

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANENAN AIR HUJAN UNTUK FERTIGASI TANAMAN SAYURAN DAUN DI DALAM *GREENHOUSE*

SUDIRMAN SIRAIT



**PROGRAM DOKTOR ILMU KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Pengembangan Sistem Pemanenan Air Hujan untuk Fertigasi Tanaman Sayuran Daun di dalam *Greenhouse*” 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, 11 Juni 2026

Sudirman Sirait

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

SUDIRMAN SIRAIT. Pengembangan Sistem Pemanenan Air Hujan untuk Fertigasi Tanaman Sayuran Daun di dalam *Greenhouse*. Dibimbing oleh HERRY SUHARDIYANTO, SATYANTO KRIDO SAPTOMO, dan LIYANTONO.

Produk tanaman sayuran daun berperan penting dalam mendukung peningkatan perekonomian karena permintaan pasar yang stabil dan berkelanjutan. Pertumbuhan populasi yang berkelanjutan mendorong kebutuhan dan permintaan pasar terhadap produk sayuran daun yang semakin luas, sehingga menawarkan peluang ekonomi yang tinggi. Namun, pemenuhannya masih menghadapi kendala akibat keterbatasan suplai dan ketidakstabilan produksi pada sistem budidaya lahan terbuka, terutama akibat cekaman biotik dan abiotik. Praktik budidaya tanaman secara hidroponik di *greenhouse* menawarkan sistem produksi yang lebih efisien melalui pengendalian lingkungan tumbuh yang optimal, tetapi keberhasilannya sangat bergantung pada suplai air dan nutrisi yang berkelanjutan. Di sisi lain, sumber air eksternal untuk fertigasi semakin rentan terhadap defisit suplai dan meningkatnya biaya operasional, terutama pada musim kemarau. Meskipun curah hujan di wilayah tropis cenderung tinggi dan berpotensi menjadi sumber air fertigasi, pemanfaatannya masih memerlukan kajian lebih lanjut mengenai kuantitas dan kualitas air, serta implikasinya terhadap respons fisiologis tanaman.

Tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan dan mengevaluasi sistem pemanenan air hujan yang terintegrasi secara terpadu dengan fertigasi untuk budidaya sayuran daun di dalam *greenhouse*, termasuk aspek teknis, agronomis, dan finansial. Penelitian mencakup analisis potensi dan desain sistem pemanenan air hujan, pengembangan teknologi fertigasi berbasis air hujan, evaluasi kinerja sistem pada budidaya tanaman sayuran daun, serta analisis kelayakan finansial. Desain komponen sistem pemanenan air hujan dilakukan berdasarkan karakteristik curah hujan, luas area tangkapan, dan kebutuhan air di *greenhouse*. Kandungan unsur hara makro di dalam air hujan digunakan sebagai acuan dalam pengembangan formulasi nutrisi. Sementara itu, sistem pencampuran larutan nutrisi dilakukan secara otomatis berbasis mikrokontroler dan unit sensor untuk memastikan kualitas larutan nutrisi berada pada kondisi optimal. Sistem juga dilengkapi dengan unit pengolahan air untuk meningkatkan kualitas air dan mengurangi risiko kontaminasi. Kinerja sistem dievaluasi menggunakan tanaman pakcoy (*Brassica rapa* var. *chinensis*) dan selada (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) yang dibudidayakan secara hidroponik dengan metode *nutrient film technique*. Evaluasi finansial dilakukan untuk menilai kelayakan penerapan sistem dalam usaha hidroponik di *greenhouse*.

Penelitian tahap pertama dilakukan untuk menganalisis potensi dan merancang komponen sistem pemanenan air hujan di *greenhouse*. Analisis karakteristik curah hujan dilakukan berdasarkan data curah hujan periode 2004–2023, sedangkan keandalan sistem dievaluasi berdasarkan kebutuhan air berbagai komoditas sayuran yang diasumsikan ditanam pada area *greenhouse*. Sementara itu, dimensi dan desain komponen sistem pemanenan air hujan ditentukan dengan mempertimbangkan kemampuan untuk mengakomodasi debit limpasan atap

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.

maksimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pemanenan air hujan dari atap *greenhouse* seluas 112 m² berpotensi menghasilkan volume pemanenan sebesar 20,07 m³ per bulan, yang mampu memenuhi 100% kebutuhan air sebesar 6,52 m³ per bulan atau setara dengan 3,02 L/m² per hari. Sistem memiliki potensi suplai dengan rasio yang mencapai lebih dari dua kali kebutuhan air di *greenhouse*. Temuan ini menunjukkan bahwa desain komponen sistem pemanenan air hujan yang tepat dapat meningkatkan keandalan sistem dalam menyediakan air untuk fertigasi secara berkelanjutan.

Penelitian tahap kedua berfokus pada uji kinerja sistem pemanenan air hujan untuk budidaya tanaman sayuran daun secara hidroponik. Air hujan yang dipanen dan air olahan digunakan sebagai sumber air fertigasi dengan komposisi unsur hara makro sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100%, kemudian dampaknya terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman dievaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pemanenan air hujan memiliki kinerja dengan efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan air olahan, baik dari aspek kuantitas maupun kualitas. Kebutuhan fertigasi selama periode percobaan sebesar 1,86 m³ mampu sepenuhnya dipenuhi oleh volume pemanenan. Karakteristik air hujan yang dipanen (EC 66,4 µS/cm, TDS 31,0 mg/L, dan pH 6,12) menunjukkan kualitas yang lebih optimal dibandingkan dengan air olahan (EC 336 µS/cm, TDS 164 mg/L, dan pH 7,1). Pemanfaatan air hujan meningkatkan penyerapan larutan nutrisi sebesar 1,29–2,16% serta meningkatkan berat segar pakcoy dan selada pada konsentrasi 100% masing-masing sebesar 1,19% dan 46,39%. Pada konsentrasi nutrisi 25%, 50%, dan 75%, perlakuan berbasis air hujan secara konsisten menghasilkan berat segar yang lebih tinggi, berkisar 2,63–6,34% untuk pakcoy dan 20,86–32,50% untuk selada.

Penelitian tahap ketiga mengembangkan formulasi larutan nutrisi berbasis air hujan serta mengevaluasi dampaknya terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sayuran daun. Formulasi nutrisi ditentukan berdasarkan larutan standar Hoagland yang dimodifikasi, dengan komposisi unsur hara makro tunggal disesuaikan berdasarkan kandungan air hujan yang dipanen. Perlakuan variasi konsentrasi unsur hara makro tunggal sebesar 50% dan 75% juga diterapkan dalam formulasi larutan nutrisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unsur hara makro alami dalam air hujan dapat dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi input, meskipun keberadaannya bervariasi tergantung pada karakteristik atmosfer dan curah hujan. Formulasi nutrisi berbasis air hujan mampu mengurangi kebutuhan nutrisi input sebesar 0,21–24,02% dibandingkan dengan larutan standar tanpa mengurangi produksi secara signifikan. Selain itu, perlakuan formulasi nutrisi berbasis air hujan juga menghasilkan pertumbuhan dan hasil tanaman yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol. Perlakuan defisiensi unsur hara makro tunggal menunjukkan respons yang berbeda, dengan hasil terbaik diamati pada perlakuan N–75% untuk pakcoy dan K–75% untuk selada.

Penelitian tahap keempat mengembangkan teknologi fertigasi otomatis berbasis sistem pemanenan air hujan serta mengevaluasi dampaknya terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 digunakan sebagai unit kendali utama pengolah data dan pengambil keputusan, sedangkan modul ESP32 digunakan untuk akuisisi data secara online melalui jaringan Wi-Fi. Pengukuran status pemanenan air hujan dan larutan nutrisi secara *real-time* dilakukan menggunakan sensor EC, TDS, pH, flowmeter, dan ultrasonik. Unit

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

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

pengolahan air hujan meningkatkan pH sebesar 10,32% sekaligus menurunkan konsentrasi TDS sebesar 21,71% dan EC sebesar 20,54%. Selain itu, sistem secara efektif mempertahankan kualitas larutan nutrisi dalam kisaran optimal (EC 2119,45–2166,80 $\mu\text{S/cm}$ dan pH 6,12–6,25) dengan tingkat presisi yang tinggi (MAPE sebesar 6,62%). Hasil tanaman yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol menegaskan bahwa sistem memiliki kinerja optimal, dengan konsumsi energi sebesar 234,06 kWh per periode tanam yang masih berada pada tingkat operasional yang wajar.

Penelitian tahap terakhir melakukan analisis kelayakan finansial penerapan teknologi fertigasi berbasis sistem pemanenan air hujan. Kelayakan finansial dianalisis menggunakan parameter Net Present Value (NPV), Gross Benefit-Cost Ratio (Gross B/C), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period (PP). Tingkat diskonto 10%, umur usahatani 10 tahun, dan lima skenario berdasarkan variasi biaya investasi awal ditetapkan dalam analisis kelayakan finansial. Hasil analisis menunjukkan bahwa teknologi fertigasi berbasis sistem pemanenan air hujan dikategorikan layak secara finansial untuk diterapkan, dengan periode pengembalian biaya investasi awal yang relatif singkat. Analisis menghasilkan nilai Net Present Value (NPV) berkisar Rp 16.196.338–Rp 94.500.533, nilai Gross Benefit-Cost Ratio (Gross B/C) sebesar 1,08–1,75, nilai Internal Rate of Return (IRR) mencapai 15,03–217,86%, serta nilai Payback Period (PP) sebesar 0,46–4,37 tahun. Temuan ini menunjukkan bahwa investasi awal pada inovasi teknologi ini dapat memberikan keuntungan ekonomi dengan tingkat risiko rendah serta waktu pengembalian modal yang relatif cepat.

Kata kunci: fertigasi, *greenhouse*, hidroponik, kualitas air, pemanenan air hujan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

SUMMARY

SUDIRMAN SIRAIT. Development of Rainwater Harvesting Systems for Fertigation of Leafy Vegetables in Greenhouses. Supervised by HERRY SUHARDIYANTO, SATYANTO KRIDO SAPTOMO, and LIYANTONO.

Leafy vegetable crops contribute significantly to economic growth due to their stable and sustained market demand. Sustained population growth has increased the need and market demand for leafy vegetable products, thereby creating significant economic opportunities. However, meeting this demand remains challenging due to limited supply and unstable production in open-field farming systems, particularly as a result of biotic and abiotic stresses. Hydroponic cultivation in greenhouse systems offers a more efficient alternative through optimal control of the growing environment, but its success depends heavily on a continuous supply of water and nutrients. Meanwhile, external water sources for fertigation are increasingly vulnerable to supply shortages and rising operational costs, particularly during the dry season. Although rainfall in tropical regions tends to be high and has the potential to serve as a source of fertigation water, its utilization still requires further investigation on water quantity and quality, as well as its implications for plant physiological responses.

The main objective of this study was to develop and evaluate a fully integrated rainwater harvesting and fertigation system for leafy vegetable cultivation in a greenhouse, including technical, agronomic, and financial aspects. The study included the analysis of potential and construction of the rainwater harvesting system, the development of rainwater-based fertigation technology, the evaluation of system performance for leafy vegetable production, and a financial feasibility assessment. The design of the rainwater harvesting components was based on rainfall characteristics, catchment area, and water requirements in the greenhouse. The macro-nutrient content of rainwater was used as a reference for developing nutrient formulations. In addition, nutrient solution mixing was automated using sensors and a microcontroller to ensure that nutrient solution quality remained in optimal conditions. The system also included a water treatment unit to enhance water quality and reduce the risk of water contamination. System performance was evaluated using pak choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) and lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) cultivated hydroponically using the nutrient film technique method. A financial evaluation was conducted to assess the feasibility of implementing the system for greenhouse hydroponic production.

The first stage of the study was conducted to analyze the potential and component design of rainwater harvesting systems in greenhouses. Rainfall characteristics were analyzed using rainfall data from 2004 to 2023, while the system reliability was evaluated based on the water requirements of various vegetable crops cultivated in the greenhouse surface area. In addition, the dimensions and design of the rainwater harvesting system components were determined by considering their capacity to accommodate the maximum roof runoff discharge. The results demonstrated that the rainwater harvesting system from a 112 m² greenhouse roof had the potential to produce 20.07 m³ of water per

month, which was sufficient to meet 100% of the greenhouse water requirement of 6.52 m³ per month, equivalent to 3.02 L/m² per day. The system exhibited a supply potential ratio exceeding twice the greenhouse water requirement. These findings indicate that an appropriate design of rainwater harvesting system components can substantially enhance system reliability in sustainably providing water for fertigation purposes.

The second stage of the study focused on evaluating the performance of the rainwater harvesting system for hydroponic cultivation of leafy vegetables. Harvested rainwater and treated water were used as fertigation water sources with macronutrient compositions of 25%, 50%, 75%, and 100%, and their effects on plant growth and yield were evaluated. The results demonstrated that the rainwater harvesting system exhibited higher effectiveness than treated water in terms of both quantity and quality. The fertigation requirement during the experimental period, amounting to 1.86 m³, was fully supplied by the harvested rainwater volume. Characteristics of harvested rainwater (EC 66.4 µS/cm, TDS 31.0 mg/L, and pH 6.12) indicated more optimal water quality compared with treated water (EC 336 µS/cm, TDS 164 mg/L, and pH 7.1). The utilization of rainwater increased nutrient solution uptake by 1.29–2.16% and enhanced the fresh weight of pak choi and lettuce at the 100% concentration level by 1.19% and 46.39%, respectively. At nutrient concentrations of 25%, 50%, and 75%, rainwater-based treatments consistently produced higher fresh weights, ranging from 2.63–6.34% for pak choi and 20.86–32.50% for lettuce.

The third stage of the study developed a rainwater-based nutrient solution formulation and evaluated its impact on the growth and yield of leafy vegetable crops. The nutrient formulation was developed based on a modified Hoagland standard solution, in which the composition of individual macronutrients was adjusted according to the nutrient content of the harvested rainwater. Treatments involving individual macronutrient concentration variations of 50% and 75% were also applied in the nutrient solution formulation. The results demonstrated that naturally occurring macronutrients in rainwater could be utilized as nutrient input sources, although their concentrations varied depending on atmospheric conditions and rainfall characteristics. The rainwater-based nutrient formulation reduced nutrient input requirements by 0.21–24.02% compared with the standard solution without significantly decreasing crop production. Furthermore, the rainwater-based nutrient treatments produced plant growth and yields that were not significantly different from the control treatment. Individual macronutrient deficiency treatments produced varying responses, with the highest yields obtained in the N-75% and K-75% treatments for pak choi and lettuce, respectively.

The fourth stage of the study focused on developing an automated fertigation technology based on a rainwater harvesting system and evaluating its effects on plant growth and yield. An Arduino Mega 2560 microcontroller was employed as the primary control unit for data processing and decision-making, while the ESP32 module was utilized for online data acquisition through a Wi-Fi network. Real-time monitoring of rainwater harvesting status and nutrient solution conditions was conducted using EC, TDS, pH, flowmeter, and ultrasonic sensors. The rainwater treatment unit increased pH by 10.32% while reducing TDS concentration by 21.71% and EC by 20.54%. The system effectively maintained

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.

nutrient solution quality in the optimal range (EC 2119.45–2166.80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and pH 6.12–6.25) with a high level of precision (MAPE of 6.62%). Crop yields that were not significantly different from the control treatment confirmed the system's optimal performance, while the energy consumption of 234.06 kWh per cultivation period remained in an acceptable operational range.

The final stage of the study was a financial feasibility analysis of implementing fertigation technology based on a rainwater harvesting system. Financial feasibility was analyzed using the Net Present Value (NPV), Gross Benefit-Cost Ratio (Gross B/C), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period (PP) parameters. The discount rate of 10%, a farming enterprise lifespan of 10 years, and five scenarios based on variations in initial investment costs were applied in the financial feasibility analysis. The results demonstrated that the rainwater harvesting-based fertigation technology was financially feasible to implement, with a relatively short investment payback period. The analysis produced NPV values ranging from IDR 16,196,338 to IDR 94,500,533, Gross B/C values of 1.08–1.75, IRR values of 15.03–217.86%, and PP values of 0.46–4.37 years. These findings demonstrate that the initial investment in this technological innovation can produce economic benefits with relatively low risk and a rapid return on investment.

Keywords: fertigation, greenhouse, hydroponics, rainwater harvesting, water quality



- 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 2026
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.

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANENAN AIR HUJAN UNTUK FERTIGASI TANAMAN SAYURAN DAUN DI DALAM *GREENHOUSE*

SUDIRMAN SIRAIT

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

**PROGRAM DOKTOR ILMU KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Rokhani Hasbullah, M.Si
- 2 Dr. Folkes Eduard Laumal, S.T., M.T

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Ir. Sam Herodian, M.S
- 2 Dr. Folkes Eduard Laumal, S.T., M.T



LEMBAR PENGESAHAN

Judul Disertasi : Pengembangan Sistem Pemanenan Air Hujan untuk Fertigasi
Tanaman Sayuran Daun di dalam *Greenhouse*
Nama : Sudirman Sirait
NIM : F1603221003

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Herry Suhardiyanto, M.Sc

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Satyanto Krido Saptomo, S.TP., M.Si

Pembimbing 3:
Dr. Liyantono, S.TP., M.Agr



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr
NIP 196110191986011002

Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr
NIP 196105021986031002



Tanggal Ujian: 12 Juni 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Alhamdulillah rabbil 'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik dan benar. Penelitian disertasi yang dilaksanakan sejak September 2024 hingga Agustus 2025 ini berjudul “Pengembangan Sistem Pemanenan Air Hujan untuk Fertigasi Tanaman Sayuran Daun di dalam *Greenhouse*”. Disertasi ini membahas potensi dan konstruksi sistem pemanenan air hujan yang terintegrasi secara terpadu dengan sistem fertigasi, kinerja sistem dalam suplai kebutuhan fertigasi tanaman hidroponik, pengembangan formulasi nutrisi berbasis kandungan unsur hara makro di dalam air hujan, pengembangan teknologi fertigasi berbasis sistem pemanenan air hujan, serta analisis kelayakan finansial penerapannya pada produksi tanaman sayuran daun di *greenhouse*. Ide, gagasan, serta pengembangan yang dilakukan dalam penelitian ini mencerminkan *tagline* IPB University, *Inspiring Innovation with Integrity*.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Herry Suhardiyanto, M.Sc., Prof. Dr. Satyanto Krido Saptomo, S.TP., M.Si., dan Dr. Liyantono, S.TP., M.Agr. yang telah membimbing dan banyak memberi saran selama penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada penguji luar komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. Rokhani Hasbullah, M.Si., Dr. Ir. Sam Herodian, M.S., dan Dr. Folkes Eduard Laumal, S.T., M.T. atas masukannya pada ujian tertutup dan sidang promosi terbuka program doktor. Terima kasih kepada Ketua Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian, para dosen, serta tenaga kependidikan atas ilmu, bimbingan, dan dukungannya selama menempuh pendidikan S3 di IPB University, serta atas izin yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih kepada Pusat Pembiayaan Pendidikan Tinggi dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan atas dukungan finansial melalui Beasiswa Pendidikan Indonesia dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi tahun 2022. Terima kasih disampaikan kepada Rektor, Dekan, dan Ketua Program Studi Agroteknologi Universitas Borneo Tarakan atas izin dan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan pendidikan S3 di IPB.

Di samping itu, ungkapan terima kasih yang mendalam disampaikan kepada istri tercinta Ningsi Nawir, serta ananda Safa Sirait dan Qais Sirait atas segala doa, kasih sayang, dan dukungan yang senantiasa menyertai serta memberikan semangat selama ini. Kedua orang tua Bapak Rasyidin Sirait dan Ibu Hj. Nison serta mertua Bapak H. Nawir dan Ibu Hj. Sutriani yang selalu memberikan doa dan semangat untuk menyelesaikan disertasi ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada kakak dan ipar serta seluruh keluarga besar di Nanggroe Aceh Darussalam dan Kota Tarakan atas doa dan dukungan yang senantiasa diberikan dalam penyelesaian disertasi ini. Terima kasih penulis sampaikan kepada tim riset Leuwikopo, Bapak Ahmad Jumadi, Bapak M. Darma Setiawan, Yohanes Bayu Suharto, Bangkit Setyo Utomo, dan Ahmad Zambarkah yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada teman-teman sejawat, para mahasiswa Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian IPB University angkatan 2022, serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian disertasi ini.

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.



Semoga karya ilmiah ini dapat menjadi salah satu rujukan dalam pengembangan sistem pertanian berkelanjutan di *greenhouse* serta memberikan kontribusi nyata bagi kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang keteknikan pertanian.

Bogor, 11 Juni 2026

Sudirman Sirait

- 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

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 ISI

DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Kebaruan Penelitian	6
II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Konstruksi Sistem Pemanenan Air Hujan	7
2.2 Kuantitas dan Kualitas Pemanenan Air Hujan	8
2.3 Kelayakan Sistem Pemanenan Air Hujan	9
2.4 Teknologi Fertigasi Pada <i>Greenhouse</i>	10
2.5 Sistem Pemanenan Air Hujan dan Pengolahannya	11
III METODOLOGI	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	15
3.3 Tahapan Penelitian	15
IV POTENSI DAN KONSTRUKSI SISTEM PEMANENAN AIR HUJAN DI <i>GREENHOUSE</i>	18
4.1 Pendahuluan	18
4.2 Metode Penelitian	19
4.3 Hasil dan Pembahasan	22
4.4 Kesimpulan	31
V KINERJA SISTEM PEMANENAN AIR HUJAN UNTUK SUPLAH KEBUTUHAN FERTIGASI TANAMAN HIDROPONIK DI DALAM <i>GREENHOUSE</i>	32
5.1 Pendahuluan	32
5.2 Metode Penelitian	33
5.3 Hasil dan Pembahasan	36
5.4 Kesimpulan	45
VI PENGEMBANGAN FORMULASI NUTRISI BERBASIS AIR HUJAN UNTUK TANAMAN SAYURAN DAUN DI DALAM <i>GREENHOUSE</i>	46
6.1 Pendahuluan	46
6.2 Metode Penelitian	47
6.3 Hasil dan Pembahasan	50
6.4 Kesimpulan	56
VII PENGEMBANGAN TEKNOLOGI FERTIGASI BERBASIS SISTEM PEMANENAN AIR HUJAN	57

7.1	Pendahuluan	57
7.2	Metode Penelitian	58
7.3	Hasil dan Pembahasan	64
7.4	Kesimpulan	75

VIII	KELAYAKAN FINANSIAL TEKNOLOGI FERTIGASI TADAH HUJAN PADA BUDIDAYA TANAMAN SAYURAN DAUN DI DALAM <i>GREENHOUSE</i>	76
8.1	Pendahuluan	76
8.2	Metode Penelitian	77
8.3	Hasil dan Pembahasan	80
8.4	Kesimpulan	84
IX	PEMBAHASAN UMUM	85
9.1	Potensi dan Konstruksi Sistem Pemanenan Air Hujan	85
9.2	Kinerja Sistem Pemanenan Air Hujan	86
9.3	Pengembangan Formulasi Nutrisi Berbasis Air Hujan	87
9.4	Pengembangan Teknologi Fertigasi Berbasis Sistem Pemanenan Air Hujan	88
9.5	Kelayakan Finansial Teknologi <i>Rainfed Fertigation System</i>	89
X	KESIMPULAN DAN SARAN	90
10.1	Kesimpulan	90
10.2	Saran	90
	DAFTAR PUSTAKA	91
	LAMPIRAN	104
	RIWAYAT HIDUP	118