapung di dalam rumah tanaman yang dilakukan pada percobaan pertama. Produktivitas air ekonomis (WP_E) penelitian ini sebesar Rp 0.0092/g atau setara dengan Rp 9.2/kg dapat menghemat sekitar Rp 22.7/kg untuk biaya air irigasi dalam produksi tanaman.

Model hidrologis yang dibangun untuk menganalisis neraca air sistem irigasi evapotranspiratif secara temporal menghasilkan nilai *error* sebesar 0.861%. Hasil ini mengindikasikan model neraca air sangat akurat untuk menganalisis volume air yang masuk dan keluar pada sistem pot tanam, serta perubahan volume air yang tersimpan di dalam sistem tanam secara temporal.

Secara umum kedua model irigasi otomatis yang dirancang dan diaplikasikan mampu bekerja dan berfungsi dengan baik selama penelitian berlangsung. Kedua model irigasi dapat memproduksi biomassa dan mempertahankan penanaman hingga beberapa periode tanam. Sistem irigasi evapotranspiratif mampu mempertahankan muka air pada *set point* dan mampu mengkompensasi kehilangan air akibat dari konsumsi air oleh tanaman. Sistem irigasi evapotranspiratif dapat menjadi alternatif untuk digunakan sebagai *urban farming*. Penelitian ini memperkenalkan metode baru dari sistem irigasi hemat biaya tanpa mikrokontroler. Sistem irigasi dikendalikan sepenuhnya oleh evapotranspirasi dengan prinsip sederhana. Sistem irigasi langsung membasahi zona akar secara otomatis saat sistem mulai kehilangan air akibat evapotranspirasi tanaman, serta mampu diandalkan untuk segera mendrainase volume kelebihan air yang berada pada pot yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan mengembalikan kembali tinggi muka air dan kadar air tanah pada *initial condition*-nya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

7 PENUTUP

7.1 Simpulan Umum

Berdasarkan hasil penelitian ini maka kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Model irigasi evapotranspiratif yang dirancang dapat bekerja dan berfungsi dengan baik selama penelitian berlangsung. Sistem otomatisasi irigasi dengan menggunakan stopkeran pelampung yang diterapkan pada model dapat dengan baik menjaga distribusi air irigasi selama masa tanam sehingga dapat mempertahankan tinggi muka air. Untuk model yang diterapkan di luar rumah tanaman, model dapat dengan baik mendrainase volume kelebihan air yang berada pada pot tanam yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi.
2. Produktivitas selada yang dihasilkan dengan modifikasi teknologi hidroponik sistem terapung dalam rumah tanaman sebesar 1114.6 g m^{-2} memiliki produktivitas air sebesar $29.58 \text{ g liter}^{-1}$. Koefisien tanaman (K_c) tanaman selada berubah terhadap waktu membentuk persamaan parabola yang dimulai sebesar 0.7 pada awal tanam kemudian menurun hingga mencapai 0.5 kemudian meningkat menjadi 0.8 pada hari tanam ke-36. Sementara itu, produktivitas air tanaman kangkung dengan irigasi evapotranspiratif bawah permukaan di luar rumah tanaman secara fisik adalah sebesar $12.32 \text{ g liter}^{-1}$ dan produktivitas air ekonomis sebesar Rp 9.2/kg.
3. Komponen neraca air untuk sistem irigasi evapotranspiratif bawah permukaan di luar rumah tanaman terdiri dari 41.56% curah hujan, 15.92% infiltrasi, 0.04% irigasi, 25.64% *run-off*, 3.79% evapotranspirasi aktual, 12.88% drainase, dan 0.18% perubahan volume air dalam pot terhadap waktu selama masa tanam. Nilai *error* sebesar 0.809% menunjukkan model neraca air akurat untuk digunakan.

7.2 Saran

Ada beberapa aspek dari sistem irigasi yang telah dirancang yang masih belum dieksplorasi dan menjadi kemungkinan penelitian di masa depan. Beberapa analisis yang belum terselesaikan antara lain (1) proporsi kuantitas evapotranspirasi terhadap evaporasi dan transpirasi, (2) nilai kapasitas lapang dan titik layu permanen untuk irigasi evapotranspiratif bawah permukaan di luar rumah tanaman, (3) kondisi media tanam pot dengan berbagai macam debit air, (4) pengendalian unsur hara dalam pot tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen RG, Pereira L, Raes D, Smith M. 1998a. Crop evapotranspiration : Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*. 56: 1–15. doi:10.1016/j.eja.2010.12.001.
- Allen RG, Pereira LS. 2009. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrig Sci*. 28(1):17–34. doi:10.1007/s00271-009-0182-z.
- Allen RG, PEREIRA LS, RAES D, SMITH M. 1998b. FAO Irrigation and Drainage Paper Crop by. *Irrig Drain*. 300(56):300. <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>.
- Amalia R, Waspodo RSB, Setiawan BI. 2020. Rancangan Sistem Irigasi Evaporatif untuk Tanaman Lada. *J Irig*. 15(1):45. doi:10.31028/ji.v15.i1.45-54.
- Amin MSM, Rowshon MK, Aimru W. 2011. Paddy Water Management for Precision Farming of Rice. *Curr Issues Water Manag* 1(1):108-142.
- Amiri MJ, Abedi-Koupai J, Eslamian S. 2018. Comparison of reference evapotranspiration inside and outside the glasshouse. *Int J Glob Environ Issues*. 17(4):297–306. doi:10.1504/IJGENVI.2018.095040.
- Ardiansyah, Setiawan BI, Arif C, Saptomo SK. 2019. Peningkatan efisiensi aplikasi air pada petakan sawah dengan penerapan irigasi evaporatif (kajian teoritis). *J Irig*. 14(1):47–54.
- Arif C, Setiawan BI, Saptomo SK, Taufik M, Saputra SFD, Ardiansyah, Mizoguchi M. 2021a. Functional design of smart evaporative irrigation for mina-padi system in Indonesia. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 622:012052. doi:10.1088/1755-1315/622/1/012052.
- Arif C, Setiawan BI, Saptomo SK, Taufik M, Wiranto, Mizoguchi M. 2021b. Developing IT infrastructure of evaporative irrigation by adopting IOT technology. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 622:012048. doi:10.1088/1755-1315/622/1/012048.
- Arif C, Setiawan BI, Sofiyuddin HA, Martief LM, Mizoguchi M, Doi R. 2012. Estimating Crop Coefficient in Intermittent Irrigation Paddy Fields Using Excel Solver. *Rice Sci*. 19(2):143–152. doi:10.1016/S1672-6308(12)60033-X.
- Arif C, Toriyama A, Nugroho BDA, Mizoguchi M. 2015. Crop Coefficient and Water Productivity in Conventional and System of Rice Intensification (SRI) Irrigation Regimes of Terrace Rice Fields in Indonesia. *J Teknol*. 76(15):97–102.
- Barickman TC, Ku KM, Sams CE. 2020. Differing precision irrigation thresholds for kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) induces changes in physiological performance, metabolites, and yield. *Environ Exp Bot*. 180: 1-11. doi:10.1016/j.envexpbot.2020.104253.
- Bezerra BG, Bezerra JRC, da Silva BB, dos Santos CAC. 2015. Surface energy exchange and evapotranspiration from cotton crop under full irrigation conditions in the Rio Grande do Norte state, Brazilian Semi-Arid. *Bragantia*. 74(1):120–128. doi:10.1590/1678-4499.0245.
- Boulard T, Roy JC, Pouillard JB, Fatnassi H, Grisey A. 2017. Modelling of micrometeorology, canopy transpiration and photosynthesis in a closed greenhouse using computational fluid dynamics. *Biosyst Eng*. 158:110–133. doi:10.1016/j.biosystemseng.2017.04.001.

- Burt CM. 1999. Conference on Benchmarking Irrigation System Performance Using Water Measurement and Water Balances. *Irrigation Water Balance Fundamentals*.1–13.
- Campos I, Balbontín C, González-Piqueras J, González-Dugo MP, Neale CMU, Calera A. 2016. Combining a water balance model with evapotranspiration measurements to estimate total available soil water in irrigated and rainfed vineyards. *Agric Water Manag.* 165:141–152. doi:10.1016/j.agwat.2015.11.018.
- Casanova P M, Messing I, Joel A, Cañete M A. 2009. Methods to Estimate Lettuce Evapotranspiration in Greenhouse Conditions in the Central Zone of Chile. *Chil J Agric Res.* 69(1):60–70. doi:10.4067/s0718-58392009000100008.
- Chowdhury S, Al-Zahrani M, Abbas A. 2016. Implications of climate change on crop water requirements in arid region: An example of Al-Jouf, Saudi Arabia. *J King Saud Univ - Eng Sci.* 28(1):21–31. doi:10.1016/j.jksues.2013.11.001.
- Consoli S, Vanella D. 2014. Mapping crop evapotranspiration by integrating vegetation indices into a soil water balance model. *Agric Water Manag.* 143:71–81. doi:10.1016/j.agwat.2014.06.012.
- Contreras S, Bennett MA, Tay D. 2008. Restricted water availability during lettuce seed production decreases seed yield per plant but increases seed size and water productivity. *HortScience.* 43(3):837–844. doi:10.21273/hortsci.43.3.837.
- Cossu M, Murgia L, Ledda L, Deligios PA, Sirigu A, Chessa F, Pazzona A. 2014. Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity. *Appl Energy.* 133:89–100. doi:10.1016/j.apenergy.2014.07.070.
- Cunha H, Loureiro D, Sousa G, Covas D, Alegre H. 2019. A comprehensive water balance methodology for collective irrigation systems. *Agric Water Manag.* 223:1-9. doi:10.1016/j.agwat.2019.05.044.
- Dewi VAK, Setiawan BI, Minasny B, Santoso R, Waspodo B. 2020. Performance of closed-type irrigation system at a greenhouse. *Agric Eng Int CIGR J.* 22(4):58–64.
- Dewi VAK, Setiawan BI, Minasny B, Liyantono, Waspodo RSB. 2020a. Modeling air temperature inside an organic vegetable greenhouse. *Agrivita.* 42(2):295–305. doi:10.17503/agrivita.v0i0.2526.
- Dewi VAK, Setiawan BI, Waspodo RSB, Liyantono L. 2020b. Microclimate Condition in the Natural Ventilated Greenhouse. *J Tanah dan Iklim.* 44(1):31. doi:10.21082/jti.v44n1.2020.31-36.
- Domínguez-Niño JM, Oliver-Manera J, Girona J, Casadesús J. 2020. Differential irrigation scheduling by an automated algorithm of water balance tuned by capacitance-type soil moisture sensors. *Agric Water Manag.* 228:1-11. doi:10.1016/j.agwat.2019.105880.
- Er-Raki S, Chehbouni A, Guemouria N, Duchemin B, Ezzahar J, Hadria R. 2007. Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. *Agric Water Manag.* 87(1):41–54. doi:10.1016/j.agwat.2006.02.004.
- Evans JP, Zaitchik BF. 2008. Modeling the large-scale water balance impact of different irrigation systems. *Water Resour Res.* 44(8):1–13. doi:10.1029/2007WR006671.



- Fisher DK, Pringle III HC. 2013. Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. *Agric Sci.* 04(08):51–60. doi:10.4236/as.2013.48a008.
- Franco JA, Abrisqueta JM, Hernansáez A, Moreno F. 2000. Water balance in a young almond orchard under drip irrigation with water of low quality. *Agric Water Manag.* 43(1):75–98. doi:10.1016/S0378-3774(99)00049-9.
- Fuadi NA, Purwanto MYJ, Tarigan SD. 2016. Kajian Kebutuhan Air dan Produktivitas Air Padi Sawah dengan Sistem Pemberian Air Secara SRI dan Konvensional Menggunakan Irigasi Pipa. *J Irig.* 11(1):23. doi:10.31028/ji.v11.i1.23-32.
- Ghasemi Mobtaker H, Ajabshirchi Y, Ranjbar SF, Matloobi M. 2016. Solar energy conservation in greenhouse: Thermal analysis and experimental validation. *Renew Energy.* 96:509–519. doi:10.1016/j.renene.2016.04.079.
- Gomariz-Castillo F, Alonso-Sarría F, Cabezas-Calvo-Rubio F. 2018. Calibration and spatial modelling of daily ET₀ in semiarid areas using Hargreaves equation. *Earth Sci Informatics.* 11(3):325–340. doi:10.1007/s12145-017-0327-1.
- González-Esquivia JM, García-Mateos G, Escarabajal-Henarejos D, Hernández-Hernández JL, Ruiz-Canales A, Molina-Martínez JM. 2017. A new model for water balance estimation on lettuce crops using effective diameter obtained with image analysis. *Agric Water Manag.* 183:116–122. doi:10.1016/j.agwat.2016.11.019.
- González Perea R, Camacho Poyato E, Montesinos P, Rodríguez Díaz JA. 2016. Optimization of Irrigation Scheduling Using Soil Water Balance and Genetic Algorithms. *Water Resour Manag.* 30(8):2815–2830. doi:10.1007/s11269-016-1325-7.
- Grewal HS, Maheshwari B, Parks SE. 2011. Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: An Australian case study. *Agric Water Manag.* 98(5):841–846. doi:10.1016/j.agwat.2010.12.010.
- Haditiya FR, Prijono S. 2018. Simulation of Impact of Climate Change on Water Supply Availability for Sugarcane in Malang Region. *J Tanah dan Sumberd Lahan.* 5(1):663–672.
- Han M, Zhao C, Feng G, Yan Y, Sheng Y. 2015. Evaluating the effects of mulch and irrigation amount on soil water distribution and root zone water balance using HYDRUS-2D. *Water (Switzerland).* 7(6):2622–2640. doi:10.3390/w7062622.
- Haraguchi T, Saptomo SK, Inosako K, Yuge K. 2005. Numerical Estimation of Evapotranspiration Rate in a Greenhouse. *J Agric Meteorol.* 60(5):669–672.
- Hargreaves GH, Allen RG. 2003. History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *J Irrig Drain Eng.* 129(1):53–63. doi:10.1061/(asce)0733-9437(2003)129:1(53).
- Hasanah NAI, Setiawan BI, Arif C, Widodo S. 2015. Evaluasi Koefisien Tanaman Padi Pada Berbagai Perlakuan Muka Air. *J Irig.* 10(2):57. doi:10.31028/ji.v10.i2.57-68.
- Hasanah NAI, Setiawan BI, Arif C, Widodo S. 2017. Muka Air Optimum Pada System Of Rice Intensification (SRI). *J Irig.* 12(1):55. doi:10.31028/ji.v12.i1.55-64.
- Hassan-Esfahani L, Torres-Rua A, McKee M. 2015. Assessment of optimal

- irrigation water allocation for pressurized irrigation system using water balance approach, learning machines, and remotely sensed data. *Agric Water Manag.* 153:42–50. doi:10.1016/j.agwat.2015.02.005.
- Hassanien RHE, Li M, Dong Lin W. 2016. Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renew Sustain Energy Rev.* 54:989–1001. doi:10.1016/j.rser.2015.10.095.
- Hinai A Al, Jayasuriya H. 2021. Enhancing economic productivity of irrigation water by product value addition : Case of dates. *J Saudi Soc Agric Sci.* 1(1):1–6. doi:10.1016/j.jssas.2021.06.007.
- Kazem Attar H, Noory H, Ebrahimian H, Liaghat AM. 2020. Efficiency and productivity of irrigation water based on water balance considering quality of return flows. *Agric Water Manag.* 231:1-10. doi:10.1016/j.agwat.2020.106025.
- Koesmaryono Y, Sugimoto H, Ito D, Sato T, Haseba T. 1997. The influence of differet climatic conditions on the yield of soybeans cultivated under different population densities. *J Agric Meteorol.* 52(5):717–720.
- Lamnatou C, Chemisana D. 2013. Solar radiation manipulations and their role in greenhouse claddings: Fresnel lenses, NIR- and UV-blocking materials. *Renew Sustain Energy Rev.* 18:271–287. doi:10.1016/j.rser.2012.09.041.
- Li S, Kang S, Li F, Zhang L, Zhang B. 2008. Vineyard evaporative fraction based on eddy covariance in an arid desert region of Northwest China. *Agric Water Manag.* 95(8):937–948. doi:10.1016/j.agwat.2008.03.005.
- Liu X, Xu J, Zhou X, Wang W, Yang S. 2020. Evaporative fraction and its application in estimating daily evapotranspiration of water-saving irrigated rice field. *J Hydrol.* 584:1-12. doi:10.1016/j.jhydrol.2019.124317.
- Liu Z, Huang Y, Liu T, Li J, Xing W, Akmalov S, Peng J, Pan X, Guo C, Duan Y. 2020. Water balance analysis based on a quantitative evapotranspiration inversion in the Nukus irrigation area, Lower Amu River Basin. *Remote Sens.* 12(14):1-25. doi:10.3390/rs12142317.
- Lu J, Sun G, McNulty S, Amatya DM. 2005. A Comparison of Six Potential Evapotranspiration Methods for Regional Use in the. *J Am Water Resour Assoc.* 41(3):621–633.
- Maclean H, Dochain D, Waters G, Stasiak M, Dixon M, Van Der Straeten D. 2012. A simple mass balance model for lettuce - The water balance. *IFAC Proceedings Volumes.* 16:1442-1447.
- Mao X, Liu M, Wang X, Liu C, Hou Z, Shi J. 2003. Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China Plain. *Agric Water Manag.* 61(3):219–228. doi:10.1016/S0378-3774(03)00022-2.
- Mattar MA, Alazba AA, Alblewi B, Gharabaghi B, Yassin MA. 2016. Evaluating and Calibrating Reference Evapotranspiration Models Using Water Balance under Hyper-Arid Environment. *Water Resour Manag.* 30(11):3745–3767. doi:10.1007/s11269-016-1382-y.
- Muharomah R, Setiawan BI, Purwanto MYJ. 2017. Konsumsi Dan Kebutuhan Air Selada Pada Teknik Hidroponik Sistem Terapung. *Junal Irig.* 12(1):47–54.
- Muharomah R, Setiawan BI, Purwanto MYJ, Liyantono. 2020. Temporal Crop Coefficients and Water Productivity of Lettuce (*Lactuca sativa L.*) Hydroponics in Planthouse. *Agric Eng Int CIGR J.* 22 (1): 22-29.
- de Oliveira AS, Trezza R, Holzapfel EA, Lorite I, Paz VPS. 2009. Irrigation water



management in Latin America. *Chil J Agric Res.* 69(1):7–16. doi:10.4067/s0718-58392009000500002.

- Patel J, Patel H, Bhatt C. 2014. ECALTOOL: Fuzzy logic based computer program to calibrate the Hargreaves equation for accurate estimation of evapotranspiration. *Agric Eng Int CIGR J.* 16(3):245–250.
- Pelesco VA, Alagao FB. 2014. Evapotranspiration Rate of Lettuce (*Lactuca sativa* L., Asteraceae) in a Non-Circulating Hydroponics System. *J Soc Technol.* 6:1–6.
- Pereira LS, Paredes P, Jovanovic N. 2020. Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach. *Agric Water Manag.* 241:1-22. doi:10.1016/j.agwat.2020.106357.
- Pereira OCN, Sugiura TP da S, Pereira AP, Bertonha A, Previdelli I. 2019. Analysis of lettuce evapotranspiration across soil water. *Nat Resour Model.* 32(2):1-13. doi:10.1111/nrm.12197.
- Rudiyanto, Setiawan BI, Saptomo SK. 2006. Algoritma Filter Kalman untuk Menghaluskan Data Pengukuran. *J Keteknikan Pertan.* 20(3):287–292.
- Sammis T, Sharma P, Shukla MK, Wang J, Miller D. 2012. A water-balance drip-irrigation scheduling model. *Agric Water Manag.* 113:30–37. doi:10.1016/j.agwat.2012.06.012.
- Setiawan BI, Arif C, Rudiyanto, Askari M. 2015. Optimizing Irrigation And Drainage Rates In Sri Paddy Fields. *J Teknol.* 76(15):139–145.
- Siddik AJ, Soetoro, Pardani C. 2017. Analisis biaya, pendapatan dan R/C usaha tani kangkung darat (*Ipomoea reptana* poir.) (Suatu Kasus di Desa Budiasih Kecamatan Sindangkasih Kabupaten Ciamis). *J Ilm Mhs AGROINFO GALUH.* 4(2):298–303.
- Sirait S, Saptomo SK, Purwanto MYJ. 2015. Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Irigasi Pipa Lahan Sawah Berbasis Tenaga Surya. *J Irig.* 10(1):21. doi:10.31028/ji.v10.i1.21-32.
- Suhardiyanto H, Arif C, Setiawan BI. 2009. Optimization of EC values of nutrient solution for tomato fruits quality in hydroponics system using artificial neural network and genetic algorithms. *ITB J Sci.* 41(1):38–49. doi:10.5614/itbj.sci.2009.41.1.3.
- Sun HY, Liu CM, Zhang XY, Shen YJ, Zhang YQ. 2006. Effects of irrigation on water balance, yield and WUE of winter wheat in the North China Plain. *Agric Water Manag.* 85(1–2):211–218. doi:10.1016/j.agwat.2006.04.008.
- Takakura T, Kubota C, Sase S, Hayashi M, Ishii M, Takayama K, Nishina H, Kurata K, Giacomelli GA. 2009. Measurement of evapotranspiration rate in a single-span greenhouse using the energy-balance equation. *Biosyst Eng.* 102(3):298–304. doi:10.1016/j.biosystemseng.2008.12.004.
- Tang L, Hamid Y, Zehra A, Sahito ZA, He Z, Khan MB, Feng Y, Yang X. 2020. Mechanisms of water regime effects on uptake of cadmium and nitrate by two ecotypes of water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) in contaminated soil. *Chemosphere.* 246:1–13. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.125798.
- Tulung R, Rumambi D, Ludong D. 2019. Penerapan irigasi hidroponik sistem akar telanjang (bare root system) pada tanaman kangkung (*ipomea aquatic* forsk). Application of hydroponic irrigation of bare root system in water spinach plants. *Eugenia.* 25(3):86–93.

- Tyagi NK, Sharma DK, Luthra SK. 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. *Agric Water Manag.* 45(1):41–54. doi:10.1016/S0378-3774(99)00071-2.
- Wahyudi A, Anwar N, Edijatno. 2014. Studi Optimasi Pola Tanam Pada Daerah Irigasi Koto Surabaya Dengan Menggunakan Program Linear. *J Tek POMITS.* 3(1):30–35.
- Zhang Y, Kendy E, Qiang Y, Changming L, Yanjun S, Hongyong S. 2004. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. *Agric Water Manag.* 64(2):107–122. doi:10.1016/S0378-3774(03)00201-4.
- ZHANG Z kun, LIU Shi qi, LIU Su hui, HUANG Z jun. 2010. Estimation of Cucumber Evapotranspiration in Solar Greenhouse in Northeast China. *Agric Sci China.* 9(4):512–518. doi:10.1016/S1671-2927(09)60124-3.
- Zirebwa FS, Sammie B, Kapenzi A, Mugandani R, Madanzi T. 2014. An evaluation of the performance and subsequent calibration of two reference evapotranspiration estimation models for Gweru, Zimbabwe. *Acad J Agric Res.* 2(7):167–174.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

LAMPIRAN

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 1 Data muka air dan iklim di dalam rumah tanaman pengamatan tahap 1

Date	h (mm)	t (d)	h (mm)	dh/dt (mm/d)	Tmean (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rs (MJ M ² h ⁻¹)	RH (%)
25-Apr-18	169	0	0	-0.73	24.3	26.3	23.1	3.5	96.7
26-Apr-18	168	1	-1	-0.73	24.3	29.5	22.7	5.2	96.7
27-Apr-18	167	2	-2	-0.73	24.6	28.8	22.4	6.0	96.7
28-Apr-18	167	3	-2	-0.73	24.7	29.5	22.1	6.5	96.7
29-Apr-18	166	4	-3	-0.73	25.3	32.1	21.9	9.0	96.7
30-Apr-18	165	5	-4	-0.74	26.2	32.9	22.7	9.9	96.7
01-May-18	164	6	-5	-0.75	25.7	30.0	22.3	7.8	96.7
02-May-18	163	7	-6	-0.75	25.0	31.2	22.7	6.4	96.7
03-May-18	163	8	-6	-0.76	25.1	30.4	22.8	5.9	96.7
04-May-18	162	9	-7	-0.77	25.5	31.7	22.6	8.2	96.7
05-May-18	162	10	-7	-0.79	24.4	28.0	22.7	5.3	96.7
06-May-18	161	11	-8	-0.80	26.6	33.3	22.6	10.0	96.7
07-May-18	160	12	-9	-0.82	24.3	34.1	21.2	10.8	96.7
08-May-18	159	13	-10	-0.84	26.2	32.4	22.5	9.6	96.7
09-May-18	158	14	-11	-0.86	27.3	34.0	23.5	10.4	96.7
10-May-18	157	15	-12	-0.88	26.8	33.1	23.4	8.7	96.7
11-May-18	155	16	-14	-0.90	23.8	33.6	23.6	8.0	96.7
12-May-18	154	17	-15	-0.92	27.2	33.6	23.0	11.0	96.7
13-May-18	152	18	-17	-0.95	25.1	32.2	23.8	11.0	96.7
14-May-18	151	19	-18	-0.98	27.0	33.0	23.1	9.9	96.7
15-May-18	150	20	-19	-1.01	27.0	34.5	23.7	10.5	96.7
16-May-18	150	21	-19	-1.04	26.0	33.4	22.7	10.7	96.7
17-May-18	149	22	-20	-1.07	26.6	33.1	23.1	9.9	96.7
18-May-18	148	23	-21	-1.10	26.3	31.5	24.1	7.8	96.7
19-May-18	147	24	-22	-1.14	25.9	33.1	23.4	8.7	96.7
20-May-18	147	25	-22	-1.17	23.0	35.2	22.6	10.9	96.7
21-May-18	146	26	-23	-1.21	27.4	34.4	24.1	9.9	96.7
22-May-18	144	27	-25	-1.25	28.1	35.4	23.6	11.8	96.7
23-May-18	143	28	-26	-1.30	26.9	32.8	23.4	9.7	96.7
24-May-18	142	29	-27	-1.34	28.1	33.0	24.0	16.3	96.7
25-May-18	141	30	-28	-1.38	26.8	35.2	22.3	9.4	96.7
26-May-18	140	31	-29	-1.43	27.3	33.8	23.6	11.6	96.7
27-May-18	139	32	-30	-1.48	27.0	34.6	23.7	8.5	96.7
28-May-18	138	33	-31	-1.53	26.7	33.2	23.7	9.8	96.7
29-May-18	136	34	-33	-1.58	27.0	32.8	23.6	8.2	96.7
30-May-18	133	35	-36	-1.63	26.5	33.3	24.2	5.7	96.7

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 2 Data perbandingan iklim di luar dan di dalam rumah tanaman pengamatan tahap 1

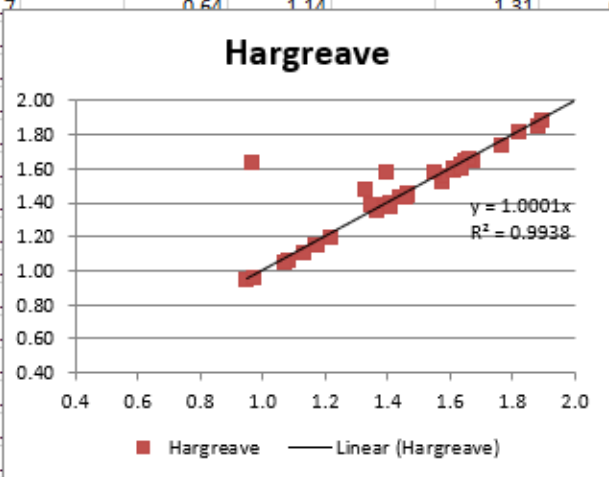
day	date	Rs (MJ/m2/hari)		Tmean (°C)	
		out	in	out	in
1	05-02-18	5.702	3.484	23.849	24.271
2	06-02-18	8.757	5.217	23.685	24.330
3	07-02-18	10.224	6.035	24.053	24.617
4	08-02-18	10.939	6.490	24.375	24.704
5	09-02-18	17.442	8.952	24.773	25.271
6	10-02-18	16.344	9.881	25.635	26.196
7	11-02-18	14.387	7.778	25.436	25.672
8	12-02-18	12.679	6.391	24.558	24.951
9	13-02-18	11.021	5.939	24.475	25.129
10	14-02-18	14.700	8.200	24.999	25.549
11	15-02-18	8.988	5.343	23.846	24.351
12	16-02-18	22.112	10.036	26.153	26.587
13	17-02-18	20.082	10.824	23.849	24.271
14	18-02-18	22.636	9.584	25.593	26.153
15	19-02-18	22.096	10.389	26.923	27.308
16	20-02-18	20.164	8.678	26.283	26.806
17	21-02-18	17.254	8.009	23.600	23.800
18	22-02-18	23.823	11.028	26.714	27.201
19	23-02-18	24.344	11.002	25.000	25.100
20	24-02-18	20.580	9.937	26.397	26.951
21	25-02-18	27.290	10.464	26.388	26.967
22	26-02-18	24.498	10.718	25.345	25.951
23	27-02-18	20.975	9.924	26.109	26.643
24	28-02-18	15.326	7.801	25.807	26.310
25	01-03-18	18.141	8.672	25.309	25.866
26	02-03-18	29.327	10.949	22.600	23.000
27	03-03-18	20.692	9.907	26.669	27.355
28	04-03-18	30.919	11.776	27.608	28.110
29	05-03-18	21.720	9.710	26.307	26.870
30	06-03-18	33.086	16.303	27.202	28.081
31	07-03-18	19.980	9.390	25.951	26.786
32	08-03-18	26.400	11.578	26.830	27.333
33	09-03-18	19.884	8.477	26.431	26.956
34	10-03-18	21.756	9.786	26.104	26.740
35	11-03-18	15.847	8.187	26.328	27.006
36	12-03-18	19.377	5.679	26.140	26.533
37	13-03-18	21.529	0.000	26.390	26.914
38	14-03-18	26.090	0.007	26.558	27.303
39	15-03-18	32.962	13.108	28.254	28.880
40	16-03-18	26.06	12.53	27.176	27.722

@Hak cipta milik IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 3 Kalibrasi optimasi Co/Kr model Hargreaves untuk estimasi E_{Tp} dalam rumah tanaman

		0.729114				0.0135		
		1.862744	0.47		0.999994	0.003001	0.01160	
		r2	RMSE	1.00	Error	0.088	0.057	0.723
		0.997762	0.166129		R2	0.806	0.820	0.881
					a	0.581	0.916	0.906
					b	0.359	0.408	0.147
No	Date	-dh/dt (mm/hari)	kc	Etp	PM	Hargreave	Hargreave	Hargreave
1	25-Apr-18	0.7	0.78	0.94	0.77	0.4	0.95	
2	26-Apr-18	0.7	0.76	0.96	1.13	0.7	1.0	
3	27-Apr-18	0.7	0.64	1.14	1.31	0.8	1.2	
4	28-Apr-18	0.7				0.8	1.2	
5	29-Apr-18	0.7				1.2	1.4	
6	30-Apr-18	0.7				1.3	1.6	
7	01-May-18	0.7				1.0	1.4	
8	02-May-18	0.7				0.8	1.1	
9	03-May-18	0.7				0.8	1.1	
10	04-May-18	0.7				1.1	1.4	
11	05-May-18	0.7				0.7	1.1	
12	06-May-18	0.7				1.3	1.6	
13	07-May-18	0.7				1.4	1.5	
14	08-May-18	0.7				1.3	1.6	
15	09-May-18	0.7				1.4	1.7	
16	10-May-18	0.7				1.2	1.4	
17	11-May-18	0.7				1.0	1.2	
18	12-May-18	0.9	0.53	1.74	2.42	1.5	1.8	
19	13-May-18	0.9	0.51	1.85	2.35	1.4	1.9	
20	14-May-18	1.0	0.60	1.63	2.18	1.3	1.6	
21	15-May-18	1.0	0.61	1.64	2.29	1.4	1.7	
22	16-May-18	1.0	0.63	1.65	2.31	1.4	1.7	
23	17-May-18	1.1	0.67	1.60	2.16	1.3	1.6	
24	18-May-18	1.1	0.77	1.44	1.71	1.0	1.5	
25	19-May-18	1.1	0.83	1.38	1.88	1.1	1.4	
26	20-May-18	1.2	0.82	1.43	2.27	1.3	1.5	
27	21-May-18	1.2	0.76	1.59	2.18	1.3	1.6	
28	22-May-18	1.3	0.69	1.81	2.60	1.6	1.8	
29	23-May-18	1.3	0.81	1.61	2.13	1.3	1.6	
30	24-May-18	1.3	0.47	2.86	3.59	2.2	2.9	
31	25-May-18	1.4	1.00	1.38	2.05	1.3	1.4	
32	26-May-18	1.4	0.76	1.88	2.54	1.6	1.9	
33	27-May-18	1.5	1.00	1.48	1.86	1.1	1.3	
34	28-May-18	1.5	0.95	1.60	2.14	1.3	1.6	
35	29-May-18	1.6	1.00	1.58	1.80	1.1	1.4	
36	30-May-18	1.6	1.00	1.63	1.25	0.8	1.0	



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

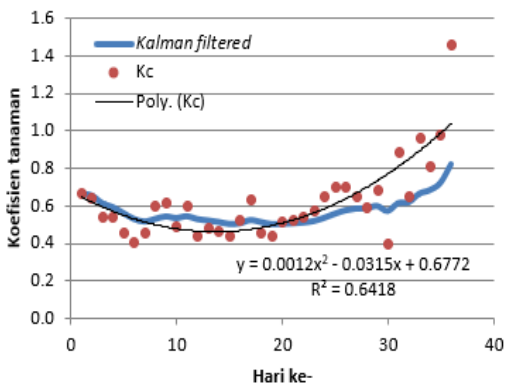
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 4 Proses Kalman filter untuk nilai K_c selada

No	Tanggal	K_c	Kalman filtered
1	25-04-18	0.7	0.7
2	26-04-18	0.6	0.7
3	27-04-18	0.5	0.6
4	28-04-18	0.5	0.6
5	29-04-18	0.5	0.6
6	30-04-18	0.4	0.5
7	01-05-18	0.5	0.5
8	02-05-18	0.6	0.5
9	03-05-18	0.6	0.5
10	04-05-18	0.5	0.5
11	05-05-18	0.6	0.5
12	06-05-18	0.4	0.5
13	07-05-18	0.5	0.5
14	08-05-18	0.5	0.5
15	09-05-18	0.4	0.5
16	10-05-18	0.5	0.5
17	11-05-18	0.6	0.5
18	12-05-18	0.5	0.5
19	13-05-18	0.4	0.5
20	14-05-18	0.5	0.5
21	15-05-18	0.5	0.5
22	16-05-18	0.5	0.5
23	17-05-18	0.6	0.5
24	18-05-18	0.6	0.5
25	19-05-18	0.7	0.6
26	20-05-18	0.7	0.6
27	21-05-18	0.6	0.6
28	22-05-18	0.6	0.6
29	23-05-18	0.7	0.6
30	24-05-18	0.4	0.6
31	25-05-18	0.9	0.6
32	26-05-18	0.7	0.6
33	27-05-18	1.0	0.7
34	28-05-18	0.8	0.7
35	29-05-18	1.0	0.7
36	30-05-18	1.5	0.8

Parameter N 36
Parameter Q 0.000002
Parameter R 0.000100

Run



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 5 Data sampel tanaman selada dengan modifikasi THST di dalam rumah tanaman

day	date	BB (g)	BK (g)	Bair (g)	Vair (ml)	W (g/g)	VT (cm3)	VK (cm3)	VB (cm3)	Vu(ml)	Θ_s	Θ
6	05-Feb-18	0.56	0.03	0.53	0.53	17.67	1	0.1	0.9	0.37	90%	53%
13	12-Feb-18	0.68	0.04	0.64	0.64	16.00	1.5	0.1	1.4	0.76	93%	43%
16	15-Feb-18	3.12	0.16	2.96	2.96	18.50	4	0.8	3.2	0.24	80%	74%
23	22-Feb-18	11.86	0.63	11.23	11.23	17.83	26	12	14	2.77	0.538	43%
28	27-Feb-18	44.09	2.54	41.55	41.55	16.36	58	12	46	4.45	0.793	72%
32	03-Mar-18	86.51	4.77	81.74	81.74	17.14	116	18	98	16.26	0.845	70%
36	07-Mar-18	109.34	5.78	103.56	103.56	17.92	154	26	128	24.44	0.831	67%
40	11-Mar-18	178.12	9.04	169.08	169.08	18.70	226	31	195	25.92	0.863	75%

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 6 Hasil panen kangkung pengamatan tahap 2

Tanggal	Pot 1	Pot 2	Pot 3	Pot 4	Pot 5	Pot 6	Pot 7	Pot 8	Pot 9	Pot 10	Pot 11	Pot 12	Pot 13	
10-Nov-20	Yield (g)	357.46	329.88	292.14	173.7	164.39	190.91	204.34	172.75	165.24	198.47	156.77	194.08	207.57
25-Nov-20	Yield (g)	148.77	141.27	143.63	125.38	122.4	130.64	164.76	105.8	116.11	119.28	103.76	130.13	102.73
	Berat loyang sampel (g)	85.16	84.63	84.31	62.6	93.22	85.81	92.59	94.09	94.9	94.55	94.65	85.32	85.62
	BB sampel (g)	19.53	12.4	13.36	16.59	11.28	11.45	19.1	11.68	15.71	11.82	14.67	14.08	14.54
	BK+loyang sampel (g)	86.53	85.47	85.34	63.86	94.2	86.81	94.15	95.05	96.11	95.4	95.99	86.59	86.96
	BK sampel (g)	1.37	0.84	1.03	1.26	0.98	1	1.56	0.96	1.21	0.85	1.34	1.27	1.34
	Berat air (g)	18.16	11.56	12.33	15.33	10.3	10.45	17.54	10.72	14.5	10.97	13.33	12.81	13.2
11-Dec-20	Yield (g)	20.79	22.85	47.27	32.35	49.95	68.57	55.87	26.81	23.65	73.6	32.76	57.99	22.05
	Berat loyang sampel (g)	93.81	84.64	84.33	62.59	93.3	94.99	92.66	94.14	94.88	94.51	94.72	85.32	85.63
	BB sampel (g)	15.78	15.37	13.6	14.02	17.19	13.96	16.09	14.67	15.06	14.5	15.45	14.59	14.63
	BK+loyang sampel (g)	94.78	85.8	85.31	63.6	94.4	95.94	93.8	95.3	95.98	95.53	95.81	86.4	86.84
	BK sampel (g)	0.97	1.16	0.98	1.01	1.1	0.95	1.14	1.16	1.1	1.02	1.09	1.08	1.21
	Berat air (g)	14.81	14.21	12.62	13.01	16.09	13.01	14.95	13.51	13.96	13.48	14.36	13.51	13.42
27-Dec-20	Yield (g)	13.49	16.63	20.03	25.33	44.77	62.9	32.08	15.25	13.93	21.34	10.17	40.53	10.46
	Berat loyang sampel (g)	93.74	84.68	84.32	62.59	93.26	95.01	92.66	94.15	94.87	94.51	94.71	85.35	85.66
	BB sampel (g)	12.82	15.89	15.4	14.41	14.05	15.04	14.24	14.38	12.98	15.81	9.31	13.97	9.51
	BK+loyang sampel (g)	94.82	86.16	85.71	64.01	94.46	96.36	93.92	95.43	96.06	95.78	95.54	86.57	86.52
	BK sampel (g)	1.08	1.48	1.39	1.42	1.2	1.35	1.26	1.28	1.19	1.27	0.83	1.22	0.86
	Berat air (g)	11.74	14.41	14.01	12.99	12.85	13.69	12.98	13.1	11.79	14.54	8.48	12.75	8.65

Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 7 Parameter iklim dan ET_p pengamatan tahap 2

Date	Day	RH (%)			T (°C)			Rs (MJ m ⁻² day ⁻¹)	Etp (mm)				
		Min	Max	Mean	Min	Max	Mean		HRG	HRG (l)	LNC	RMN	
10-Nov-20	0	60.5	94.5	84.3	23.5	33.6	26.9	12.832	7.7	13.6	4.0	7.6	
11-Nov-20	0	61.3	94.9	83.3	22.4	33.7	27.0	14.875	9.0	1.1	4.0	8.1	
12-Nov-20	1	63.7	94.3	84.3	23.5	32.8	27.1	10.405	6.3	0.8	4.1	7.7	
13-Nov-20	2	57.7	92.8	77.9	23.3	34.6	28.5	15.075	9.4	1.2	4.7	11.4	
14-Nov-20	3	58.2	94.0	82.8	23.7	34.2	27.5	13.643	8.3	1.0	4.2	8.5	
15-Nov-20	4	60.2	94.6	81.2	23.3	33.6	27.7	13.353	8.2	1.0	4.3	9.4	
16-Nov-20	5	58.4	92.0	79.5	23.7	34.4	28.2	13.488	8.4	1.1	4.6	10.4	
17-Nov-20	6	63.7	94.2	85.8	23.0	33.8	26.8	13.365	8.0	1.0	3.9	6.9	
18-Nov-20	7	69.0	94.4	85.9	23.1	32.2	26.6	12.761	7.6	1.0	3.8	6.7	
19-Nov-20	8	55.1	93.2	81.0	22.7	34.8	27.6	14.941	9.2	1.2	4.3	9.5	
20-Nov-20	9	63.2	93.4	83.3	24.5	33.7	27.6	13.720	8.4	1.1	4.3	8.3	
21-Nov-20	10	72.3	94.5	89.4	23.1	31.2	25.2	8.630	5.0	0.6	3.2	4.8	
22-Nov-20	11	66.2	95.0	86.3	22.3	32.9	26.0	13.857	8.2	1.0	3.6	6.4	
23-Nov-20	12	8.6	93.1	85.8	23.6	31.1	26.0	8.917	5.3	0.7	3.6	6.7	
24-Nov-20	13	62.4	93.7	80.9	23.1	33.4	27.4	17.030	10.4	1.3	4.2	9.4	
25-Nov-20	14	57.0	91.7	77.6	23.4	34.8	28.1	15.276	9.5	1.2	4.5	11.4	
26-Nov-20	15	56.7	93.6	74.9	23.2	34.2	28.5	16.704	10.4	1.3	4.7	12.9	
27-Nov-20	16	53.4	90.8	74.9	23.2	33.9	28.0	15.192	9.4	1.2	4.5	12.7	
28-Nov-20	17	59.2	91.6	80.6	23.5	33.2	26.8	12.703	7.6	1.0	3.9	9.4	
29-Nov-20	18	66.1	94.4	84.5	23.5	32.1	26.2	11.517	6.8	0.9	3.6	7.3	
30-Nov-20	19	73.9	94.8	88.9	23.0	29.7	25.1	8.989	5.2	0.7	3.2	5.0	
01-Dec-20	20	67.4	93.6	81.5	22.8	32.3	27.1	12.000	7.3	0.9	4.0	9.0	
02-Dec-20	21	61.4	92.3	77.0	23.7	33.9	28.4	12.562	7.8	1.0	4.7	11.8	
03-Dec-20	22	73.4	94.9	88.1	22.4	29.6	25.4	6.854	4.0	0.5	3.3	5.4	
04-Dec-20	23	66.6	92.9	80.9	23	31.9	26.9	13.399	8.1	1.0	4.0	9.2	
05-Dec-20	24	74.2	94.2	86.8	23.7	29.5	25.4	9.403	5.5	0.7	3.3	6.1	
06-Dec-20	25	84.2	94.6	92.6	22.8	26.6	23.9	3.729	2.1	0.3	2.6	3.2	
07-Dec-20	26	77.7	95.5	90.4	22.6	28.2	24.5	7.952	4.5	0.6	2.9	4.2	
08-Dec-20	27	67.7	94.7	82.5	22.6	31.5	26.3	10.916	6.5	0.8	3.7	8.3	
09-Dec-20	28	69.3	93.3	85.5	23.2	31.4	25.4	11.074	6.5	0.8	3.3	6.6	
10-Dec-20	29	76.1	93.4	85.9	22.7	29.5	25.6	9.364	5.5	0.7	3.4	6.5	
11-Dec-20	30	72.5	94.9	87.3	22.8	30.3	25.3	9.193	5.4	0.7	3.3	5.8	
12-Dec-20	31	70.8	95.5	84.4	22.7	30.2	25.9	12.486	7.4	0.9	3.5	7.3	
13-Dec-20	32	70.1	90.2	80.4	24	30.7	26.5	12.278	7.3	0.9	3.8	9.4	
14-Dec-20	33	66.9	92.3	80.9	23.6	31.9	26.6	11.388	6.8	0.9	3.8	9.2	
15-Dec-20	34	65.5	92.7	81.8	22.7	32.4	26.7	11.681	7.0	0.9	3.9	8.8	
16-Dec-20	35	64.4	91.6	81.8	23.5	33.1	26.9	14.042	8.5	1.1	4.0	8.8	
17-Dec-20	36	67.1	94.5	82.0	22.6	31.6	26.3	15.565	9.3	1.2	3.7	8.5	
18-Dec-20	37	67.3	94.2	82.5	22.9	31.9	26.4	12.740	7.6	1.0	3.7	8.3	
19-Dec-20	38	63.7	92.3	79.0	22.2	33.4	26.6	16.709	10.0	1.3	3.8	10.0	
20-Dec-20	39	69.9	93.2	86.9	21.9	31.4	24.9	10.634	6.1	0.8	3.1	5.9	
21-Dec-20	40	69.2	94.7	85.1	23	31.3	25.8	14.679	8.6	1.1	3.5	6.9	
22-Dec-20	41	71.9	94.0	87.3	22.8	31.2	25.5	10.938	6.4	0.8	3.3	5.8	
23-Dec-20	42	63.1	94.3	86.5	21.8	33.9	26.2	13.651	8.1	1.0	3.6	6.4	
24-Dec-20	43	66.4	94.0	86.4	22.8	33	25.8	12.526	7.4	0.9	3.5	6.3	
25-Dec-20	44	54.0	94.4	80.0	22.5	35.9	27.4	23.593	14.4	1.8	4.2	9.9	
26-Dec-20	45	60.2	92.5	79.2	22.9	34.8	27.3	20.110	12.2	1.5	4.1	10.2	
27-Dec-20	46	56.7	91.3	79.4	23	35.1	27.8	27.380	16.8	2.1	4.4	10.3	
									Total	375.7		183.6	388.9
									Average	7.8		3.8	8.1

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Lampiran 8 Tinggi muka air dalam pot-pot tanam pengamatan tahap 2

Date	Day	Time (h)	h1 (mm)	h2 (mm)	h3 (mm)	h4 (mm)	h5 (mm)	h6 (mm)	h7 (mm)	h8 (mm)	h9 (mm)	h10 (mm)	h11 (mm)	h12 (mm)	h13 (mm)	h14 (mm)
10-Nov-20		06:00														
11-Nov-20	0	06:00	-46	-46	-34	-37	-5	-22	-34	-5	9	-3	8	-69	-6	-4
11-Nov-20	0	18:00	-64	-66	-46	-54	-29	-28	-44	-26	-2	-14	-27	-24	-20	-8
12-Nov-20	1	06:00	-27	-40	-34	-23	1	0	-27	-1	16	7	-3	-4	14	15
12-Nov-20	1	18:00	-56	-56	-37	-27	-15	-23	-31	-4	4	-22	-12	-14	-10	10
13-Nov-20	2	06:00	-63	-60	-44	-37	-22	-21	-49	-19	-1	-15	-21	-24	9	-4
13-Nov-20	2	18:00	-71	-71	-52	-45	-25	-33	-58	-34	-21	-30	-27	-34	4	-9
14-Nov-20	3	06:00	-55	-80	-63	-55	-22	-30	-49	-35	-12	-26	-20	-11	-16	-10
14-Nov-20	3	18:00	-18	-41	-20	-7	7	4	-20	-2	14	16	16	2	28	26
15-Nov-20	4	06:00	-41	-52	-35	-28	-20	-9	-25	-13	4	11	2	10	7	18
15-Nov-20	4	18:00	-71	-64	-51	-43	-30	-28	-52	-35	-13	-23	-15	-12	0	-3
16-Nov-20	5	06:00	-71	-70	-55	-50	-35	-31	-60	-42	-15	-29	-17	-10	1	-3
16-Nov-20	5	18:00	-89	-87	-69	-47	-54	-50	-78	-56	-34	-44	-29	-22	-15	-19
17-Nov-20	6	06:00	-71	-64	-51	-43	-30	-28	-52	-35	-13	-23	-15	-12	0	-3
17-Nov-20	6	18:00	-41	-52	-35	-28	-20	-9	-25	-13	4	11	2	10	7	18
18-Nov-20	7	06:00	-45	-50	-36	-33	-36	-10	-32	-16	3	-2	1	4	0	22
18-Nov-20	7	18:00	-58	-62	-43	-35	-48	-21	-43	-26	0	-13	-3	-6	-7	8
19-Nov-20	8	06:00	-66	-66	-50	-35	-23	-23	-48	-30	-3	-18	-7	-10	-10	5
19-Nov-20	8	18:00	-87	-84	-64	-57	-35	-35	-64	-44	-24	-32	-17	-20	-24	-12
20-Nov-20	9	06:00	-74	-72	-60	-47	-32	-35	-49	-37	-20	-23	-21	-15	-10	-8
20-Nov-20	9	18:00	-45	-55	-35	-33	-6	-7	-30	-15	13	-3	7	10	5	17
21-Nov-20	10	06:00	-61	-62	-40	-40	-15	-11	-37	-19	0	-10	0	1	1	12
21-Nov-20	10	18:00	-33	-44	-21	-23	6	2	-23	-7	10	3	13	15	22	24
22-Nov-20	11	06:00	-24	-45	-31	-34	-5	-5	-24	-11	0	-2	2	5	6	23
22-Nov-20	11	18:00	-70	-61	-50	-48	-22	-27	-47	-31	-7	-23	-10	-15	-20	0
23-Nov-20	12	06:00	-66	-78	-56	-51	-27	-31	-57	-41	-18	-29	-19	-24	-27	-12
23-Nov-20	12	18:00	-58	-70	-57	-56	-25	-30	-50	-37	-12	-25	-15	-22	-18	-7
24-Nov-20	13	06:00	-73	-76	-63	-60	-32	-39	-54	-45	-17	-32	-17	-27	-33	-10
24-Nov-20	13	18:00	-64	-73	-64	-58	-27	-34	-58	-42	-20	-33	-33	-27	-26	-12
25-Nov-20	14	06:00														
25-Nov-20	14	18:00														
26-Nov-20	15	06:00	-58	-70	-57	-56	-25	-30	-50	-37	-12	-25	-15	-22	-18	-7
26-Nov-20	15	18:00	-66	-82	-63	-51	-33	-30	-60	-44	-21	-36	-27	-27	-19	-9
27-Nov-20	16	06:00	-71	-72	-64	-57	-28	-33	-60	-47	-21	-29	-33	-35	-23	-7
27-Nov-20	16	18:00	-73	-77	-65	-57	-32	-40	-53	-45	-10	-32	-36	-28	-16	-5
28-Nov-20	17	06:00	-70	-75	-60	-50	-25	-40	-50	-43	-15	-30	-29	-25	-18	-8
28-Nov-20	17	18:00	-41	-46	-32	-27	-5	-13	-22	-15	7	-2	-1	3	5	20
29-Nov-20	18	06:00	-43	-53	-35	-28	-2	-8	-28	-19	7	-2	-3	0	2	19
29-Nov-20	18	18:00	-54	-57	-41	-38	-6	-14	-30	-28	5	-11	-10	-14	-2	10
30-Nov-20	19	06:00	-41	-50	-30	-27	-1	-2	-19	-18	10	-1	-4	0	2	24

Halaman 58 dari 58
 © Halaman milik IPB University
 Hani Cipri Dhrindrigi, mahasiswa IPB University
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Date	Day	Time (h)	h1 (mm)	h2 (mm)	h3 (mm)	h4 (mm)	h5 (mm)	h6 (mm)	h7 (mm)	h8 (mm)	h9 (mm)	h10 (mm)	h11 (mm)	h12 (mm)	h13 (mm)	h14 (mm)
30-Nov-20	19	18:00	-32	-48	-28	-29	0	0	-18	-17	9	2	1	1	3	26
01-Dec-20	20	06:00	-36	-50	-29	-35	0	-2	-23	-19	9	-3	1	0	3	20
01-Dec-20	20	18:00	-64	-67	-50	-42	-22	-27	-40	-37	-8	-17	-14	-15	-15	1
02-Dec-20	21	06:00	-78	-76	-59	-56	-27	-31	-51	-49	-17	-29	-24	-33	-23	-7
02-Dec-20	21	18:00	-71	-76	-58	-59	-23	-31	-51	-48	-15	-27	-25	-31	-25	-5
03-Dec-20	22	06:00	-61	-65	-42	-51	-21	-23	-40	-38	-5	-17	-16	-19	-10	2
03-Dec-20	22	18:00	-61	-72	-50	-54	-28	-27	-46	-42	-7	-25	-27	-27	-19	-3
04-Dec-20	23	06:00	-71	-76	-60	-60	-22	-32	-50	-44	-15	-27	-27	-27	-20	-5
04-Dec-20	23	18:00	-77	-76	-54	-56	-30	-31	-49	-45	-7	-29	-30	-26	-22	-5
05-Dec-20	24	06:00	-61	-71	-56	-55	-25	-31	-45	-40	-8	-25	-24	-24	-22	-5
05-Dec-20	24	18:00	-70	-75	-54	-60	-25	-28	-46	-45	-9	-27	-23	-23	-15	-5
06-Dec-20	25	06:00	-63	-74	-49	-59	-25	-28	-53	-42	-13	-26	-17	-23	-12	-5
06-Dec-20	25	18:00	-70	-73	-54	-57	-28	-31	-46	-40	-11	-28	-24	-21	-14	-10
07-Dec-20	26	06:00	-71	-74	-57	-61	-28	-31	-47	-41	-14	-26	-20	-15	-14	0
07-Dec-20	26	18:00	-73	-77	-59	-63	-28	-41	-50	-47	-16	-28	-26	-27	-18	-5
08-Dec-20	27	06:00	-70	-72	-50	-54	-25	-30	-48	-45	-15	-26	-22	-25	-17	1
08-Dec-20	27	18:00	-76	-80	-62	-60	-31	-36	-53	-49	-18	-30	-24	-26	-19	-9
09-Dec-20	28	06:00	-80	-80	-54	-60	-32	-37	-56	-50	-21	-36	-23	-26	-22	-10
09-Dec-20	28	18:00	-71	-77	-57	-58	-29	-33	-50	-46	-11	-27	-21	-20	-10	-5
10-Dec-20	29	06:00	-76	-84	-66	-63	-35	-38	-58	-56	-14	-36	-25	-25	-14	-11
10-Dec-20	29	18:00	-76	-78	-54	-59	-27	-38	-62	-50	-23	-29	-21	-22	-17	-10
11-Dec-20	30	06:00														
11-Dec-20	30	18:00														
12-Dec-20	31	06:00	-37	-49	-27	-28	-1	-7	-28	-7	13	-1	-1	-1	2	20
12-Dec-20	31	18:00	-53	-59	-41	-40	-12	-16	-37	-30	2	-13	-9	-15	-8	10
13-Dec-20	32	06:00	-55	-61	-45	-43	-13	-17	-40	-35	-1	-14	-9	-17	-9	8
13-Dec-20	32	18:00	-70	-74	-56	-59	-20	-25	-59	-46	-12	-25	-18	-30	-13	-5
14-Dec-20	33	06:00	-66	-74	-54	-49	-21	-22	-45	-45	-5	-20	-20	-26	-5	-3
14-Dec-20	33	18:00	-71	-85	-60	-61	-32	-49	-63	-46	-15	-32	-21	-34	-19	-9
15-Dec-20	34	06:00	-63	-68	-54	-59	-27	-31	-52	-40	-9	-31	-22	-31	-19	-6
15-Dec-20	34	18:00	-66	-75	-59	-59	-29	-33	-59	-49	-15	-33	-24	-33	-22	-8
16-Dec-20	35	06:00	-76	-80	-54	-59	-21	-34	-60	-49	-12	-33	-24	-30	-22	-7
16-Dec-20	35	18:00	-76	-81	-62	-59	-30	-34	-58	-44	-13	-30	-25	-31	-18	-3
17-Dec-20	36	06:00	-42	-42	-30	-25	4	1	-23	3	18	7	9	-4	15	24
17-Dec-20	36	18:00	-56	-61	-36	-41	-7	-20	-50	-27	-3	-9	-16	-14	-5	11
18-Dec-20	37	06:00	-40	-47	-34	-20	4	0	-23	-3	17	0	2	4	9	23
18-Dec-20	37	18:00	-50	-52	-36	-32	0	-5	-34	-15	7	-9	-5	-7	0	15
19-Dec-20	38	06:00	-55	-55	-38	-38	-1	-5	-35	-17	5	-10	-8	-9	-1	14
19-Dec-20	38	18:00	-60	-60	-47	-46	-15	-23	-40	-27	-3	-17	-21	-21	-27	8
20-Dec-20	39	06:00	-63	-67	-49	-47	-16	-31	-48	-33	-7	-19	-22	-23	-16	-4
20-Dec-20	39	18:00	-45	-45	-27	-26	7	-5	-21	-5	16	8	2	-7	5	25

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Date	Day	Time (h)	h1 (mm)	h2 (mm)	h3 (mm)	h4 (mm)	h5 (mm)	h6 (mm)	h7 (mm)	h8 (mm)	h9 (mm)	h10 (mm)	h11 (mm)	h12 (mm)	h13 (mm)	h14 (mm)
21-Dec-20	40	06:00	-34	-41	-19	-23	10	2	-14	-2	20	10	7	-4	9	27
21-Dec-20	40	18:00	-44	-54	-30	-35	-3	-10	-29	-17	2	-7	-1	-6	-12	12
22-Dec-20	41	06:00	-46	-58	-29	-37	-8	-10	-29	-19	2	-2	-1	-10	-18	17
22-Dec-20	41	18:00	-40	-50	-25	-30	8	-5	-19	-2	19	0	11	14	10	23
23-Dec-20	42	06:00	-44	-53	-25	-26	6	-8	-20	-7	15	-1	-5	-2	9	22
23-Dec-20	42	18:00	-37	-43	4	-23	9	0	-15	-1	17	4	15	4	14	24
24-Dec-20	43	06:00	-40	-47	-18	-32	2	-4	-23	-11	15	-6	-4	3	7	23
24-Dec-20	43	18:00	-39	-39	13	-29	10	3	-14	-7	20	0	7	3	14	25
25-Dec-20	44	06:00	-37	-39	-28	-32	9	0	-14	-17	14	-8	5	-5	7	23
25-Dec-20	44	18:00	-68	-60	-51	-47	-16	-11	-43	-32	0	-14	-10	-11	-4	13
26-Dec-20	45	06:00	-70	-60	-54	-48	-18	-11	-44	-33	-2	-15	-10	-11	-6	12
26-Dec-20	45	18:00	-87	-79	-74	-60	-38	-25	-54	51	-17	-31	-27	-27	-20	-5
27-Dec-20	46	06:00														

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 9 Volume air dalam pot-pot tanam pengamatan tahap 2

Date	DayTime (h)	V1 (l)	V2 (l)	V3 (l)	V4 (l)	V5 (l)	V6 (l)	V7 (l)	V8 (l)	V9 (l)	V10 (l)	V11 (l)	V12 (l)	V13 (l)	V14 (l)	VT (l)
10-Nov-20	06:00															
11-Nov-20	0 06:00	1.52	1.52	1.72	1.67	2.20	1.92	1.72	2.20	2.66	2.23	2.61	1.15	2.18	2.21	27.50
11-Nov-20	0 18:00	1.23	1.20	1.52	1.39	1.80	1.82	1.56	1.85	2.25	2.05	1.84	1.88	1.95	2.15	24.48
12-Nov-20	1 06:00	2.03	1.79	1.90	2.10	2.55	2.51	2.03	2.49	3.18	2.64	2.46	2.44	3.10	3.14	34.34
12-Nov-20	1 18:00	1.50	1.50	1.85	2.03	2.24	2.10	1.95	2.44	2.68	2.12	2.29	2.26	2.33	2.93	30.22
13-Nov-20	2 06:00	1.46	1.52	1.82	1.95	2.23	2.25	1.72	2.29	2.63	2.37	2.25	2.20	3.03	2.57	30.30
13-Nov-20	2 18:00	1.31	1.31	1.67	1.80	2.18	2.03	1.55	2.01	2.25	2.08	2.14	2.01	2.82	2.48	27.63
14-Nov-20	3 06:00	1.81	1.29	1.64	1.81	2.50	2.34	1.94	2.23	2.71	2.42	2.55	2.74	2.63	2.76	31.37
14-Nov-20	3 18:00	2.59	2.11	2.55	2.82	3.26	3.13	2.55	2.92	3.55	3.64	3.64	3.05	4.14	4.06	44.00
15-Nov-20	4 06:00	2.80	2.50	2.97	3.16	3.38	3.68	3.24	3.57	4.09	4.39	4.01	4.35	4.22	4.68	51.04
15-Nov-20	4 18:00	1.98	2.17	2.53	2.75	3.10	3.16	2.50	2.97	3.57	3.30	3.52	3.60	3.93	3.84	42.91
16-Nov-20	5 06:00	1.71	1.73	2.09	2.21	2.57	2.66	1.97	2.40	3.04	2.71	3.00	3.16	3.45	3.33	36.02
16-Nov-20	5 18:00	1.28	1.32	1.75	2.28	2.11	2.21	1.54	2.06	2.59	2.35	2.71	2.88	3.04	2.95	31.08
17-Nov-20	6 06:00	1.77	1.94	2.27	2.46	2.79	2.83	2.24	2.66	3.21	2.96	3.16	3.23	3.53	3.45	38.50
17-Nov-20	6 18:00	2.51	2.24	2.66	2.83	3.03	3.30	2.91	3.21	3.69	3.99	3.61	3.95	3.82	4.28	46.04
18-Nov-20	7 06:00	2.65	2.52	2.90	2.98	2.90	3.60	3.01	3.44	4.00	3.82	3.91	4.04	3.87	4.79	48.42
18-Nov-20	7 18:00	2.30	2.20	2.71	2.93	2.57	3.30	2.71	3.17	3.87	3.52	3.79	3.71	3.68	4.21	44.67
19-Nov-20	8 06:00	1.96	1.96	2.36	2.75	3.05	3.05	2.41	2.87	3.56	3.18	3.46	3.38	3.38	3.85	41.22
19-Nov-20	8 18:00	1.42	1.50	2.01	2.19	2.75	2.75	2.01	2.52	3.03	2.82	3.20	3.13	3.03	3.33	35.66
20-Nov-20	9 06:00	2.31	2.38	2.77	3.20	3.69	3.59	3.13	3.52	4.08	3.98	4.05	4.25	4.41	4.48	49.84
20-Nov-20	9 18:00	3.26	2.93	3.59	3.66	4.54	4.51	3.75	4.25	5.28	4.64	5.03	5.16	4.95	5.45	61.01
21-Nov-20	10 06:00	1.73	1.71	2.18	2.18	2.72	2.81	2.25	2.63	3.04	2.83	3.04	3.08	3.08	3.54	36.84
21-Nov-20	10 18:00	2.33	2.10	2.59	2.55	3.29	3.13	2.55	2.89	3.46	3.17	3.59	3.67	3.96	4.05	43.33
22-Nov-20	11 06:00	2.35	1.92	2.20	2.14	2.73	2.73	2.35	2.61	2.83	2.79	2.91	3.04	3.08	3.79	37.45
22-Nov-20	11 18:00	1.42	1.60	1.82	1.86	2.39	2.29	1.88	2.20	2.69	2.37	2.63	2.53	2.43	2.83	30.93
23-Nov-20	12 06:00	2.27	1.92	2.57	2.71	3.41	3.30	2.54	3.00	3.68	3.35	3.65	3.50	3.41	3.85	43.16
23-Nov-20	12 18:00	2.51	2.16	2.54	2.57	3.47	3.33	2.74	3.12	3.85	3.47	3.76	3.56	3.68	4.00	44.74
24-Nov-20	13 06:00	1.60	1.53	1.83	1.90	2.55	2.39	2.04	2.25	2.89	2.55	2.89	2.66	2.52	3.06	32.66
24-Nov-20	13 18:00	1.81	1.60	1.81	1.95	2.66	2.50	1.95	2.32	2.83	2.52	2.52	2.66	2.69	3.01	32.82
25-Nov-20	14 06:00															0.00
25-Nov-20	14 18:00															0.00
26-Nov-20	15 06:00	2.09	1.80	2.12	2.14	2.91	2.79	2.29	2.61	3.23	2.91	3.16	2.98	3.08	3.35	37.46
26-Nov-20	15 18:00	1.89	1.50	1.97	2.27	2.71	2.79	2.04	2.44	3.01	2.64	2.86	2.86	3.06	3.30	35.33
27-Nov-20	16 06:00	1.30	1.28	1.43	1.56	2.11	2.01	1.51	1.75	2.24	2.09	2.01	1.98	2.20	2.50	25.97
27-Nov-20	16 18:00	1.26	1.19	1.41	1.56	2.03	1.88	1.64	1.79	2.44	2.03	1.96	2.11	2.33	2.54	26.17
28-Nov-20	17 06:00	1.68	1.57	1.92	2.15	2.73	2.38	2.15	2.31	2.96	2.61	2.64	2.73	2.89	3.13	33.86
28-Nov-20	17 18:00	2.36	2.24	2.57	2.68	3.20	3.01	2.80	2.96	3.61	3.27	3.29	3.44	3.52	4.15	43.11
29-Nov-20	18 06:00	2.72	2.45	2.94	3.13	3.84	3.67	3.13	3.37	4.18	3.84	3.81	3.89	3.97	4.69	49.63
29-Nov-20	18 18:00	2.42	2.34	2.78	2.86	3.73	3.51	3.08	3.13	4.10	3.59	3.62	3.51	3.84	4.31	46.80
30-Nov-20	19 06:00	1.83	1.66	2.03	2.08	2.56	2.54	2.23	2.25	3.00	2.56	2.51	2.58	2.66	3.59	34.09
30-Nov-20	19 18:00	1.99	1.70	2.06	2.05	2.58	2.58	2.25	2.27	2.96	2.66	2.62	2.62	2.71	3.67	34.72

@ Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Date	Day	Time (h)	V1 (l)	V2 (l)	V3 (l)	V4 (l)	V5 (l)	V6 (l)	V7 (l)	V8 (l)	V9 (l)	V10 (l)	V11 (l)	V12 (l)	V13 (l)	V14 (l)	VT (l)
01-Dec-20	20	06:00	3.26	2.84	3.47	3.29	4.35	4.29	3.66	3.78	4.73	4.26	4.39	4.35	4.48	5.19	56.34
01-Dec-20	20	18:00	2.42	2.33	2.84	3.08	3.69	3.53	3.14	3.23	4.11	3.84	3.93	3.90	3.90	4.39	48.32
02-Dec-20	21	06:00	1.31	1.35	1.70	1.76	2.36	2.28	1.87	1.91	2.57	2.32	2.43	2.24	2.45	2.78	29.31
02-Dec-20	21	18:00	1.45	1.35	1.72	1.70	2.45	2.28	1.87	1.93	2.61	2.36	2.40	2.28	2.40	2.82	29.63
03-Dec-20	22	06:00	2.31	2.20	2.84	2.59	3.43	3.37	2.90	2.95	3.87	3.54	3.57	3.48	3.73	4.10	44.87
03-Dec-20	22	18:00	2.31	2.00	2.62	2.50	3.23	3.26	2.73	2.84	3.82	3.32	3.26	3.26	3.48	3.93	42.55
04-Dec-20	23	06:00	1.54	1.43	1.78	1.78	2.62	2.40	2.00	2.13	2.77	2.51	2.51	2.51	2.66	2.99	31.63
04-Dec-20	23	18:00	1.41	1.43	1.92	1.87	2.44	2.42	2.03	2.11	2.94	2.46	2.44	2.53	2.62	2.99	31.61
05-Dec-20	24	06:00	2.10	1.85	2.23	2.26	3.03	2.87	2.51	2.64	3.46	3.03	3.05	3.05	3.11	3.54	38.74
05-Dec-20	24	18:00	1.87	1.74	2.28	2.13	3.03	2.95	2.49	2.51	3.44	2.98	3.08	3.08	3.28	3.54	38.41
06-Dec-20	25	06:00	2.06	1.77	2.42	2.16	3.04	2.96	2.31	2.60	3.35	3.01	3.24	3.09	3.37	3.55	38.93
06-Dec-20	25	18:00	1.88	1.80	2.29	2.21	2.96	2.88	2.50	2.65	3.40	2.96	3.06	3.14	3.32	3.42	38.46
07-Dec-20	26	06:00	1.69	1.62	2.02	1.92	2.71	2.63	2.26	2.40	3.04	2.75	2.90	3.01	3.04	3.37	35.35
07-Dec-20	26	18:00	1.64	1.55	1.97	1.88	2.71	2.40	2.18	2.26	2.99	2.71	2.75	2.73	2.94	3.25	33.95
08-Dec-20	27	06:00	1.58	1.54	2.02	1.93	2.57	2.46	2.07	2.13	2.79	2.55	2.64	2.57	2.75	3.16	32.77
08-Dec-20	27	18:00	1.45	1.36	1.76	1.80	2.44	2.33	1.95	2.04	2.73	2.46	2.59	2.55	2.70	2.92	31.09
09-Dec-20	28	06:00	1.58	1.58	2.23	2.08	2.79	2.66	2.18	2.34	3.07	2.69	3.02	2.94	3.04	3.34	35.55
09-Dec-20	28	18:00	1.81	1.66	2.16	2.13	2.86	2.76	2.34	2.44	3.32	2.92	3.07	3.09	3.34	3.47	37.36
10-Dec-20	29	06:00	1.69	1.49	1.94	2.02	2.73	2.65	2.15	2.20	3.26	2.70	2.98	2.98	3.26	3.34	35.41
10-Dec-20	29	18:00	1.69	1.64	2.25	2.12	2.93	2.65	2.05	2.35	3.03	2.88	3.08	3.06	3.19	3.36	36.30
11-Dec-20	30	06:00															0.00
11-Dec-20	30	18:00															0.00
12-Dec-20	31	06:00	2.83	2.51	3.10	3.07	3.79	3.63	3.07	3.63	4.17	3.79	3.79	3.79	3.90	4.66	49.77
12-Dec-20	31	18:00	2.41	2.25	2.73	2.75	3.50	3.39	2.83	3.02	3.87	3.47	3.58	3.42	3.61	4.24	45.07
13-Dec-20	32	06:00	1.92	1.79	2.14	2.19	2.85	2.77	2.26	2.37	3.12	2.83	2.94	2.77	2.94	3.48	36.37
13-Dec-20	32	18:00	1.59	1.50	1.90	1.83	2.70	2.59	1.83	2.12	2.88	2.59	2.74	2.48	2.85	3.03	32.64
14-Dec-20	33	06:00	2.37	2.12	2.73	2.88	3.73	3.70	3.00	3.00	4.22	3.76	3.76	3.58	4.22	4.28	47.37
14-Dec-20	33	18:00	2.21	1.79	2.55	2.52	3.40	2.88	2.46	2.97	3.91	3.40	3.73	3.34	3.79	4.10	43.06
15-Dec-20	34	06:00	1.72	1.61	1.91	1.80	2.50	2.42	1.96	2.22	2.90	2.42	2.61	2.42	2.68	2.96	32.11
15-Dec-20	34	18:00	1.65	1.45	1.80	1.80	2.46	2.37	1.80	2.02	2.76	2.37	2.57	2.37	2.61	2.92	30.97
16-Dec-20	35	06:00	1.64	1.54	2.18	2.06	3.00	2.68	2.03	2.31	3.22	2.70	2.92	2.77	2.97	3.34	35.36
16-Dec-20	35	18:00	1.64	1.52	1.99	2.06	2.77	2.68	2.08	2.43	3.19	2.77	2.90	2.75	3.07	3.44	35.28
17-Dec-20	36	06:00	2.99	2.99	3.34	3.49	4.34	4.25	3.54	4.35	4.75	4.43	4.60	4.10	4.85	5.23	57.22
17-Dec-20	36	18:00	2.58	2.43	3.16	3.02	4.01	3.63	2.75	3.43	4.13	3.96	3.75	3.81	4.07	4.68	49.41
18-Dec-20	37	06:00	2.08	1.94	2.21	2.49	2.99	2.91	2.43	2.84	3.26	2.91	2.99	3.07	3.28	3.87	39.26
18-Dec-20	37	18:00	1.88	1.83	2.16	2.25	2.91	2.80	2.21	2.60	3.05	2.72	2.80	2.76	2.91	3.53	36.40
19-Dec-20	38	06:00	1.56	1.56	1.87	1.87	2.55	2.48	1.93	2.26	2.66	2.39	2.42	2.40	2.55	3.16	31.65
19-Dec-20	38	18:00	1.47	1.47	1.71	1.72	2.29	2.15	1.84	2.07	2.51	2.26	2.18	2.18	2.07	2.90	28.83
20-Dec-20	39	06:00	1.52	1.44	1.80	1.84	2.44	2.15	1.82	2.11	2.62	2.38	2.33	2.31	2.44	2.68	29.88
20-Dec-20	39	18:00	1.87	1.87	2.23	2.25	2.89	2.66	2.35	2.66	3.43	2.91	2.84	2.62	2.97	3.80	37.35
21-Dec-20	40	06:00	3.19	2.98	3.62	3.51	4.59	4.26	3.77	4.12	5.01	4.59	4.47	4.06	4.55	5.31	58.02
21-Dec-20	40	18:00	2.90	2.61	3.30	3.16	4.09	3.88	3.33	3.68	4.26	3.97	4.15	4.00	3.83	4.68	51.82

GHK columnk PPUwvrsis

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Date	DayTime (h)	V1 (I)	V2 (I)	V3 (I)	V4 (I)	V5 (I)	V6 (I)	V7 (I)	V8 (I)	V9 (I)	V10 (I)	V11 (I)	V12 (I)	V13 (I)	V14 (I)	VT (I)
22-Dec-20	41 06:00	2.10	1.83	2.47	2.29	2.93	2.89	2.47	2.69	3.19	3.06	3.08	2.89	2.71	3.82	38.42
22-Dec-20	41 18:00	2.23	2.01	2.56	2.45	3.44	3.00	2.69	3.06	3.90	3.11	3.57	3.69	3.32	4.07	43.09
23-Dec-20	42 06:00	2.27	2.06	2.71	2.69	3.54	3.10	2.83	3.13	3.92	3.27	3.17	3.24	3.67	4.21	43.80
23-Dec-20	42 18:00	2.43	2.29	3.46	2.76	3.67	3.29	2.94	3.27	4.00	3.46	3.92	3.46	3.88	4.29	47.10
24-Dec-20	43 06:00	3.22	3.01	3.91	3.47	4.55	4.34	3.75	4.12	5.09	4.28	4.34	4.59	4.76	5.43	58.85
24-Dec-20	43 18:00	3.26	3.26	5.01	3.56	4.88	4.59	4.03	4.25	5.30	4.46	4.76	4.59	5.05	5.51	62.50
25-Dec-20	44 06:00	2.97	2.91	3.22	3.10	4.37	4.00	3.61	3.52	4.58	3.77	4.21	3.86	4.29	4.96	53.36
25-Dec-20	44 18:00	2.10	2.32	2.58	2.69	3.55	3.69	2.80	3.10	4.00	3.61	3.72	3.69	3.88	4.54	46.26
26-Dec-20	45 06:00	1.76	2.01	2.15	2.30	3.03	3.20	2.40	2.66	3.42	3.10	3.22	3.20	3.32	3.97	39.73
26-Dec-20	45 18:00	1.35	1.54	1.67	2.01	2.54	2.86	2.15	5.60	3.05	2.71	2.81	2.81	2.98	3.34	37.42
27-Dec-20	46 06:00															.00

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 10 Volume runoff pot-pot tanam pengamatan tahap 2

Date	Day	Time (h)	RO1 (l)	RO2 (l)	RO3 (l)	RO4 (l)	RO5 (l)	RO6 (l)	RO7 (l)	RO8 (l)	RO9 (l)	RO10 (l)	RO11 (l)	RO12 (l)	RO13 (l)	RO14 (l)
10-Nov-20		06:00														
11-Nov-20		06:00	-4.39	-4.39	-4.19	-4.24	-3.71	-3.99	-4.19	-3.71	-3.26	-3.68	-3.30	-4.76	-3.73	-3.70
11-Nov-20		18:00	-4.56	-4.59	-4.26	-4.39	-3.98	-3.97	-4.23	-3.93	-3.54	-3.74	-3.95	-3.90	-3.83	-3.64
12-Nov-20		06:00	1.39	1.16	1.27	1.46	1.92	1.88	1.39	1.86	2.55	2.00	1.82	1.81	2.46	2.51
12-Nov-20		18:00	-4.41	-4.41	-4.06	-3.89	-3.67	-3.81	-3.96	-3.47	-3.23	-3.80	-3.62	-3.65	-3.58	-2.98
13-Nov-20		06:00	-4.45	-4.39	-4.09	-3.96	-3.68	-3.66	-4.19	-3.62	-3.28	-3.54	-3.66	-3.71	-2.88	-3.34
13-Nov-20		18:00	-4.60	-4.60	-4.24	-4.11	-3.73	-3.88	-4.36	-3.90	-3.66	-3.83	-3.77	-3.90	-3.09	-3.43
14-Nov-20		06:00	-4.10	-4.62	-4.27	-4.10	-3.41	-3.57	-3.97	-3.68	-3.20	-3.49	-3.36	-3.17	-3.28	-3.15
14-Nov-20		18:00	4.47	3.99	4.43	4.70	5.14	5.01	4.43	4.81	5.43	5.52	5.52	4.93	6.02	5.94
15-Nov-20		06:00	-1.22	-1.52	-1.06	-0.87	-0.65	-0.35	-0.78	-0.46	0.07	0.36	-0.02	0.32	0.19	0.65
15-Nov-20		18:00	-3.93	-3.74	-3.38	-3.16	-2.81	-2.75	-3.41	-2.94	-2.34	-2.61	-2.40	-2.31	-1.98	-2.07
16-Nov-20		06:00	-4.20	-4.18	-3.82	-3.70	-3.34	-3.25	-3.94	-3.51	-2.87	-3.20	-2.91	-2.75	-2.47	-2.58
16-Nov-20		18:00	-4.64	-4.59	-4.16	-3.63	-3.80	-3.70	-4.37	-3.85	-3.32	-3.56	-3.20	-3.03	-2.87	-2.96
17-Nov-20		06:00	-3.26	-3.09	-2.77	-2.57	-2.25	-2.20	-2.79	-2.37	-1.83	-2.07	-1.87	-1.80	-1.50	-1.58
17-Nov-20		18:00	6.66	6.38	6.80	6.98	7.18	7.45	7.05	7.35	7.84	8.13	7.75	8.09	7.96	8.42
18-Nov-20		06:00	-3.13	-3.27	-2.89	-2.81	-2.89	-2.18	-2.78	-2.35	-1.79	-1.97	-1.87	-1.75	-1.91	-0.99
18-Nov-20		18:00	-3.61	-3.72	-3.20	-2.99	-3.34	-2.61	-3.20	-2.74	-2.04	-2.39	-2.12	-2.20	-2.23	-1.70
19-Nov-20		06:00	-3.95	-3.95	-3.55	-3.16	-2.86	-2.86	-3.50	-3.04	-2.35	-2.73	-2.45	-2.53	-2.53	-2.06
19-Nov-20		18:00	-4.49	-4.41	-3.90	-3.73	-3.16	-3.16	-3.90	-3.39	-2.88	-3.09	-2.71	-2.78	-2.88	-2.58
20-Nov-20		06:00	-3.60	-3.53	-3.14	-2.71	-2.22	-2.32	-2.78	-2.39	-1.83	-1.93	-1.86	-1.66	-1.50	-1.43
20-Nov-20		18:00	-1.01	-1.34	-0.69	-0.62	0.27	0.23	-0.52	-0.03	1.01	0.36	0.76	0.88	0.67	1.17
21-Nov-20		06:00	-4.18	-4.20	-3.73	-3.73	-3.19	-3.10	-3.66	-3.28	-2.87	-3.08	-2.87	-2.83	-2.83	-2.37
21-Nov-20		18:00	32.49	32.25	32.75	32.70	33.45	33.28	32.70	33.05	33.62	33.32	33.74	33.83	34.12	34.20
22-Nov-20		06:00	-3.44	-3.86	-3.58	-3.64	-3.06	-3.06	-3.44	-3.18	-2.96	-3.00	-2.87	-2.75	-2.71	-1.99
22-Nov-20		18:00	-4.49	-4.31	-4.09	-4.05	-3.53	-3.63	-4.03	-3.71	-3.22	-3.55	-3.28	-3.38	-3.49	-3.08
23-Nov-20		06:00	-3.64	-3.99	-3.35	-3.20	-2.50	-2.61	-3.37	-2.91	-2.23	-2.56	-2.26	-2.41	-2.50	-2.06
23-Nov-20		18:00	-3.28	-3.63	-3.25	-3.22	-2.31	-2.46	-3.04	-2.66	-1.93	-2.31	-2.02	-2.23	-2.11	-1.79
24-Nov-20		06:00	-4.19	-4.26	-3.95	-3.89	-3.24	-3.40	-3.75	-3.54	-2.89	-3.24	-2.89	-3.12	-3.26	-2.73
24-Nov-20		18:00	-4.10	-4.31	-4.10	-3.96	-3.25	-3.41	-3.96	-3.59	-3.09	-3.39	-3.39	-3.25	-3.22	-2.90
25-Nov-20		06:00	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91
25-Nov-20		18:00	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91
26-Nov-20		06:00	-3.82	-4.11	-3.79	-3.77	-3.00	-3.13	-3.62	-3.30	-2.68	-3.00	-2.75	-2.93	-2.83	-2.56
26-Nov-20		18:00	-4.02	-4.41	-3.94	-3.64	-3.20	-3.13	-3.87	-3.47	-2.90	-3.27	-3.05	-3.05	-2.85	-2.61
27-Nov-20		06:00	-4.61	-4.63	-4.48	-4.35	-3.80	-3.90	-4.40	-4.16	-3.67	-3.82	-3.90	-3.94	-3.71	-3.41
27-Nov-20		18:00	-4.65	-4.72	-4.50	-4.35	-3.88	-4.03	-4.27	-4.12	-3.47	-3.88	-3.95	-3.80	-3.58	-3.37
28-Nov-20		06:00	-4.23	-4.35	-4.00	-3.76	-3.18	-3.53	-3.76	-3.60	-2.95	-3.30	-3.27	-3.18	-3.02	-2.78
28-Nov-20		18:00	-2.55	-2.66	-2.34	-2.22	-1.71	-1.89	-2.10	-1.94	-1.30	-1.64	-1.61	-1.47	-1.38	-0.75
29-Nov-20		06:00	-2.81	-3.08	-2.59	-2.40	-1.70	-1.86	-2.40	-2.16	-1.35	-1.70	-1.73	-1.64	-1.56	-0.85
29-Nov-20		18:00	-3.49	-3.57	-3.13	-3.05	-2.18	-2.40	-2.84	-2.78	-1.81	-2.32	-2.29	-2.40	-2.08	-1.60
30-Nov-20		06:00	-0.06	-0.23	0.14	0.19	0.67	0.65	0.34	0.36	1.11	0.67	0.62	0.69	0.78	1.70

@Hid cida milk IPB University

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Date	Day	Time (h)	RO1 (I)	RO2 (I)	RO3 (I)	RO4 (I)	RO5 (I)	RO6 (I)	RO7 (I)	RO8 (I)	RO9 (I)	RO10 (I)	RO11 (I)	RO12 (I)	RO13 (I)	RO14 (I)
30-Nov-20	19	18:00	-3.79	-4.09	-3.72	-3.74	-3.20	-3.20	-3.54	-3.52	-2.83	-3.12	-3.16	-3.16	-3.08	-2.11
01-Dec-20	20	06:00	-2.65	-3.07	-2.44	-2.62	-1.56	-1.62	-2.25	-2.13	-1.18	-1.65	-1.52	-1.56	-1.43	-0.72
01-Dec-20	20	18:00	-3.49	-3.58	-3.07	-2.83	-2.22	-2.38	-2.77	-2.68	-1.80	-2.07	-1.98	-2.01	-2.01	-1.52
02-Dec-20	21	06:00	-4.60	-4.56	-4.21	-4.15	-3.55	-3.63	-4.04	-4.00	-3.34	-3.59	-3.49	-3.67	-3.46	-3.13
02-Dec-20	21	18:00	-4.46	-4.56	-4.19	-4.21	-3.46	-3.63	-4.04	-3.98	-3.30	-3.55	-3.51	-3.63	-3.51	-3.09
03-Dec-20	22	06:00	0.80	0.68	1.33	1.07	1.91	1.86	1.38	1.44	2.36	2.03	2.05	1.97	2.22	2.59
03-Dec-20	22	18:00	2.18	1.87	2.49	2.37	3.10	3.13	2.60	2.71	3.69	3.18	3.13	3.13	3.35	3.80
04-Dec-20	23	06:00	-4.37	-4.48	-4.13	-4.13	-3.30	-3.51	-3.91	-3.78	-3.14	-3.40	-3.40	-3.40	-3.25	-2.92
04-Dec-20	23	18:00	-4.50	-4.48	-3.99	-4.04	-3.47	-3.49	-3.89	-3.80	-2.97	-3.45	-3.47	-3.38	-3.30	-2.92
05-Dec-20	24	06:00	-3.56	-3.81	-3.43	-3.40	-2.63	-2.79	-3.15	-3.02	-2.19	-2.63	-2.61	-2.61	-2.55	-2.12
05-Dec-20	24	18:00	-3.03	-3.16	-2.62	-2.78	-1.88	-1.95	-2.42	-2.39	-1.47	-1.93	-1.83	-1.83	-1.62	-1.36
06-Dec-20	25	06:00	-2.22	-2.50	-1.86	-2.12	-1.24	-1.32	-1.96	-1.68	-0.93	-1.27	-1.03	-1.19	-0.91	-0.73
06-Dec-20	25	18:00	12.05	11.97	12.46	12.39	13.13	13.06	12.67	12.82	13.57	13.13	13.24	13.31	13.49	13.60
07-Dec-20	26	06:00	0.05	-0.02	0.38	0.29	1.07	1.00	0.62	0.76	1.40	1.12	1.26	1.38	1.40	1.73
07-Dec-20	26	18:00	-3.77	-3.86	-3.44	-3.53	-2.70	-3.01	-3.22	-3.15	-2.42	-2.70	-2.65	-2.68	-2.47	-2.16
08-Dec-20	27	06:00	-2.82	-2.87	-2.38	-2.47	-1.83	-1.94	-2.34	-2.27	-1.61	-1.85	-1.76	-1.83	-1.65	-1.24
08-Dec-20	27	18:00	-4.34	-4.43	-4.03	-3.98	-3.35	-3.46	-3.83	-3.74	-3.06	-3.32	-3.19	-3.24	-3.08	-2.86
09-Dec-20	28	06:00	-4.33	-4.33	-3.68	-3.83	-3.12	-3.25	-3.73	-3.57	-2.84	-3.22	-2.89	-2.97	-2.87	-2.57
09-Dec-20	28	18:00	-2.85	-3.00	-2.49	-2.52	-1.79	-1.89	-2.32	-2.22	-1.34	-1.74	-1.59	-1.56	-1.31	-1.18
10-Dec-20	29	06:00	-4.22	-4.42	-3.97	-3.89	-3.18	-3.26	-3.76	-3.71	-2.65	-3.21	-2.93	-2.93	-2.65	-2.57
10-Dec-20	29	18:00	-4.22	-4.27	-3.66	-3.79	-2.98	-3.26	-3.86	-3.56	-2.88	-3.03	-2.83	-2.85	-2.72	-2.55
11-Dec-20	30	06:00	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91	-5.91
11-Dec-20	30	18:00	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
12-Dec-20	31	06:00	0.32	0.00	0.58	0.56	1.28	1.12	0.56	1.12	1.65	1.28	1.28	1.28	1.39	2.14
12-Dec-20	31	18:00	-3.50	-3.66	-3.18	-3.16	-2.41	-2.52	-3.08	-2.89	-2.04	-2.44	-2.33	-2.49	-2.30	-1.67
13-Dec-20	32	06:00	-3.99	-4.12	-3.77	-3.72	-3.06	-3.15	-3.66	-3.54	-2.79	-3.08	-2.97	-3.15	-2.97	-2.43
13-Dec-20	32	18:00	-4.32	-4.41	-4.01	-4.08	-3.21	-3.32	-4.08	-3.79	-3.03	-3.32	-3.17	-3.43	-3.06	-2.88
14-Dec-20	33	06:00	-3.54	-3.79	-3.18	-3.03	-2.18	-2.21	-2.91	-2.91	-1.69	-2.15	-2.15	-2.33	-1.69	-1.63
14-Dec-20	33	18:00	-3.70	-4.12	-3.36	-3.39	-2.51	-3.03	-3.45	-2.94	-2.00	-2.51	-2.18	-2.57	-2.12	-1.81
15-Dec-20	34	06:00	-4.19	-4.30	-4.00	-4.11	-3.41	-3.50	-3.95	-3.69	-3.02	-3.50	-3.30	-3.50	-3.23	-2.95
15-Dec-20	34	18:00	-4.26	-4.46	-4.11	-4.11	-3.45	-3.54	-4.11	-3.89	-3.15	-3.54	-3.34	-3.54	-3.30	-2.99
16-Dec-20	35	06:00	-4.27	-4.37	-3.73	-3.85	-2.92	-3.24	-3.88	-3.61	-2.69	-3.21	-2.99	-3.14	-2.94	-2.57
16-Dec-20	35	18:00	-4.27	-4.39	-3.93	-3.85	-3.14	-3.24	-3.83	-3.48	-2.72	-3.14	-3.01	-3.16	-2.84	-2.47
17-Dec-20	36	06:00	0.47	0.47	0.82	0.97	1.82	1.73	1.03	1.83	2.23	1.91	2.08	1.58	2.33	2.71
17-Dec-20	36	18:00	-3.21	-3.36	-2.62	-2.77	-1.77	-2.15	-3.03	-2.36	-1.65	-1.83	-2.03	-1.98	-1.71	-1.10
18-Dec-20	37	06:00	-2.82	-2.97	-2.70	-2.41	-1.92	-2.00	-2.47	-2.06	-1.65	-2.00	-1.92	-1.83	-1.62	-1.04
18-Dec-20	37	18:00	-4.03	-4.08	-3.75	-3.66	-3.01	-3.11	-3.71	-3.31	-2.86	-3.19	-3.11	-3.15	-3.01	-2.38
19-Dec-20	38	06:00	-4.35	-4.35	-4.04	-4.04	-3.36	-3.43	-3.98	-3.65	-3.25	-3.53	-3.49	-3.51	-3.36	-2.76
19-Dec-20	38	18:00	-4.44	-4.44	-4.20	-4.19	-3.62	-3.76	-4.08	-3.84	-3.40	-3.65	-3.73	-3.73	-3.84	-3.01
20-Dec-20	39	06:00	-4.39	-4.47	-4.11	-4.07	-3.47	-3.76	-4.09	-3.80	-3.29	-3.53	-3.58	-3.60	-3.47	-3.23
20-Dec-20	39	18:00	2.75	2.75	3.10	3.12	3.77	3.53	3.22	3.53	4.30	3.79	3.72	3.49	3.84	4.68
21-Dec-20	40	06:00	-1.34	-1.55	-0.91	-1.02	0.06	-0.27	-0.76	-0.41	0.48	0.06	-0.06	-0.47	0.02	0.78



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Date	Day	Time (h)	RO1 (l)	RO2 (l)	RO3 (l)	RO4 (l)	RO5 (l)	RO6 (l)	RO7 (l)	RO8 (l)	RO9 (l)	RO10 (l)	RO11 (l)	RO12 (l)	RO13 (l)	RO14 (l)
21-Dec-20	40	18:00	-2.39	-2.68	-1.98	-2.12	-1.20	-1.40	-1.95	-1.60	-1.02	-1.31	-1.14	-1.28	-1.46	-0.61
22-Dec-20	41	06:00	-3.81	-4.08	-3.44	-3.62	-2.98	-3.02	-3.44	-3.22	-2.72	-2.85	-2.83	-3.02	-3.20	-2.09
22-Dec-20	41	18:00	-3.31	-3.52	-2.98	-3.09	-2.09	-2.54	-2.84	-2.47	-1.63	-2.43	-1.97	-1.84	-2.21	-1.46
23-Dec-20	42	06:00	-3.64	-3.85	-3.20	-3.22	-2.37	-2.81	-3.08	-2.78	-1.99	-2.65	-2.74	-2.67	-2.25	-1.70
23-Dec-20	42	18:00	19.27	19.13	20.29	19.59	20.50	20.12	19.78	20.10	20.84	20.29	20.75	20.29	20.71	21.13
24-Dec-20	43	06:00	-2.69	-2.90	-2.00	-2.44	-1.36	-1.57	-2.16	-1.79	-0.82	-1.63	-1.57	-1.32	-1.15	-0.48
24-Dec-20	43	18:00	3.63	3.63	5.38	3.94	5.25	4.96	4.40	4.62	5.67	4.84	5.13	4.96	5.42	5.88
25-Dec-20	44	06:00	-2.57	-2.62	-2.32	-2.43	-1.16	-1.54	-1.93	-2.01	-0.95	-1.76	-1.33	-1.68	-1.24	-0.57
25-Dec-20	44	18:00	-3.81	-3.59	-3.34	-3.22	-2.36	-2.22	-3.11	-2.81	-1.91	-2.30	-2.19	-2.22	-2.03	-1.37
26-Dec-20	45	06:00	-4.15	-3.90	-3.76	-3.61	-2.88	-2.71	-3.52	-3.25	-2.49	-2.81	-2.69	-2.71	-2.59	-1.94
26-Dec-20	45	18:00	-4.56	-4.37	-4.25	-3.90	-3.37	-3.05	-3.76	-0.31	-2.86	-3.20	-3.10	-3.10	-2.93	-2.57
27-Dec-20	46	06:00														

@Halcyon with IPB University
 @Halcyon with IPB University
 @Halcyon with IPB University

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RIWAYAT HIDUP



Riani Muharomah dilahirkan di kota Palembang pada 25 Juni 1993 sebagai anak ke-2 dari pasangan bapak Warnizal Husni dan ibu Kurniati Zaini (Almh). Pendidikan sarjana ditempuh di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, dan lulus pada tahun 2014. Pada tahun 2015, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Magister Menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) Batch-2 dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (KEMRISTEKDIKTI) untuk menempuh pendidikan magister (S-2) di Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan (SIL) pada Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor dan menamatkannya pada tahun 2017, dan melanjutkan pendidikan ke program doktor pada program studi Ilmu Keteknikan Pertanian (TEP) Sekolah Pascasarjana IPB pada tahun 2017.

Penulis bekerja sebagai akademisi di Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya sejak tahun 2019. Penulis aktif sebagai pengurus Ikatan Ahli Teknik Penyehatan dan Teknik Lingkungan Indonesia (IATPI) Provinsi Sumatera Selatan sejak tahun 2020 hingga sekarang, serta aktif sebagai pengurus wilayah Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Provinsi Sumatera Selatan untuk bidang sumber daya air sejak tahun 2020 hingga sekarang. Penulis juga aktif berkecimpung dalam komunitas *Study Club on Irrigation and Drainage (SCID)* di Indonesia.

Selama mengikuti program S-2 dan S-3 pada program PMDSU di Sekolah Pascasarjana IPB, karya tulis yang telah dihasilkan oleh penulis adalah sebagai berikut:

- Muharomah R, Setiawan BI, Purwanto MYJ. 2017. Konsumsi dan Kebutuhan Air Selada Pada Teknik Hidroponik Sistem Terapung. *Jurnal Irigasi*. 12 (1): 47-54.
- Muharomah R, Setiawan BI, Purwanto MYJ, Liyantono. 2020. Temporal Crop Coefficients and Water Productivity of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Hydroponics in Planthouse. *CIGR Journal*. 22 (1): 22-29.
- Muharomah R, Setiawan BI, Purwanto MYJ, Liyantono. 2021. Water Balance in Pots Cultivated with Water Lettuces Applying Subsurface Evapotranspirative Irrigation. *CIGR Journal*. [Submitted]
- Muharomah R, Setiawan BI, Purwanto MYJ, Liyantono. 2021. Model of evapotranspirative subsurface irrigation tested with water lettuce. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. [Accepted]

@Hak cipta milik IPB University

IPB University