

ANALISIS KEBUTUHAN AIR BERDASARKAN SIMULASI ALIRAN AIR PADA MEDIA TANAM TEKNOLOGI FERTIGATOR OTOMATIS NIRDAYA (FONi)

ATIKAH NUR'AINI



**TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- 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 TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Analisis Kebutuhan Air Berdasarkan Simulasi Aliran Air pada Media Tanam Teknologi Fertigator Otomatis Nirdaya (FONi)” 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 tesis ini.

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

Bogor, Juli 2026

Atikah Nur'Aini
F4501241019

- 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.



RINGKASAN

ATIKAH NUR'AINI. Analisis Kebutuhan Air Berdasarkan Simulasi Aliran Air pada Media Tanam Teknologi Fertigator Otomatis Nirdaya (FONi). Dibimbing oleh ASEP SAPEI, CHUSNUL ARIF, dan RESKIANA SAEFUDDIN.

Air menjadi salah satu komponen utama dalam mendukung kehidupan seluruh makhluk hidup. Kekurangan air dapat menyebabkan berbagai permasalahan hingga konflik berkepanjangan. Permasalahan air yang terjadi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, akan tetapi tidak semua disebabkan oleh ketersediaan atau pasokan air, melainkan bagaimana air tersebut digunakan. Salah satu sektor dengan penggunaan air terbesar adalah bidang pertanian yang mencapai sekitar 70% dari penggunaan air bersih, akan tetapi angka tersebut akan bervariasi pada setiap negara. Tingginya konsumsi air pada sektor pertanian membutuhkan inovasi teknologi irigasi yang presisi dan efisien dalam penggunaan air. Salah satu teknologi yang dikembangkan oleh IPB adalah fertigator otomatis nirdaya (FONi). FONi di dalam pengaplikasiannya berhasil meningkatkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas lahan.

Pengembangan teknologi FONi yang terus dilakukan hingga saat ini belum disertai dengan analisis mendalam terkait evapotranspirasi aktual yang terjadi. Analisis evapotranspirasi aktual dapat memberikan gambaran kuantitas air yang benar-benar digunakan pada kondisi di lapangan. Nilai evapotranspirasi aktual dapat diperoleh melalui pendekatan numerik menggunakan aplikasi Hydrus-1D. Pada penelitian ini dilakukan validasi kapasitas Hydrus-1D dalam memprediksi evapotranspirasi aktual selama periode tanam menggunakan teknologi FONi. Pada penelitian ini juga dilakukan evaluasi uji kinerja teknologi FONi berdasarkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas lahan. Penelitian dilakukan dengan tiga variasi perlakuan tinggi muka air, yaitu rezim kering (RK), rezim basah (RB), dan rezim tergenang (RT).

Berdasarkan hasil observasi dan simulasi, secara umum evapotranspirasi terjadi secara fluktuatif sejak fase awal pertumbuhan hingga pematangan. Puncak evapotranspirasi terjadi pada fase pematangan sekitar 75 – 115 HST. Performa kinerja model terbaik untuk skala harian terjadi pada perlakuan RT dengan nilai R^2 mencapai 0,977, RMSE (*root mean square error*) 0,127 serta MAPE (*mean absolute percentage error*) terendah sebesar 6,394% (*highly accurate*). Secara keseluruhan, kinerja model Hydrus-1D untuk parameter evapotranspirasi mendapatkan nilai MAPE di bawah 50% dan dikategorikan sebagai prediksi yang cukup masuk akal dan dapat diterima (*reasonable forecast*). Validitas model secara keseluruhan tetap dipengaruhi oleh sejumlah asumsi dan penyederhanaan yang digunakan dalam proses simulasi. Adapun efisiensi penggunaan air dan produktivitas lahan tertinggi terjadi pada perlakuan RK mencapai 1,41 kg/m³ dan 0,64 kg/m². Evaluasi performa teknologi FONi juga dilakukan dengan melihat kontrol tinggi muka air berdasarkan nilai RMSE dan NSE (*nash-sutcliffe efficiency*). Secara umum, tinggi muka air pada ketiga perlakuan dapat dikendalikan karena nilai RMSE mendekati 0 dan nilai NSE terendah dalam kategori baik.

Kata kunci: evapotranspirasi aktual, FONi, Hydrus-1D

SUMMARY

ATIKAH NUR'AINI. Analysis of Water Requirements Based on Simulation of Water Flow in the Growing Media of an Unpowered Automatic Fertigation (FONi) Technology. Supervised by ASEP SAPEI, CHUSNUL ARIF, and RESKIANA SAEFUDDIN.

Water is a key component in supporting the life of all living things. Water shortages can lead to various problems, including prolonged conflict. Various factors can cause water problems, but not all are due to water availability or supply, but rather to how water is used. One of the sectors with the highest water consumption is agriculture, accounting for approximately 70% of freshwater use. However, this figure varies by country. High water consumption in the agricultural sector requires innovative irrigation technologies that are precise and efficient in water use. One technology developed by IPB University is an unpowered automatic fertigation (FONi). FONi, in its application, has successfully increased water use efficiency and land productivity.

An in-depth analysis of actual evapotranspiration has not accompanied the ongoing development of FONi technology. Analysis of actual evapotranspiration can provide an overview of the water used under field conditions. Actual evapotranspiration values can be obtained through a numerical approach using the Hydrus-1D application. This study validates Hydrus-1D's capacity to predict actual evapotranspiration during the planting period using FONi technology. This study also evaluated the performance of the FONi technology based on water use efficiency and land productivity. The study was conducted using three water-level treatments: the dry regime (RK), the wet regime (RB), and the flooded regime (RT).

Based on observations and simulations, evapotranspiration generally fluctuates from the early growth phase to harvest. Evapotranspiration peaks occur during the maturity phase, around 75–115 days after planting (DAP). The best model performance on a daily scale was observed in the RT treatment, with an R^2 of 0.977, an RMSE (root mean square error) of 0.127, and the lowest MAPE (mean absolute percentage error) of 6.394% (highly accurate). Overall, the Hydrus-1D model's performance for evapotranspiration parameters achieved a MAPE value below 50%, categorizing it as a reasonable forecast. The overall model validity remains influenced by several assumptions and simplifications used in the simulation process. The highest water-use efficiency and land productivity were achieved in the RK treatment, at 1.41 kg/m³ and 0.64 kg/m², respectively. FONi technology performance evaluation was conducted by assessing water level control based on RMSE and NSE (Nash-Sutcliffe efficiency) values. In general, the water level in all three treatments could be controlled, as the RMSE values were close to 0 and the NSE values were the lowest in the 'good' category.

Keywords: actual evapotranspiration, FONi, Hydrus-1D





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 2026¹
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.



ANALISIS KEBUTUHAN AIR BERDASARKAN SIMULASI ALIRAN AIR PADA MEDIA TANAM TEKNOLOGI FERTIGATOR OTOMATIS NIRDAYA (FONi)

ATIKAH NUR'AINI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan

**TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1 Prof. Dr. Satyanto Krido Saptomo, S.T.P., M.Si.

Judul Tesis : Analisis Kebutuhan Air Berdasarkan Simulasi Aliran Air pada Media Tanam Teknologi Fertigator Otomatis Nirdaya (FONi)
Nama : Atikah Nur'Aini
NIM : F4501241019

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Asep Sapei, M.S.
NIP. 19561025 198003 1 003



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Chusnul Arif, S.T.P., M.Si.
NIP. 19801206 200501 1 004



Pembimbing 3:
Reskiana Saefuddin, Ph.D.
NIP. 19850926 202012 2 005



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Satyanto Krido Saptomo, S.T.P., M.Si.
NIP. 19730411 200501 1 002



Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.
NIP. 19610502 198603 1 002



Tanggal Ujian:
20 Juli 2026

Tanggal Lulus: 05 AUG 2026

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.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari sampai September 2025 ini adalah “Analisis Kebutuhan Air Berdasarkan Simulasi Aliran Air pada Media Tanam Teknologi Fertigator Otomatis Nirdaya (FONi)”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Asep Sapei, M.S., Prof. Dr. Chusnul Arif, S.T.P., M.Si., dan Ibu Reskiana Saefuddin, Ph.D., yang telah membimbing, memberikan arahan, saran perbaikan, waktu dan kesempatan diskusi, serta mempelajari banyak hal baru. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada penguji Prof. Dr. Satyanto Krido Saptomo, S.T.P., M.Si. Ungkapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Mujiono dan Ibu Laminah yang telah memberikan dukungan, doa, keyakinan, pengertian, dan kasih sayang yang berlimpah. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Kak Ide Permatasari selaku kakak dan rekan seperjuangan selama proses panjang perkuliahan dan penelitian. Terima kasih juga kepada Camelia, Alimah, Tazkia, teman-teman Sinergi SIL 57, serta kakak dan abang S2 SIL.

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

Bogor, Juli 2026

Atikah Nur'Aini

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 ISI

DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sifat Fisik Tanah	4
2.2 Evapotranspirasi (ET)	5
2.3 Aliran Air dalam Tanah	5
2.4 Simulasi Aliran Air dengan Model Hydrus-1D	5
2.5 Fertigator Otomatis Nirdaya (FONi)	6
2.6 Tanaman Padi Ciherang	7
2.7 Efisiensi Penggunaan Air dan Produktivitas Air	8
2.8 Produktivitas Lahan	8
III METODE	10
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	10
3.2 Alat dan Bahan	10
3.3 Prosedur Kerja	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Sifat Fisik Tanah	23
4.2 Performa Teknologi FONi	25
4.3 Efisiensi Penggunaan Air dan Produktivitas Lahan	27
4.4 Neraca Air	28
4.5 Hasil Simulasi Hydrus-1D	29
V SIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Simpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN	44
RIWAYAT HIDUP	64



DAFTAR TABEL

1	Metode dan standar yang digunakan dalam beberapa jenis pengujian sifat fisik tanah	12
2	Tinggi muka air rencana pada ketiga perlakuan	13
3	Kategori nilai <i>Nash-Sutcliffe Efficiency</i>	15
4	Nilai parameter hidraulik tanah	18
5	Nilai parameter fungsi respons tekanan air tanaman padi	18
6	Nilai indeks luas daun tanaman padi	19
7	Kriteria evaluasi model berdasarkan nilai MAPE	22
8	Kriteria evaluasi model berdasarkan nilai R^2	22
9	Data sifat fisik tanah di Lahan Percobaan Cikarawang	23
10	Rentang normal sifat fisik tanah dalam pertumbuhan tanaman	24
11	Performa teknologi FONi pada setiap perlakuan	26
12	Efisiensi penggunaan air dan produktivitas lahan	27
13	Komponen neraca air pada ketiga perlakuan	29
14	Evaluasi nilai hasil observasi dan simulasi parameter ETa data harian dan kumulatif pada ketiga perlakuan	31
15	Produktivitas air dengan mempertimbangkan evapotranspirasi tanaman pada ketiga perlakuan irigasi	32

DAFTAR GAMBAR

1	Klasifikasi segitiga tekstur tanah berdasarkan sistem USDA (Sumber gambar: Groenendyk <i>et al.</i> 205)	4
2	Lokasi penelitian	10
3	Diagram alir penelitian	11
4	Skema 2D perlakuan dan uji kinerja teknologi FONi	13
5	Skema 3D perlakuan uji kinerja teknologi FONi	13
6	Tabel data solusi invers (perlakuan rezim kering)	20
7	Geometri dan kondisi batas pada simulasi Hydrus-1D	20
8	Tinggi muka air rencana dan aktual perlakuan rezim kering (A), rezim basah (B), dan rezim tergenang (C)	25
9	Hasil observasi dan simulasi evapotranspirasi harian pada perlakuan rezim kering (A), rezim basah (B), dan rezim tergenang (C)	29

DAFTAR LAMPIRAN

1	Data cuaca selama uji kinerja teknologi FONi	45
2	Data tinggi muka air	49
3	Data irigasi dan drainase	53
4	Nilai hidraulik tanah setelah <i>optimize</i> pada ketiga perlakuan	57
5	Nilai ETa observasi dan simulasi	58