

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA IOT MENGGUNAKAN
METODE *NORMALIZED PERFORMANCE INDIKATOR (NPI)* DAN
OPTIMASI TARGET PRODUKTIVITAS MENGGUNAKAN
METODE *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)*
PADA LAHAN HIDROPONIK *MODERN***

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

AFRIDA HARIANI

2109020025



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

2025

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA IOT MENGGUNAKAN
METODE *NORMALIZED PERFORMANCE INDIKATOR (NPI)* DAN
OPTIMASI TARGET PRODUKTIVITAS MENGGUNAKAN
METODE *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)*
PADA LAHAN HIDROPONIK *MODERN***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer
(S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi pada Fakultas Ilmu
Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara**

AFRIDA HARIANI

2109020025

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

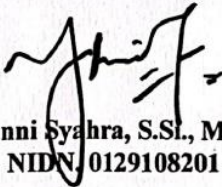
Judul Skripsi : : Implementasi dan evaluasi kinerja iot menggunakan metode
Normalized Performance Indikator (NPI) dan optimasi target
produktivitas menggunakan metode Data Envelopment
Analysis (DEA) pada lahan hidroponik modern

Nama Mahasiswa : Afrida Hariani

NPM : 2109020025

Program Studi : Teknologi Informasi

Menyetujui
Komisi Pembimbing



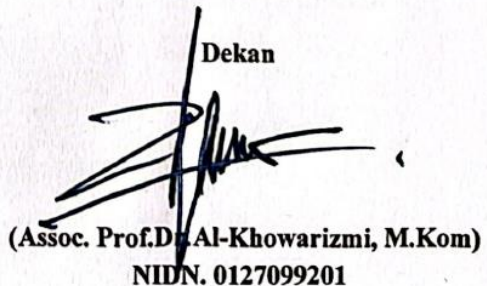
(Yohanni Syahra, S.Si., M.Kom)
NIDN. 0129108201

Ketua Program Studi



(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom)
NIDN. 0109039302

Dekan



(Assoc. Prof. Dr. Al-Khowarizmi, M.Kom)
NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA IOT MENGGUNAKAN METODE *NORMALIZED PERFORMANCE INDIKATOR (NPI)* DAN OPTIMASI TARGET PRODUKTIVITAS MENGGUNAKAN METODE *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)* PADA LAHAN HIDROPONIK *MODERN*

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 5 September 2025

Yang membuat pernyataan



Afrida Hariani

NPM. 2109020025

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Afrida Hariani
NPM : 2109020025
Program Studi : Teknologi Informasi
Karya Ilmiah : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif (*Non-Exclusive Royalty free Right*) atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA IOT MENGGUNAKAN METODE
NORMALIZED PERFORMANCE INDIKATOR (NPI) DAN OPTIMASI
TARGET PRODUKTIVITAS MENGGUNAKAN METODE DATA
ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) PADA LAHAN HIDROPONIK MODERN**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, September 2025

Yang membuat pernyataan



Afrida Hariani

NPM. 210902002

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Afrida Hariani
Tempat dan Tanggal Lahir : Simodong, 17 April 2004
Alamat Rumah : Dsn 1 Desa Simodong, Kec.Seisuka,
Kab.Batubara, Sumatera Utara
Telepon/Faks/HP : 0895624209010
E-mail : afridahariani170@gmail.com
Instansi Tempat Kerja : -
Alamat Kantor : -

DATA PENDIDIKAN

SD : MIS MUHAMMADIYAH SIMODONG. TAMAT:2015
SMP : MTSS AL IHYA TANJUNG GADING TAMAT: 2018
SMA : SMK Swasta T. Amir Hamzah Indrapura TAMAT: 2021

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas limpahan berkat, rahmat dan kemudahan sudah diberikan sehingga penulis mampu mengerjakan Proposal Penelitian dimana ketentuan dalam menerima gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Tak lupa juga shalawat serta salam bagi Nabi Muhammad SAW yang sudah memberi petunjuk kepada kita ke jalan yang lurus. Pada waktu penyelesaian Proposal penulis memahami bahwasanya sangat banyak pihak berjasa turut menolong penulis pada penyusunan Proposal Penelitian. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.AP., Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Fatma Sari Hutagalung, M.Kom Ketua Program Studi Teknologi Informasi
4. Bapak/ Mhd. Basri, S.Si, M.Kom Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi
5. Pembimbing Ibu Yohanni Syahra, S.Si., M.Kom yang sudah membimbing penulis dari awal sampai akhir penulisan skripsi ini
6. Terima kasih kepada cinta pertama saya, ayahanda tercinta bapak Harry Dharma beliau yang sempat diterima di universitas impiannya tetapi tidak bisa melanjutkan pendidikan karna terhalang ekonomi dan dia selalu berpesan kepada penulis kalau dia tidak bisa anaknya harus bisa mewujudkan keinginan nya itu, Terimakasih untuk segala pengorbanan dan perjuangan nya sampai penulis berada di titik ini.

7. Pintu surga penulis yaitu ibu Fitriani, seseorang yang biasa penulis sebut mama. Terima kasih atas banyak doa, dukungan, tetesan keringat, dan pengorbanan yang sudah mama berikan sehingga penulis bisa berada di titik sekarang ini. Semoga mama sehat , panjang umur dan sehat selalu.
8. Kepada abang tercinta, Rizky Aditya. Terima kasih sudah menjadi abang yang sama sama berjuang untuk mendapatkan gelar sarjana dan membahagiakan kedua orang tua, Terima kasih dengan perhatian dan pengorbanan yang sudah di berikan untuk menemani penulis selama penelitian. Terimakasih sudah membawa penulis mengenal indah nya gunung dan alam di dunia ini.
9. Kepada teman seperjuangan penulis untuk mengambil gelar S.kom yaitu, Rifdah, Nurhasana, Nikma, Bella, Miranda dan Surya. Terimakasih sudah saling tolong menolong selama penulisan skripsi ini.
10. Kepada penghuni grup GENG-GONG yaitu Devika. Friska dan Vania yang selalu memberikan motivasi besar untuk penulis semangat dalam mengerjakan skripsi ini, Semoga kita semua bahagia selalu.
11. Kepada penghuni grup The nuruls, Terima kasih lawakan kalian selalu membuat mood penulis bertambah dan memberikan banyak motivasi serta saling menguatkan satu sama lain.
12. Kepada anak bungsu seperjuangan yaitu Vania Sabrila. Terima kasih sudah menemani penulis untuk melihat keindahan alam, menguatkan penulis selalu untuk semangat menulis skripsi ini, memberikan banyak motivasi untuk penulis kuat, semoga kita bisa menginjakkan kaki di *summits* jawa dan pulau lain nya.
13. Kepada Ohm Pawat Chittsawangdee melalui cerita hidupnya membuat penulis termotivasi, karna seberapa banyak pun badai yang melalui karirnya dia akan tetap tersenyum dan bangkit kembali. Hal itu membuat penulis berusaha agar bisa bertemu dengannya suatu saat nanti.
14. Kepada seseorang yang namanya belum bisa penulis sebutkan disini, namun sudah tertulis terang di *Lauhul Mahfudz* . Terima kasih sudah menjadi salah satu motivasi penulis mengerjakan skripsi ini sebagai salah

satu bentuk memantaskan diri. Meskipun sekarang penulis belum tahu keberadaanmu dimana, dan sedang bersama siapa. Kalau kata Bj habibie “Kalau memang dia di lahirkan untuk saya, mau jungkir balik pun saya yang dapat”. Semoga kelak kita bertemu di titik terbaik menurut takdir.

15. Dan yang terakhir penulis ingin berterima kasih kepada anak bungsu yang penakut tatapi sekarang beliau menjadi pemberani yaitu Afrida Hariani. Terima kasih sudah kuat, sudah memaafkan banyak hal, sudah bisa berdamai dengan diri sendiri, sudah bisa merayakan diri sendiri sampai di titik ini. Walaupun sering putus asa atas apa yang di usahakan belum berhasil, namun terima kasih sudah tetap berusaha dan tidak pernah lelah untuk terus mencoba. Semua air mata, doa dan usaha yang di lakukan dalam diam menjadi saksi berharganya proses ini. Perjalanan belum usai akan ada banyak tantangan lain di depan sana. Namun, selama yakin dengan kebenaran dan terus berjuang inyaAllah keberhasilan akan selalu menyusul. Semoga Allah selalu meridhoi langkah yang kamu tempuh. Dan satu lagi Afrida, seberapa banyak pun kekurangan mu, jangan pernah lupa untuk merayakan dirimu sendiri.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

ABSTRAK

Pertumbuhan populasi yang semakin pesat mengakibatkan meningkatnya kebutuhan pangan, sementara lahan pertanian yang tersedia semakin terbatas. Hidroponik sebagai metode pertanian modern menawarkan solusi efisien dengan memanfaatkan ruang terbatas dan penggunaan sumber daya yang lebih optimal. Penelitian ini fokus pada implementasi *Internet of Things* (IoT) dalam budidaya hidroponik modern serta evaluasi kinerja menggunakan *Normalized Performance Indicator* (NPI) dan optimasi produktivitas melalui *Data Envelopment Analysis* (DEA). Sistem IoT dirancang dengan berbagai sensor seperti pH, TDS, suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 untuk pemantauan real-time. Data hasil pengukuran kemudian dinormalisasi dengan metode NPI sehingga menghasilkan indeks kinerja terstandarisasi untuk setiap parameter lingkungan. Selanjutnya, metode DEA model CCR digunakan untuk menghasilkan efisiensi relatif berdasarkan variabel input (biaya operasional, konsumsi nutrisi, dan energi) serta output (produktivitas tanaman, kualitas produk, dan siklus panen). Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi IoT dengan analisis NPI dan DEA mampu memberikan gambaran kinerja yang lebih objektif sekaligus menghasilkan rekomendasi target produktivitas yang terukur. Dengan demikian, pendekatan ini dapat membantu petani hidroponik modern meningkatkan efisiensi dan produktivitas secara berkelanjutan pada lahan terbatas di perkotaan.

Kata Kunci: Internet of Things, Hidroponik, Normalized Performance Indicator (NPI), Data Envelopment Analysis (DEA), Evaluasi Kinerja, Produktivitas Pertanian

ABSTRACT

The rapid growth of the global population has significantly increased food demand, while available agricultural land continues to decline. Hydroponics, as a modern farming method, provides an efficient solution by utilizing limited space and optimizing resource use. This study focuses on the implementation of the Internet of Things (IoT) in modern hydroponic farming and evaluates performance using the Normalized Performance Indicator (NPI) and productivity optimization through Data Envelopment Analysis (DEA). The IoT-based system employs various sensors, including pH, TDS, temperature, humidity, and light intensity, integrated with an ESP32 microcontroller for real-time monitoring. Measurement data are normalized using the NPI method, producing standardized performance indices for each environmental parameter. Furthermore, the DEA CCR model is applied to evaluate relative efficiency based on input variables (operational costs, nutrient consumption, and energy) and output variables (crop yield, product quality, and harvest cycle). The findings indicate that integrating IoT with NPI and DEA not only provides an objective performance evaluation but also generates measurable productivity optimization targets. This approach offers practical guidance for modern hydroponic farmers to enhance efficiency and productivity sustainably, particularly in urban areas with limited land availability.

Keywords: Internet of Things, Hydroponics, Normalized Performance Indicator (NPI), Data Envelopment Analysis (DEA), Performance Evaluation, Agricultural Productivity

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PENYATAAN ORISINALITAS	iii
PENYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	4
1.3. BATASAN MASALAH	4
1.4. TUJUAN PENELITIAN	5
1.5. MANFAAT PENELITIAN	5
BAB II. LANDASAN TEORI	7
2.1. Penelitian Terdahulu	7
2.2. Hidroponik.....	13
2.2.1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Hidroponik.....	14
2.3. <i>Internet of Things</i> (IoT).....	19
2.4. <i>Normalized Performance Indikator</i> (NPI)	20

2.5. <i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA).....	21
2.6. Mikrokontroler	21
2.6.1.Fungsi Mikrokontroler.....	21
2.7. ESP32	23
2.8. Sensor pH 4502C	24
2.9. Sensot TDS.....	25
2.10. Sensor DS18B20	26
2.11. Sensor DHT22	27
2.12. Sensor BH1750.....	28
2.13. Kabel <i>Jumper</i>	29
2.13.1. Jenis Kabel <i>Jumper</i>	29
2.14. <i>Arduino IDE</i>	32
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.1.1. Tempat Penelitian.....	33
3.1.2. Waktu dan Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	33
3.2. Bahan dan Alat Penelitian	34
3.3.Cara Kerja.....	35
3.3.1. Perencanaan	35
3.3.2. Teknik Pengumpulan Data	36
3.3.3. Teknik Analisis Data	38
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1. desain Hidroponik Modern.....	42

4.2.data	44
4.3.Hasil Analisi Data	44
4.3.1. Normalisasi Parameter dengan Metode NPI	45
4.3.2. Optimasi Produktivitas dengan Metode DEA	52
4.4.Implementasi Perangkat Keras	61
4.5.Software Arduino IDE.....	62
4.6.Uji Coba Perangkat	63
4.6.1. Pengujian Regulator Tegangan.....	64
4.7. Implementasi Perancangan Antarmuka	65
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1. KESIMPULAN	69
5.2. SARAN	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	72

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
TABEL 2.1. Penelitian Terdahulu.....	6
TABEL 3.1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	34
TABEL 3.2. Alat.....	35
TABEL 3.3. Bahan.....	36
TABEL 4.1. Data pada Syifa Hidroponik	44
TABEL 4.2. Data pada Sibolangit Center.....	44
TABEL 4.3. Perhitungan NPI Syifa Hidroponik	47
TABEL 4.4. Perhitungan NPI Sibolangit Center	49
TABEL 4.5. Akumulasi Data Tambahan	52
TABEL 4.6. Nilai Efficiency_phi	53
TABEL 4.7. Hasil Pengujian Regulator Tegangan 5VDC.....	65

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1. Penanaman sistem hidroponik.....	13
Gambar 2.2. <i>Internet of Things (IoT)</i>	20
Gambar 2.3. ESP32.....	23
Gambar 2.4. Sensor pH 4502C.....	24
Gambar 2.5. Sensor TDS.....	25
Gambar 2.6. Sensor DS18B20.....	26
Gambar 2.7. Sensor DHT22.....	27
Gambar 2.8. Sensor BH1750.....	28
Gambar 2.9. Kabel <i>Jumper Male to Male</i>	29
Gambar 2.10. Kabel <i>Jumper Female to Female</i>	30
Gambar 2.11. Kabel <i>Jumper Male to Female</i>	31
Gambar 2.12. <i>Arduino IDE</i>	32
Gambar 3.1. Proses Tahapan Perancangan.....	36
Gambar 3.2. <i>Flowchart</i>	40
Gambar 4.1. Desain Hidroponik Modern	42
Gambar 4.2. Grafik Perbandingan NPI.....	50
Gambar 4.3. Nilai Efficiency_phi.....	53
Gambar 4.4. Nilai Lambda (λ)	54
Gambar 4.5. Uji coba alat.....	62
Gambar 4.6. Tampilan Load Screen dan Software Arduino IDE	63
Gambar 4.7. Tampilan Program.....	63

Gambar 4.8	Pengukuran Tegangan	64
Gambar 4.9	Implementasi Perancangan Antarmuka	66
Gambar 4.10	Tampilan Suhu Udara dan Kelembaban.....	66
Gambar 4.11	Tampilan Suhu Air dan Intensitas Cahaya.....	67
Gambar 4.12	Tampilan Grafik pH	67
Gambar 4.13	Tampilan monitoring pH	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pertumbuhan populasi yang semakin pesat mengakibatkan meningkatnya kebutuhan pangan, sementara lahan pertanian yang tersedia semakin terbatas. Hal ini menjadi tantangan besar bagi sector pertanian, terutama di daerah perkotaan yang memiliki keterbatasan lahan hijau. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah penerapan teknologi pertanian modern seperti hidroponik, yang memungkinkan budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah sebagai media tanam. Metode hidroponik menawarkan efisiensi dalam penggunaan lahan dan sumber daya, serta berpotensi meningkatkan produktivitas pertanian (Heri et al., 2024).

Penelitian ini berfokus pada implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam budidaya hidroponik modern, khususnya untuk petani yang ingin meningkatkan produktivitas dan efisiensi. Dalam beberapa tahun terakhir, pertanian hidroponik telah menjadi solusi menarik di tengah tantangan penurunan lahan pertanian akibat urbanisasi dan perubahan iklim. Menurut data Badan Pusat Statistik, luas lahan pertanian di Indonesia mengalami penurunan sekitar 0,3% per tahun, yang mendorong perlunya inovasi dalam metode pertanian untuk memastikan ketahanan pangan (Putri, Harahap et al., 2023).

Hidroponik, sebagai metode bercocok tanam tanpa tanah, menawarkan alternatif yang efisien dalam memanfaatkan ruang terbatas. Dengan menggunakan media air yang kaya nutrisi, tanaman dapat tumbuh lebih cepat dan sehat. Namun, tantangan utama yang dihadapi oleh petani hidroponik adalah pengendalian

parameter lingkungan seperti pH, suhu, dan kadar nutrisi yang harus dipantau secara berkala untuk memastikan hasil panen optimal (Lawrence Adi et al.,2023). Di sinilah peran alat-alat seperti Sensor pH 4502C, Sensor TDS, Sensor DS18B20, Sensor DHT22, Sensor BH1750, Serta mikrokontroler ESP32 sangat penting, karena memungkinkan proses pemantauan berjalan secara otomatis dan akurat. Dengan teknologi IoT, data dari sensor-sensor tersebut dapat dikirim secara *real-time* ke perangkat pengguna, sehingga petani dapat dengan cepat merespons perubahan kondisi lingkungan tanpa harus melakukan pemeriksaan manual terus-menerus.

Teknologi IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem hidroponik secara *real-time*, memberikan kemudahan bagi petani untuk mengelola tanaman mereka dengan lebih efektif. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam sistem hidroponik dapat meningkatkan hasil panen hingga 20% dengan mengurangi kesalahan manusia dalam pengelolaan nutrisi dan lingkungan (Rahmatullah, 2023). Namun, meskipun ada kemajuan ini, masih terdapat kesenjangan dalam penelitian mengenai integrasi metode analisis kinerja seperti *Normalized Performance Indicator* (NPI) dan *Data Envelopment Analysis* (DEA) untuk mengevaluasi efektivitas sistem ini secara menyeluruh.

Normalized Performance Indicator (NPI) dan *Data Envelopment Analysis* (DEA) merupakan metode analisis kinerja yang penting dalam mengevaluasi efektivitas dan efisiensi sistem, termasuk pada penerapan teknologi IoT dalam budidaya hidroponik modern. NPI berfungsi sebagai indikator terstandarisasi yang dapat mengukur kinerja berbagai parameter secara objektif, sehingga memudahkan identifikasi area yang memerlukan perbaikan. Dalam konteks

hidroponik berbasis IoT, NPI dapat digunakan untuk menilai secara kuantitatif bagaimana variabel lingkungan seperti pH, suhu, kelembaban, dan kadar nutrisi berkontribusi pada produktivitas tanaman secara keseluruhan. Dengan demikian, NPI membantu petani dan peneliti mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai performa sistem budidaya secara real-time dan berbasis data yang dapat diandalkan.

Sementara itu, *Data Envelopment Analysis* (DEA) adalah teknik evaluasi efisiensi yang mampu membandingkan berbagai unit pengelolaan budidaya hidroponik berdasarkan input dan output yang dihasilkan. DEA menggunakan pendekatan non-parametrik untuk menghitung efisiensi relatif setiap unit, memungkinkan identifikasi praktik terbaik (best practice) dan mengungkap unit mana yang menggunakan sumber daya secara optimal. Dalam aplikasi IoT pada hidroponik, DEA dapat mengolah data besar yang dikumpulkan dari sensor untuk menganalisis seberapa efisien sebuah sistem dalam mengelola input seperti air, nutrisi, dan energi listrik, terhadap output panen tanaman yang dicapai. Hal ini memberikan nilai tambah signifikan bagi pengambilan keputusan strategis dalam mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meningkatkan produktivitas.

Integrasi NPI dan DEA dalam sistem pemantauan IoT pada hidroponik tidak hanya memperkuat evaluasi kinerja dengan pendekatan kuantitatif, namun juga memberikan panduan praktis yang konkret bagi petani modern. Dengan menggabungkan data real-time dari IoT dan analisis kinerja berbasis NPI serta DEA, petani dapat secara lebih efektif mengontrol variabel lingkungan dan sumber daya, sehingga meningkatkan hasil panen dan efisiensi secara

berkelanjutan. Pendekatan ini menjadi kunci dalam pengembangan pertanian berkelanjutan dan modern, khususnya pada kondisi lahan terbatas di perkotaan.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan sistem pemantauan berbasis IoT yang mampu mengevaluasi kinerja budidaya hidroponik dengan menggunakan metode NPI dan DEA. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan panduan praktis bagi petani hidroponik dalam meningkatkan produktivitas serta efisiensi penggunaan sumber daya. Secara teoretis, penelitian ini akan menambah wawasan tentang integrasi teknologi modern dalam praktik pertanian dan memberikan dasar bagi penelitian selanjutnya di bidang ini..

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari proposal ini berdasarkan pembahasan yang telah disampaikan di atas yaitu sebagai berikut:

1. bagaimana penerapan teknologi IoT dalam sistem hidroponik?
2. Bagaimana metode *Normalized Performance Indicator* (NPI) dan *Data Envelopment Analysis* (DEA) dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem hidroponik berbasis IoT?
3. Apa saja tantangan dalam mengintegrasikan teknologi IoT dengan sistem hidroponik modern, serta bagaimana solusi terbaik untuk mengatasi tantangan tersebut?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian rumusan masalah tersebut, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah.

1. Penelitian ini hanya berfokus pada sistem hidroponik berbasis IoT yang digunakan untuk budidaya tanaman selada, pakcoy dan basil.
2. Pengukuran kinerja sistem hidroponik akan dievaluasi menggunakan metode NPI dan DEA.
3. Variabel yang dianalisis dalam penelitian ini mencakup parameter lingkungan utama seperti pH, suhu, dan kadar nutrisi.
4. Implementasi IoT dalam penelitian ini mencakup sensor pemantauan lingkungan, sistem otomatisasi nutrisi, dan pemrosesan data.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu meliputi:

1. Mengembangkan sistem pemantauan berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian hidroponik.
2. Menganalisis efektivitas sistem hidroponik berbasis IoT menggunakan metode NPI dan DEA.
3. Mengidentifikasi tantangan serta solusi dalam implementasi IoT pada sistem hidroponik modern.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini bermanfaat secara teoritis dengan menambah wawasan akademik tentang penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam hidroponik serta kontribusi ilmiah dalam evaluasi kinerjanya menggunakan NPI dan DEA. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan dalam pertanian berbasis teknologi untuk mendukung inovasi yang lebih efisien dan berkelanjutan..

2. Manfaat praktis dari penelitian ini adalah membantu petani hidroponik dalam memantau dan mengelola faktor lingkungan seperti pH, suhu, dan kadar nutrisi secara *real-time*, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas dengan mengurangi kesalahan manusia. Selain itu, penelitian ini memberikan panduan bagi petani dan pelaku agribisnis dalam mengimplementasikan sistem hidroponik berbasis IoT untuk pertanian berkelanjutan serta mendorong optimalisasi lahan pertanian di daerah perkotaan dengan keterbatasan ruang hijau.
3. Penelitian ini bermanfaat dalam memberikan rekomendasi kebijakan untuk mendukung pertanian berbasis teknologi dan digitalisasi pertanian guna mengatasi keterbatasan lahan dan perubahan iklim. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam perumusan regulasi IoT dalam hidroponik serta pengembangan insentif atau subsidi bagi petani yang menerapkannya

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Penelitian Terdahulu

Terkait dengan penelitian yang penulis lakukan dibutuhkan referensi atau penelitian terkait guna terhindar dari duplikasi dan *plagiarisme*. Penelitian terdahulu bertujuan sebagai bahan perbandingan dan patokan. Selain itu, untuk melihat perbedaan dengan penelitian ini, maka dalam landasan teori ini penulis mencantumkan hasil-hasil penelitian terdahulu sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

NO	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	(Farhan & Setiaji, 2023)	Implementasi Komunikasi LoRaWAN dan Platform Antares pada Monitoring Supply Pupuk Tanaman Selada Hidroponik Berbasis <i>Website</i>	Penelitian ini mengimplementasikan sistem pemantauan berbasis LoRaWAN dengan platform Antares untuk monitoring suplai pupuk pada tanaman selada hidroponik. Sistem bekerja dengan baik dengan akurasi 95,25% untuk nilai analog TDS, 97,88% dan 98,1% untuk sensor ultrasonik. Sistem dapat bekerja 24 jam tanpa masalah

			pengiriman data.
2	(Syafnidawaty, 2021)	Evaluasi Penerapan Sistem Hidroponik Tenaga Surya Berbasis IoT Untuk Peningkatan Produktivitas Hasil Pertanian Tanaman Hortikultura	Penelitian ini bertujuan meningkatkan produktivitas hasil budidaya pertanian berbasis IoT dibandingkan dengan budidaya pertanian tradisional. Hasilnya, budidaya pertanian berbasis tenaga surya yang terproteksi oleh greenhouse berteknologi 4.0 menghasilkan pertumbuhan tanaman yang lebih besar dibandingkan dengan budidaya pada media tanah.
3	(Irawati et al., 2021)	<i>Internet of Things</i> (IoT) pada Sistem Monitoring Kualitas Air dan Nutrisi pada Tanaman Hidroponik	Penelitian ini bertujuan memadukan konsep IoT untuk memperluas manfaat konektivitas <i>internet</i> dalam budidaya hidroponik NFT (Nutrient Film Technique). Sistem monitoring kualitas air dan nutrisi dapat diakses melalui mobile phone,

			sehingga memudahkan pemantauan.
4	(muslich hidayat et al., 2024)	Monitoring Tanaman Hidroponik dengan Implementasi <i>Internet of Things</i> (IoT) di Green House Prodi Biologi UIN Ar-Raniry	Penelitian ini mengembangkan alat monitoring enam parameter hidroponik (suhu dan kelembapan udara, suhu air, intensitas cahaya, pH air, dan nilai TDS air) menggunakan teknologi IoT. Perangkat keras menggunakan mikrokontroler ESP32 WROOM-32U dan berbagai sensor. Hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan alat manual berstandar nasional dengan akurasi 94,91% - 99,24%.

5	(Rosyidi & Supriyanto, 2024)	Pemantauan Budidaya Hidroponik Metode Nutrient Film Technique Menggunakan Platform <i>Internet of Things</i> Berbasis Komunitas	Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan budidaya hidroponik menggunakan IoT untuk memantau suhu dan kelembaban udara. Data dikumpulkan pada platform IoT berbasis komunitas dan dapat digunakan untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan tanaman.
6	(Setiawan & Sulistiyasni, 2024)	Sistem Pertanian Hidroponik Padi Cerdas Berbasis <i>Internet of Things</i> pada Lahan Perkotaan Guna Menambah Ketahanan Pangan Masyarakat	Penelitian ini membangun purwarupa perangkat pertanian hidroponik padi cerdas berbasis IoT yang dapat diterapkan di lahan perkotaan. Perangkat ini menggunakan sensor kelembapan tanah, kelembapan udara, intensitas cahaya, water level sensor Wemos sebagai pusat pengendali dan komunikasi,

			serta WiFi untuk mengunggah data ke <i>Internet</i> .
7	(Musayyanah et al., 2024)	Sistem HIPOI 1.0: Hidroponik Indoor Berbasis <i>Internet of Things</i> untuk Tanaman Selada dengan Teknik NFT	Penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor nutrisi, sensor suhu, RTC, dan platform aplikasi IoT Panel MQTT. Sistem IoT bekerja dengan dua mode, yakni mode otomatis dan manual. Hasil penelitian menunjukkan sensor TDS bekerja stabil pada 900 ppm, error sensor suhu 0,84%, serta lampu growlight dan pompa sirkulasi bekerja sesuai penjadwalan. Pengujian sistem berhasil 100% dan meningkatkan pertumbuhan selada secara signifikan.

8	(Hidayatullah et al., 2023)	Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Tanaman Hidroponik Berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT)	Penelitian ini menggabungkan hidroponik dengan IoT menggunakan teknik penanaman DFT. Menggunakan mikrokontroler Arduino Uno untuk pengambilan data sensor pH, TDS, DHT22, LDR, dan ultrasonik, serta NodeMCU untuk mengirim data ke database. Sistem memungkinkan pemantauan dan pengendalian tanaman hidroponik dari jarak jauh melalui <i>Internet</i>.
9	(Baihaqi, M.Z., & Sebayang, A.F., 2025).	Pengukuran Kinerja PT Kereta Api Indonesia Menggunakan Metode <i>Data Envelopment Analysis</i>	Dari 12 unit keputusan, 6 unit efisien, inefisiensi disebabkan oleh input dan output; menggunakan model CCR dengan asumsi CRS

2.2. Hidroponik



Gambar 2.1 penanaman sistem hidroponik

Sumber: (www.equiperp.com)

Hidroponik adalah metode budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah, melainkan dengan memanfaatkan air yang mengandung nutrisi penting bagi pertumbuhan tanaman (Fina et al., 2021). Dalam sistem hidroponik, akar tanaman dapat terendam dalam larutan nutrisi, atau mendapatkan nutrisi melalui media tanam inert seperti kerikil, pasir, atau rockwool (Fina et al., 2021). Metode ini memungkinkan petani untuk mengontrol faktor-faktor lingkungan seperti pH, suhu, dan ketersediaan nutrisi, sehingga dapat meningkatkan hasil panen dan kualitas tanaman.

Sejarah hidroponik dapat ditelusuri kembali ke zaman kuno, dengan contoh-contoh seperti Taman Gantung Babilonia dan kebun terapung suku Aztec (Fina et al., 2021). Namun, pengembangan hidroponik modern dimulai pada abad ke-19 dengan penelitian tentang nutrisi tanaman oleh para ilmuwan seperti Julius von Sachs dan Wilhelm Knop (Fina et al., 2021). Mereka menemukan bahwa tanaman dapat tumbuh tanpa tanah asalkan mendapatkan nutrisi yang tepat dalam bentuk larutan air.

Dalam hidroponik, pertumbuhan tanaman dapat dioptimalkan dengan memperhatikan beberapa faktor kunci, termasuk penyediaan nutrisi yang seimbang, pengaturan pH yang tepat, dan pengendalian suhu dan kelembaban (Fina et al., 2021). Selain itu, pencahayaan yang cukup juga penting untuk fotosintesis, baik melalui sinar matahari alami maupun lampu buatan. Dengan mengontrol faktor-faktor ini, petani hidroponik dapat mencapai hasil panen yang lebih tinggi dan lebih konsisten dibandingkan dengan metode pertanian tradisional.

2.2.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Hidroponik

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi produktivitas hidroponik berikut ini adalah penjelasan nya

A. Manajemen Nutrisi

Manajemen nutrisi dalam hidroponik adalah proses pemberian dan pengelolaan unsur hara yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh dan berkembang secara optimal dalam sistem tanpa tanah (Andi Fitria Idham et al., 2021). Manajemen ini mencakup beberapa aspek penting:

a. Formulasi Nutrisi

Penentuan komposisi nutrisi yang tepat sangat penting. Formulasi ini biasanya terdiri dari campuran unsur hara makro dan mikro yang esensial bagi pertumbuhan tanaman (Andi Fitria Idham et al., 2021). Nutrisi AB Mix sering digunakan karena menyediakan semua elemen penting yang dibutuhkan tanaman (Rahmawati, 2021).

b. Konsentrasi Nutrisi

Konsentrasi nutrisi dalam larutan harus sesuai dengan kebutuhan tanaman pada setiap tahap pertumbuhan (Simbolon & Suryanto, 2021). Konsentrasi yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan masalah pertumbuhan atau bahkan kematian tanaman.

c. Interval Pemberian Nutrisi

Interval waktu pemberian nutrisi juga berpengaruh signifikan (Rahmawati, 2021), Pemberian nutrisi yang teratur dan sesuai dapat meningkatkan hasil tanaman.

d. Pengendalian pH

pH larutan nutrisi harus dikelola dengan baik agar tanaman dapat menyerap nutrisi secara efisien. pH yang tidak sesuai dapat menghambat penyerapan nutrisi.

e. Sumber Nutrisi Alternatif

Penggunaan pupuk organik cair (POC) dari bahan-bahan seperti sabut kelapa atau eceng gondok dapat menjadi alternatif untuk nutrisi hidroponik (Rahmawati, 2021). POC dapat menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dengan biaya yang lebih rendah.

B. Kontrol pH

Kontrol pH dalam sistem hidroponik adalah aspek krusial yang mempengaruhi kesehatan dan produktivitas tanaman. pH larutan nutrisi yang tidak tepat dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh akar, sehingga

mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Berikut adalah beberapa poin penting terkait kontrol pH dalam hidroponik berdasarkan penelitian terkini:

a. Pentingnya Kontrol pH

pH larutan nutrisi harus dijaga dalam rentang optimal (biasanya antara 5,5 hingga 6,5) untuk memastikan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Penelitian menunjukkan bahwa fluktuasi pH dapat mempengaruhi kemampuan akar untuk menyerap air dan nutrisi, yang berdampak langsung pada pertumbuhan tanaman (Muhtar & Huda, 2022).

b. Teknologi Kontrol Otomatis

Sistem kontrol otomatis menggunakan sensor pH dan mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 telah dikembangkan untuk memantau dan mengatur pH secara *real-time*. Misalnya, sistem yang dirancang dengan menggunakan sensor pH Probe 4502C mampu memberikan akurasi tinggi dengan nilai R^2 mencapai 0,99131.

c. Implementasi IoT

Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem kontrol pH memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui aplikasi smartphone. Hal ini memberi petani kemampuan untuk mengawasi kondisi larutan nutrisi tanpa harus berada di lokasi kebun (Putri, Habib, dkk., 2023).

d. Pengaruh Suhu terhadap pH

Suhu larutan nutrisi juga berpengaruh terhadap pH dan ketersediaan ion nutrisi. Peningkatan suhu dapat menurunkan kemampuan akar

dalam menyerap nutrisi, sehingga penting untuk menjaga suhu larutan dalam batas optimal (Putri, Khainur et al., 2023).

e. Penggunaan Larutan Buffer

Untuk menjaga stabilitas pH, penggunaan larutan buffer sering diterapkan. Sistem kontrol otomatis dapat menambahkan larutan buffer ketika sensor mendeteksi perubahan pH di luar batas yang ditentukan (Istiqomah et al., 2021).

Dengan pengelolaan kontrol pH yang efektif, produktivitas tanaman hidroponik dapat ditingkatkan secara signifikan, menjadikan sistem ini lebih efisien dan berkelanjutan.

C. Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan memainkan peran penting dalam keberhasilan budidaya hidroponik. Beberapa faktor utama yang mempengaruhi produktivitas tanaman hidroponik meliputi:

a. Suhu

Suhu yang optimal sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Setiap jenis tanaman memiliki rentang suhu ideal yang berbeda. Penelitian menunjukkan bahwa suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menghambat proses fotosintesis dan pertumbuhan akar, yang berdampak negatif pada hasil panen.

b. Kelembapan

Kelembapan udara juga berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan tanaman hidroponik. Kelembapan yang tepat mendukung proses transpirasi dan penyerapan nutrisi. Penelitian

menunjukkan bahwa sistem pengendalian kelembapan dapat meningkatkan hasil tanaman secara signifikan, seperti pada studi mengenai budidaya stroberi dengan perlakuan iklim mikro.

c. pH Larutan Nutrisi

pH larutan nutrisi harus dijaga dalam rentang optimal (biasanya antara 5,5 hingga 6,5) untuk memastikan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Fluktuasi pH dapat membatasi penyerapan nutrisi dan menghambat pertumbuhan tanaman .

d. Intensitas Cahaya

Cahaya adalah faktor kunci dalam fotosintesis. Tanaman hidroponik memerlukan intensitas cahaya yang cukup untuk pertumbuhan optimal. Penelitian menunjukkan bahwa pengaturan intensitas cahaya menggunakan teknologi otomatisasi dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman secara signifikan.

e. Pengendalian Lingkungan Berbasis Teknologi

Penggunaan teknologi seperti jaringan sensor nirkabel (WSN) untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time* telah menjadi inovasi penting dalam hidroponik. Sistem ini memungkinkan kontrol otomatis terhadap parameter seperti suhu, kelembapan, dan tingkat nutrisi, sehingga dapat merespons perubahan lingkungan dengan cepat dan efisien.

f. Kualitas Udara

Kualitas udara di sekitar sistem hidroponik juga berpengaruh pada kesehatan tanaman. Polusi udara dapat mengganggu proses fotosintesis dan mengurangi kualitas hasil panen.

g. Media Tanam

Meskipun hidroponik tidak menggunakan tanah, media tanam yang digunakan (seperti rockwool atau cocopeat) juga mempengaruhi pertumbuhan tanaman dengan cara menyimpan air dan nutrisi.

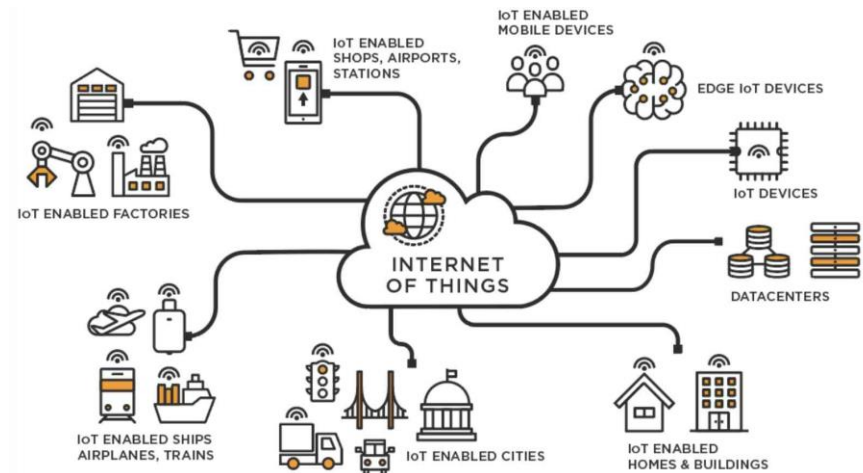
2.3. *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) merupakan konsep jaringan perangkat yang terhubung melalui *internet* untuk mengumpulkan dan bertukar data secara *real-time* melalui sensor dan aktuator. Dalam konteks pertanian, IoT memungkinkan pembentukan ekosistem smart farming melalui integrasi perangkat fisik, komunikasi data, dan analitik (Nishant Hiralal Hedau et al.,2023).

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang mengacu pada jaringan perangkat yang terhubung melalui *internet*, memungkinkan mereka untuk mengumpulkan, bertukar, dan menganalisis data secara *real-time*. IoT menciptakan ekosistem di mana perangkat fisik, seperti sensor dan aktuator, dapat berkomunikasi satu sama lain dan dengan sistem yang lebih besar, seperti platform berbasis *cloud*.

Dalam konteks pertanian, IoT digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas melalui pemantauan kondisi tanaman, pengelolaan sumber daya, dan pengendalian lingkungan secara otomatis. Misalnya, sensor dapat digunakan untuk mengukur kelembapan tanah dan suhu udara, lalu mengirimkan data

tersebut ke aplikasi yang memberikan rekomendasi tindakan seperti penyiraman atau penyesuaian nutrisi (Bella, 2023).



Gambar 2.2 *Internet of Things (IoT)*

(Sumber: <https://satu.xl.co.id/berita-dan-artikel/pengertian-iot/>)

2.4. *Normalized Performance Indicator (NPI)*

Normalized Performance Indicator (NPI) adalah metode evaluasi kinerja yang mengubah berbagai indikator kinerja menjadi skala yang seragam, memungkinkan perbandingan yang lebih mudah dan akurat (Syafnidawaty, 2020). Konsep NPI melibatkan normalisasi nilai indikator kinerja terhadap nilai referensi atau target, sehingga menghasilkan nilai NPI yang menunjukkan seberapa baik kinerja dibandingkan dengan target (Syafnidawaty, 2021). Indikator kinerja yang digunakan dalam evaluasi hidroponik meliputi hasil panen, kualitas produk, efisiensi penggunaan air dan nutrisi, biaya produksi, dan keberlanjutan lingkungan. Dalam evaluasi kinerja hidroponik, NPI dapat digunakan untuk membandingkan kinerja berbagai sistem hidroponik atau untuk memantau kinerja sistem dari waktu ke waktu (Syafnidawaty, 2021).

2.5. **Data Envelopment Analysis (DEA)**

Data Envelopment Analysis (DEA) adalah metode non-parametrik untuk mengevaluasi efisiensi relatif dari unit pengambil keputusan (DMU) dengan input dan output yang berbeda. Seperti peneliti sebelum nya yang memakai metode ini yaitu Efisiensi Rantai Pasok Jagung di Sumatera Utara . Penelitian ini menggunakan DEA untuk mengevaluasi efisiensi rantai pasok jagung di Kecamatan Batang Kuis. Analisis menunjukkan bahwa beberapa petani dan pengumpul mencapai tingkat efisiensi tinggi, sementara yang lain memerlukan perbaikan dalam manajemen rantai pasok (Puarada et al.,2021). Sehingga penelitian ini dengan menggabungkan teknologi IoT dengan analisis DEA untuk meningkatkan produktivitas petani hidroponik. Ini menunjukkan potensi integrasi teknologi modern dalam praktik pertanian untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi.

2.6. **Mikrokontroler**

Menurut (Irsyad et al., 2024) Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer mini yang terintegrasi dalam satu chip, berfungsi sebagai pusat pengontrol dalam berbagai aplikasi elektronik, termasuk sistem *Internet of Things* (IoT) untuk pertanian hidroponik. Dalam beberapa penelitian terbaru, mikrokontroler seperti ESP-32 atau Wemos D1 R32 banyak digunakan karena kemampuannya yang fleksibel dan efisien dalam mengontrol sensor serta aktuator secara *real-time*.

Penelitian oleh (L.yanuar et al., 2024) dan (Arafat et al., 2023) menunjukkan bahwa mikrokontroler ESP-32 digunakan sebagai pengontrol utama dalam sistem monitoring dan kontrol hidroponik berbasis IoT. Mikrokontroler ini

mengolah data dari sensor pH, TDS (*Total Dissolved Solids*), suhu, dan level udara, kemudian mengatur pompa nutrisi dan udara secara otomatis sesuai parameter yang dibutuhkan tanaman. Hal ini memungkinkan pengontrolan nutrisi dan kondisi udara yang presisi dan *real-time*, sehingga pertumbuhan tanaman hidroponik menjadi lebih optimal.

Selain itu, penelitian (D.Wijayanto et al., 2024) menegaskan bahwa penggunaan mikrokontroler dalam sistem pemantauan nutrisi dan pH secara otomatis sangat penting untuk mengatasi kendala pemantauan manual yang memakan waktu dan tenaga. Sistem berbasis mikrokontroler yang terintegrasi dengan IoT memungkinkan petani melakukan pemantauan dan pengaturan dari jarak jauh melalui aplikasi *mobile* atau *platform web*, meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam budidaya hidroponik.

2.6.1. Fungsi Mikrokontroler

Mikrokontroler berfungsi sebagai otak dalam sistem IoT hidroponik modern, mengintegrasikan fungsi monitoring, pengolahan data, dan pengendalian otomatis secara *real-time*. Berikut ini adalah beberapa fungsi untuk di pertanian hidroponik modern:

A. Pengolahan Data Sensor secara *Real-time*

Mikrokontroler seperti ESP32 mengumpulkan data dari berbagai sensor yang mengukur parameter penting dalam hidroponik, seperti pH, TDS (*Total Dissolved Solids*), suhu udara, dan level udara. Data ini diproses secara langsung untuk menentukan kondisi lingkungan yang optimal bagi tanaman hidroponik

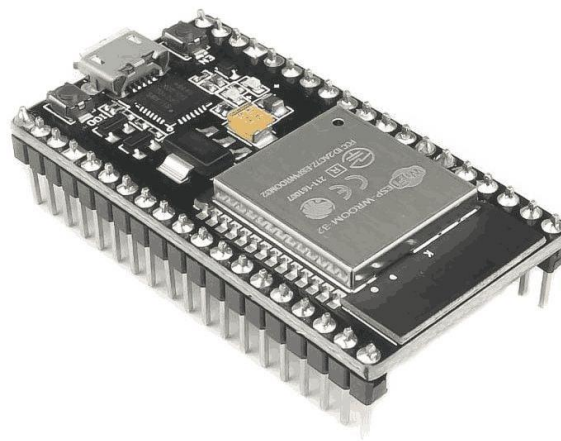
B. Pengendalian Otomatis Aktuator

Berdasarkan hasil pengolahan data sensor, mikrokontroler mengendalikan pompa udara, pompa nutrisi, dan aktuator lainnya secara otomatis. Misalnya, pompa akan aktif jika kadar nutrisi turun di bawah batas tertentu atau jika pH larutan tidak sesuai, sehingga menjaga kestabilan lingkungan tumbuh tanpa perlu intervensi manual terus-menerus

C. Integrasi dengan Platform IoT untuk Monitoring Jarak Jauh

Mikrokontroler dilengkapi dengan modul WiFi yang memungkinkan pengiriman data ke platform IoT berbasis cloud. Petani dapat memantau kondisi tanaman secara *real-time* melalui aplikasi smartphone atau *web*, serta mengontrol sistem dari jarak jauh, meningkatkan kemudahan dan efisiensi pengelolaan hidroponik

2.7. ESP32



Gambar 2.3 ESP32

(Sumber: <https://www.electronicwings.com/esp32/introduction-to-esp32>)

Mikrokontroler ini digunakan sebagai inti sistem IoT karena kemampuan WiFi terintegrasi, konsumsi daya rendah, dan kompatibilitas dengan protokol MQTT/HTTP (Litayem & Al-Sa'di, 2023). Studi oleh (Maldini, 2022)

menunjukkan implementasi ESP32-CAM untuk keamanan kendaraan berbasis IoT dengan transmisi data *real-time*. Mikrokontroler ini mendukung berbagai protokol komunikasi, termasuk Wi-Fi dan ESP-NOW, yang memungkinkan komunikasi peer-to-peer tanpa memerlukan router Wi-Fi. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ESP-NOW dapat meningkatkan efisiensi komunikasi dalam jaringan IoT.

2.8. Sensor pH 4502C



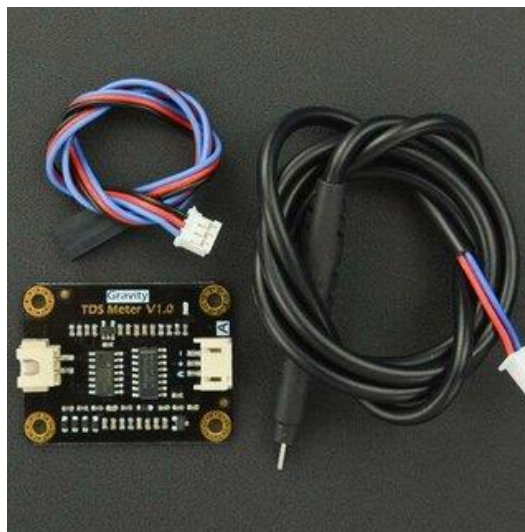
Gambar 2.4 Sensor pH 4502C

(Sumber: <https://hudileksono.blogspot.com/2024/04/sensor-ph-dengan-mikrokontrol-arduino.html>)

Sensor pH merupakan komponen penting dalam sistem hidroponik, yang berfungsi untuk memantau dan mengontrol tingkat keasaman larutan nutrisi. Kualitas pH yang tepat sangat penting untuk pertumbuhan tanaman, karena mempengaruhi ketersediaan nutrisi. Memantau keasaman larutan nutrisi (rentang optimal 5.5–6.5 untuk hidroponik) dengan akurasi $\pm 3\%$ menggunakan kalibrasi otomatis. Dengan menggunakan sensor pH yang terintegrasi dengan sistem IoT, data pH dapat dipantau secara *real-time* dan dikendalikan melalui aplikasi *mobile* atau *web*. Misalnya, penelitian oleh (Wahyudi et al., 2024) mengembangkan

prototipe sistem monitoring dan kontrol pH serta nutrisi menggunakan sensor pH dan ESP32, yang dapat memberikan notifikasi saat terjadi perubahan signifikan pada nilai pH. Pengujian sensor pH menunjukkan hasil yang konsisten dengan error rata-rata sekitar 2-3%, yang menunjukkan keandalan sensor dalam memberikan data akurat untuk pengendalian larutan nutrisi (Rivana et al., 2023).

2.9. Sensor TDS



Gambar 2.5 Sensor TDS

(Sumber: Widodo, Yohanes & Gunawan, Ahmad & Sutabri, Tata. (2022))

TDS (*Total Dissolved Solids*) adalah perangkat penting dalam sistem hidroponik yang berfungsi untuk mengukur konsentrasi nutrisi dalam larutan. Kedua sensor ini membantu petani dalam memantau kualitas air yang digunakan untuk pertumbuhan tanaman. Padatan terlarut (TDS) untuk memastikan konsentrasi nutrisi (560–840 ppm) (Teguh Purwanto et al., 2022). Sistem otomatis berbasis ESP-32 mampu menjaga TDS dengan error $\pm 4\%$. Sensor TDS mengukur jumlah padatan terlarut dalam air, yang merupakan indikator penting dari konsentrasi nutrisi yang tersedia bagi tanaman. Nilai TDS yang optimal untuk hidroponik biasanya berada dalam rentang 560-840 ppm. (Suhendra dkk. 2024)

menunjukkan bahwa pengukuran TDS dapat membantu menjaga keseimbangan nutrisi, sehingga meningkatkan pertumbuhan tanaman.

2.10. Sensor DS18B20

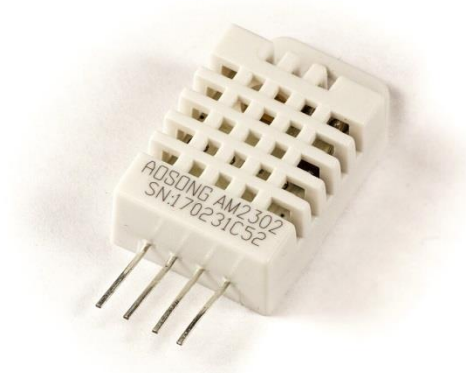


Gambar 2.6 Sensor DS18B20

(Sumber: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sensor_DS18B20.jpg)

Sensor DS18B20 adalah sensor suhu digital yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT). Sensor ini dikenal karena akurasi yang tinggi dan kemudahan penggunaannya, serta kemampuan untuk beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan. Dalam konteks hidroponik, sensor DS18B20 digunakan untuk memantau suhu larutan nutrisi secara terus-menerus. Dengan pemantauan *real-time*, petani dapat menyesuaikan kondisi lingkungan sesuai kebutuhan tanaman. (Hidayat et al., 2023) menunjukkan bahwa integrasi sensor ini dengan sistem kontrol otomatis dapat menjaga suhu air dalam rentang optimal untuk pertumbuhan tanaman.

2.11. Sensor DHT22

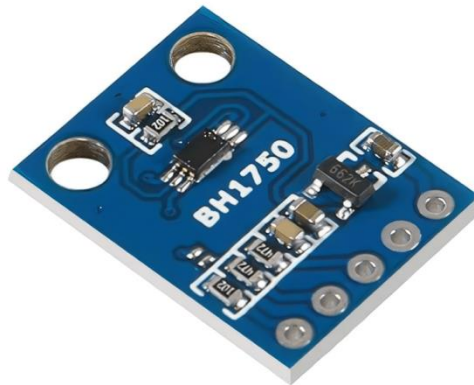


Gambar 2.7 Sensor DHT22

(Sumber: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DHT22-Temperatur-Sensor.jpg>)

Sensor DHT22 digunakan untuk memantau kondisi lingkungan di dalam hidroponik. Data yang diperoleh membantu petani mengatur suhu dan kelembaban agar tetap optimal untuk pertumbuhan tanaman. (Hidayat et al., 2023) menunjukkan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT dapat memberikan notifikasi kepada petani jika suhu atau kelembaban berada di luar batas yang ditentukan (Hidayat et al., 2023). Sensor ini mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32, memungkinkan pemantauan suhu dan kelembaban secara *real-time*. (Sari dkk. 2024) menunjukkan penggunaan DHT22 dalam sistem monitoring hidroponik berbasis ESP32, yang berhasil mencapai akurasi pengukuran kelembaban hingga 98.47%. DHT22 memainkan peran penting dalam pengelolaan sistem hidroponik modern berbasis IoT. Dengan kemampuan untuk memantau suhu dan kelembaban secara *real-time*, sensor ini membantu petani menjaga kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman.

2.12. Sensor BH1750



Gambar 2.8 Sensor BH1750

(Sumber: <https://www.makerguides.com/ambient-light-sensor-bh1750-with-arduino/>)

Sensor BH1750 adalah sensor digital yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya (lux) secara akurat dan efisien. Dalam konteks pertanian hidroponik, sensor ini sangat penting karena cahaya merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan tanaman. (Siska et al., 2024) menunjukkan tren penggunaan BH1750 yang terintegrasi dengan Mikrokontroler (ESP32) dan platform *Internet of Things* (IoT). Sistem ini memungkinkan data intensitas cahaya dikirim dan dipantau secara jarak jauh melalui aplikasi *mobile* atau *web*, sehingga petani dapat mengatur pencahayaan atau lampu grow light secara otomatis untuk mendukung pertumbuhan tanaman hidroponik. Sensor ini membantu memantau intensitas cahaya secara presisi, memungkinkan kontrol otomatis pencahayaan, dan berkontribusi pada peningkatan hasil pertanian hidroponik dengan efisiensi yang lebih tinggi. Integrasi BH1750 dalam sistem IoT menjadikan pertanian hidroponik lebih praktis dan dapat dipantau secara *real-time* dari jarak jauh

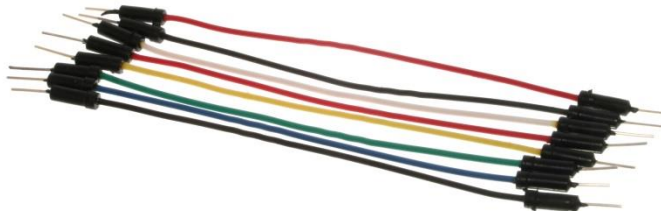
2.13. Kabel Jumper

Kabel *jumper* adalah kabel pendek yang digunakan untuk menghubungkan satu komponen elektronik ke komponen lain, baik pada *breadboard*, modul, maupun perangkat kontrol otomatis seperti mikrokontroler. Dalam pertanian hidroponik *modern*, kabel *jumper* sangat penting untuk merangkai sistem monitoring dan kontrol otomatis, terutama berbasis *Internet of Things* (IoT) (Hais et al.,2024). Kabel jumper menghubungkan sensor (seperti sensor level air, sensor pH, sensor kelembapan) ke mikrokontroler yang mengatur sistem hidroponik otomatis. Kabel jumper digunakan untuk menghubungkan modul komunikasi (misal WiFi, *Bluetooth*) dan *relay* (pengendali pompa, lampu, dsb) ke sistem utama. Ini memungkinkan *monitoring* dan kontrol jarak jauh (Hermala et al.,2022).

2.13.1. Jenis Kabel Jumper

Berikut adalah tiga jenis utama kabel *jumper* yang umum digunakan dalam proyek *Internet of Things* (IoT):

A. *Jumper Male to Male* (M-M)



Gambar 2.9 Kabel *Jumper Male to Male*

(Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Jump_wire)

Jumper Male to Male (M-M) adalah jenis kabel jumper yang kedua ujungnya memiliki konektor pin (*male*/jantan). Kabel ini dirancang untuk menghubungkan dua *port female* (betina), seperti antara *breadboard* dengan *breadboard*, atau dari *breadboard* ke *port female* pada modul mikrokontroler. Dalam sistem hidroponik, kabel ini digunakan untuk menghubungkan sensor (misal sensor kelembapan, sensor level air) ke *breadboard* dan mikrokontroler, sehingga data sensor dapat dibaca dan diproses secara otomatis.

B. *Jumper Female to Female (F-F)*



Gambar 2.10 Kabel *Jumper Female to Female*

(Sumber: <https://duwiarsana.com/kabel-jumper-female-to-female-10cm/>)

Jumper Female to Female (F-F) adalah jenis kabel *jumper* yang kedua ujungnya memiliki konektor lubang (*female*/betina). Kabel ini digunakan untuk menghubungkan dua *pin male* (jantan) pada perangkat elektronik atau modul. Kabel *Jumper F-F* biasa dipakai untuk menghubungkan dua perangkat atau modul yang memiliki *pin male*, seperti sensor, modul *relay*, atau mikrokontroler dengan *header pin*. Kabel ini memudahkan penyambungan

tanpa perlu solder, sehingga cocok untuk prototyping dan pengembangan sistem.

C. *Jumper Male to Female (M-F)*

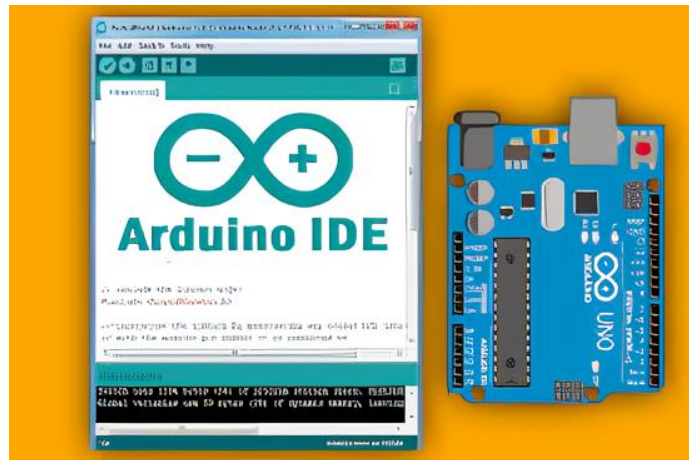


Gambar 2.11 Kabel *Jumper male to Female*

(Sumber: <https://www.arduinoindonesia.id/2022/11/pengertian-jenis-dan-cara-kerja-kabel-jumper-arduino.html>)

Jumper Male to Female (M-F) adalah kabel *jumper* yang memiliki konektor pin (*male*/jantan) di satu ujung dan konektor lubang (*female*/betina) di ujung lainnya. Kabel ini berfungsi sebagai penghubung antara perangkat atau modul yang memiliki *port female* dengan perangkat yang memiliki pin *male*. Kabel *jumper* M-F digunakan untuk menghubungkan komponen dengan port female (misalnya *breadboard*, sensor dengan header *female*) ke pin male pada mikrokontroler atau modul lainnya.

2.14. *Arduino IDE*



Gambar 2.12 *Arduino IDE*

(Sumber: <https://elmechtechnology.com/blog/download-arduino-versi-terbaru-full>)

Menurut (Sahru et al.,2021) *Arduino IDE (Integrated Development Environment)* adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler Arduino. *Arduino IDE* bersifat *open source* dan dirancang agar mudah digunakan oleh pemula maupun profesional dalam mengembangkan aplikasi mikrokontroler. Perangkat lunak ini menyediakan lingkungan pemrograman yang terintegrasi dengan bahasa pemrograman yang sederhana dan menyerupai bahasa C/C++ sehingga memudahkan pengguna dalam membuat program elektronik interaktif

Arduino IDE merupakan platform multi-operasi yang dapat berjalan di *Windows, Linux, dan MacOS*, serta dilengkapi dengan pustaka (*library*) yang memudahkan pengoperasian *input/output* pada mikrokontroler. *Arduino IDE* dikembangkan untuk mendukung filosofi *open source* sehingga perangkat keras dan perangkat lunak *Arduino* dapat dimodifikasi dan dikembangkan..

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat penelitian

Penelitian “Implementasi IoT Untuk Petani Hidroponik Modern Dengan Mengevaluasi Kinerja Menggunakan Metode *Normalized Perfomance Indikator* (NPI) Dan Optimasi Target Produktivitas Menggunakan *Metode Data Envelopment Analysis* (DEA)”, Tempat pelaksanaan penelitian di Syifa Hidroponik Medan yang berlokasi di JL. Bromo Lrg. Amal, Medan dan Perkebunan Hidroponik Sibolangit Center di JL. Djamin Ginting No.56, Ketangkuhen, Sibolangit.

3.1.2. Waktu dan Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan waktu penelitian di laksanakan pada Maret 2025 adapun jadwal penelitian sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No.	Keterangan	Mar	April	Mei	Juni	Juli	Agust
1.	Pengajuan Judul						
2.	Studi Literatur						
3.	Pengumpulan Data						
4.	Analisis Data						
5.	Perancangan Sistem						
6.	Penerapan						

3.2. Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian ini penulis dibutuhkan bahan dan alat untuk Implementasi IoT Untuk Petani Hidroponik *Modern* Dengan Mengevaluasi Kinerja Menggunakan Metode *Normalized Perfomance Indikator* (NPI) Dan Optimasi Target Produktivitas Menggunakan *Metode Data Envelopment Analysis* (DEA), dengan alat meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*Software*) dalam melakukan penelitian, dengan menggunakan bahan yang digunakan berupa pengumpulan data dari Syifa Hidroponik Medan yang berlokasi di JL. Bromo Lrg. Amal, Medan dan Perkebunan Hidroponik Sibolangit Center di JL. Djamin Ginting No.56, Ketangkuhen, Sibolangit, adapun bahan dan data-data akan disajikan pada bab 4 dan lampiran. dan penyelesaian penelitian yang dilakukan. Adapun alat yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 3.2 Alat

No	Nama Alat	Jumlah	Satuan
1	Gunting	1	Unit
2	Tang	1	Unit
3	Laptop	1	Unit
4	Handphone	1	Unit
5	Obeng	1	Set
6	Bor Tangan	1	Unit
7	Gerinda Tangan	1	Unit
8	Glue Gun	1	buah
9	Meteran	1	unit
10	Palu	1	unit

Tabel 3.3. Bahan

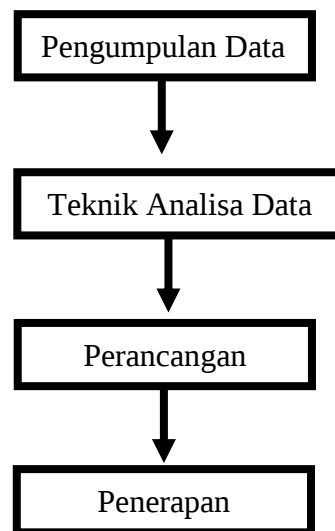
No	Nama Alat	Jumlah	Satuan
1	ESP32 WROOM 32U	1	Unit
2	<i>Breadboard Power Supply</i> MB102	1	Unit
3	<i>Breadboard Project</i>	1	Unit
4	Sensor DHT22	1	Unit
5	Sensor DS18B20	1	Unit
6	Sensor BH1750	1	Unit
7	Sensor TDS	1	Unit
8	Sensor pH 4502C	1	Unit

3.3 Cara Kerja

Cara kerja penelitian adalah suatu cara yang sistematis untuk mengerjakan atau penyelesaian sesuatu. Berikut ini cara kerja penelitian yang digunakan dalam merancang alat ini yaitu;

3.3.1 Perencanaan

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah Implementasi IoT Untuk Petani Hidroponik Modern Dengan Mengevaluasi Kinerja Menggunakan Metode *Normalized Performance Indikator* (NPI) Dan Optimasi Target Produktivitas Menggunakan *Metode Data Envelopment Analysis* (DEA), Adapun perencanaan pada penelitian ini ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 3.1. Proses Tahapan Perancangan

3.3.2 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan beberapa teknik untuk mendapatkan informasi yang akurat mengenai kondisi lingkungan hidroponik. Berikut adalah rincian teknik pengumpulan data yang digunakan:

1. Kadar pH di dalam Air

Pengukuran kadar pH dilakukan menggunakan sensor pH yang terhubung dengan sistem IoT. Sensor ini akan memberikan data secara *real-time* mengenai tingkat keasaman atau kebasaan air yang digunakan dalam sistem hidroponik. Kadar pH yang ideal untuk pertumbuhan tanaman hidroponik biasanya berada pada rentang 5,5 hingga 6,5.

2. Kadar Kualitas Air

Kualitas air diukur dengan menggunakan sensor Total Dissolved Solids (TDS) yang dapat memberikan informasi tentang jumlah zat terlarut dalam

air. Data ini penting untuk memastikan bahwa air yang digunakan mengandung nutrisi yang cukup untuk tanaman. Sensor TDS akan memberikan nilai dalam satuan ppm (parts per million) dan hasilnya akan dikirimkan ke platform monitoring IoT.

3. Suhu Air

Suhu air di dalam sistem hidroponik juga diukur menggunakan sensor suhu. Suhu air yang optimal sangat penting untuk pertumbuhan akar tanaman serta kelarutan oksigen dalam air. Rentang suhu ideal untuk air hidroponik biasanya antara 20°C hingga 25°C.

4. Suhu Udara

Pengukuran suhu udara dilakukan dengan menggunakan sensor suhu dan kelembaban (seperti DHT22) yang dapat memberikan informasi mengenai suhu lingkungan di sekitar tanaman hidroponik. Suhu udara yang ideal untuk pertumbuhan tanaman hidroponik berkisar antara 22°C hingga 28°C.

5. Kelembaban Udara

Kelembaban udara juga diukur menggunakan sensor kelembaban yang terintegrasi dengan sistem IoT. Kelembaban udara yang baik sangat penting untuk mencegah stres pada tanaman dan mendukung proses fotosintesis. Rentang kelembaban ideal untuk tanaman hidroponik biasanya antara 50% hingga 70%.

Dengan menggunakan sensor-sensor tersebut, data lingkungan dapat dikumpulkan dan dianalisis secara *real-time*, memungkinkan petani untuk mengambil keputusan yang lebih baik dalam mengelola pertanian hidroponik mereka dan meningkatkan produktivitas tanaman melalui optimasi berbasis data

3.3.3 Teknik Analisa Data

Sistem evaluasi kinerja hidroponik berbasis IoT ini mengintegrasikan tiga komponen utama: jaringan sensor IoT untuk akuisisi data *real-time*, *Normalized Performance Indicator* (NPI) untuk standardisasi metrik kinerja, dan *Data Envelopment Analysis* (DEA) untuk optimasi produktivitas. Arus data dimulai dari sensor ke cloud untuk pemrosesan NPI, kemudian hasilnya dianalisis menggunakan DEA.

1. *Normalized Performance Indicator* (NPI)

Metode normalisasi menggunakan pendekatan *Benefit-Cost Ratio*:

1. Persamaan Normalisasi:

Untuk parameter benefit (B):

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \dots \dots \dots (3.1)$$

2. Untuk parameter cost (C):

$$R_{ij} = \frac{x_j^{min}}{x_{ij}} \dots \dots \dots (3.2)$$

3. Indeks Kinerja Terpadu:

$$NPI = \sum_{i=1}^n w_i R_{ij} \dots \dots \dots (3.3)$$

Dengan *weight* (W) ditentukan melalui AHP berdasarkan prioritas tanaman.

2. *Data Envelopment Analysis* (DEA) Model CCR

Model *input-oriented* CCR digunakan untuk mengukur efisiensi relatif unit hidroponik:

1. Variabel *Input*:

- a. Konsumsi nutrisi (ml/hari)
- b. Pemakaian energi (kWh)

c. Biaya operasional (IDR)

2. Variabel *Output*:

a. Produksi tanaman (kg/m²)

b. Kualitas produk (skor 1-5)

c. Kecepatan panen (hari)

3. Formula Optimasi:

$$\max \sum_{j=1}^m U_j Y_j \dots \dots \dots (3.4)$$

Dengan kendala:

$$\sum_{i=1}^n u_i X_i = 1 \dots \dots \dots (3.5)$$

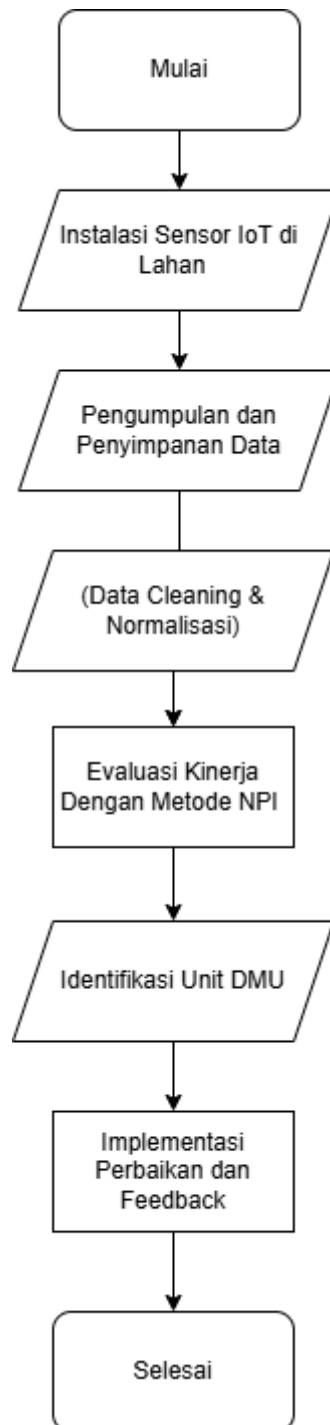
$$\sum_{j=1}^m u_j Y_{kj} - \sum_{i=1}^n u_i X_{ki} \leq 0, \quad \forall k \dots \dots \dots (3.6)$$

$$u_j, u_i \geq 0$$

Implementasi ini memungkinkan petani hidroponik mendapatkan *real-time feedback* tentang efisiensi operasional sekaligus rekomendasi target produktivitas yang terukur secara ilmiah. Sistem dirancang untuk adaptif terhadap berbagai jenis tanaman dan skala produksi

i. Perancangan

Tahapan perancangan yang dilakukan agar alat dan sistem sesuai dengan kebutuhan fungsi dan membantu pembuatan alat dan sistem dengan cepat serta membantu pengguna agar dapat menggunakan sistem dengan mudah. tahapan perancangan dengan menggunakan *flowchart*, Adapun *flowchart* alat yang ingin dibuat sebagai berikut:



Gambar 3.2. Flowchart

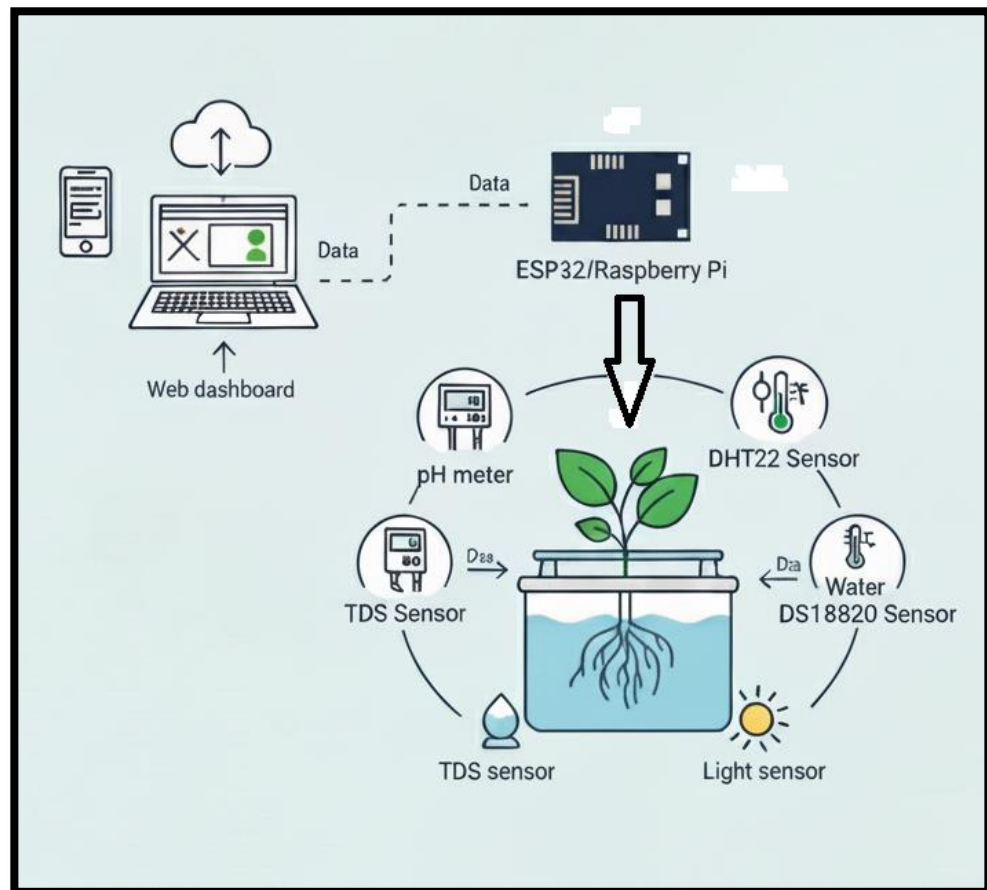
ii. Penerapan

Penerapan dilakukan setelah proses Implementasi IoT Untuk Petani Hidroponik Modern Dengan Mengevaluasi Kinerja Menggunakan Metode *Normalized Performance Indikator* (NPI) Dan Optimasi Target Produktivitas Menggunakan Metode *Data Envelopment Analysis* (DEA), Petani hidroponik modern membutuhkan teknologi yang dapat membantu meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Dengan memanfaatkan IoT (*Internet of Things*), petani bisa memantau kondisi lingkungan tanaman secara *real-time*. Namun, pemantauan saja tidak cukup; diperlukan evaluasi kinerja dan optimasi produktivitas berbasis data.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Desain Hidroponik Modern



Gambar 4.1. Desain Hidroponik Modern

Berikut adalah penjelasan komponen dan alur kerjanya:

1. Pusat Kendali ESP32 Ini adalah "otak" dari seluruh sistem, yang digambarkan di bagian atas tengah. Perangkat ini berfungsi untuk:
 - a. Menerima data secara *real-time* dari berbagai sensor.
 - b. Memproses data tersebut.
 - c. Mengirimkan data yang telah diproses ke cloud server.

2. Sensor-Sensor (Lingkaran di Bawah) Sekumpulan sensor ini bertugas untuk mengumpulkan data penting tentang kondisi lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan tanaman:

- a. pH Meter: Mengukur tingkat keasaman (pH) larutan nutrisi.
- b. TDS Sensor: Mengukur konsentrasi nutrisi dalam air (Total Dissolved Solids).
- c. DHT22 Sensor: Mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitar tanaman.
- d. DS18B20 Sensor: Mengukur suhu air.
- e. Light Sensor: Mengukur intensitas cahaya yang diterima tanaman.

Semua data dari sensor ini dikirimkan ke ESP32/Raspberry Pi untuk diproses lebih lanjut.

3. Tampilan dan Kendali (Web Dashboard) Ini adalah antarmuka pengguna yang digambarkan sebagai laptop dan ponsel di sisi kiri. Fungsinya adalah:

- a. Menampilkan data dari sensor secara visual dan mudah dibaca oleh pengguna (petani).
- b. Memungkinkan petani untuk memantau kondisi tanaman dari jarak jauh melalui koneksi internet.
- c. Data dari ESP32/Raspberry Pi dikirimkan ke Web Dashboard melalui Cloud Server.

4. Alur Kerja Sistem Sistem ini bekerja dalam alur loop tertutup:

- a. Sensor-sensor mengukur data dari lingkungan sekitar tanaman hidroponik.
- b. Data tersebut dikirimkan ke ESP32/Raspberry Pi.
- c. Mikrokontroler memproses data dan mengirimkannya ke Cloud Server.
- d. Data disimpan dan ditampilkan secara *real-time* di Web Dashboard.

- e. Dengan demikian, petani dapat memantau kondisi tanaman kapan saja dan di mana saja

4.2. Data

Adapun data-data yang didapatkan dari tempat riset pada Syifa Hidroponik yang terdiri dari 4 orang tenaga kerja, luas tanah 400 m² dan Sibolangit Center yang terdiri dari 6 orang tenaga kerja, luas tanah 800 m² seperti tabel 4.1 dan tabel 4.2 yaitu :

Tabel 4.1 Data pada Syifa Hidroponik

No		Tanaman		
		Selada	Pakcoy	Basil
1	Ph Air Normal	6.0	6.0	6.0
2	Ph Nutrisi Nomal	840	1400	1400
3	Suhu Normal	20-23 ⁰	20-23 ⁰	20-23 ⁰
4	Siklus Tanaman	5 Minggu	3-4 Minggu	6 Minggu
5	Kualitas Produk	70%	70%	80%
6	Hasil panen	12kg	15kg	10kg
7	Biaya Operasional	Rp.400.000	Rp.400.000	Rp.300.000
8	Harga Jual	Rp.30.000	Rp.30.000	Rp.110.000
9	Presentasi Susut	30%	30%	20%
10	Listrik	22.000kwh		

Tabel 4.2 Data pada Sibolangit Center

No		Tanaman		
		Selada	Pakcoy	Basil
1	Ph Air Normal	4.5	4.9	4.2
2	Ph Nutrisi Nomal	1000	1000	1000
3	Suhu Normal	18-20 ⁰	18-20 ⁰	18-20 ⁰
4	Siklus Tanaman	5 Minggu	3-4 Minggu	6 Minggu
5	Kualitas Produk	80%	85%	85%
6	Hasil panen	20kg	25kg	15kg
7	Biaya Operasional	Rp.400.000	Rp.400.000	Rp.400.000
8	Harga Jual	Rp.20.000	Rp.20.000	Rp.80.000
9	Presentasi Susut	20%	15%	15%
10	Listrik	25.000 kwh		

4.3. Hasil Analisis Data

4.3.1. Normalisasi Parameter dengan Metode NPI

Metode NPI digunakan untuk menormalisasi parameter kinerja yang beragam ke dalam skala 0 hingga 1. Saya akan menggunakan pendekatan Benefit-Cost Ratio dengan asumsi formula standar.

- a. Parameter Benefit (B): Nilai yang lebih tinggi lebih baik yaitu Kualitas Produk dan Harga Jual
- b. Parameter Cost (C): Nilai yang lebih rendah lebih baik yaitu Siklus Tanaman (minggu) dan Biaya Operasional (menggunakan nilai tengah)

Formula Normalisasi:

- a. Untuk parameter benefit (B): $NPIB = \frac{\text{Maksimum Nilai}}{\text{Nilai}}$
- b. Untuk parameter cost (C): $NPIC = \frac{\text{Nilai}}{\text{Minimum Nilai}}$

1. Perhitungan NPI Syifa Hidroponik

- a. Persamaan Normalisasi:

Untuk parameter benefit (B):

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}}$$

- b. Untuk parameter cost (C):

$$R_{ij} = \frac{x_j^{min}}{x_{ij}}$$

- c. Indeks Kinerja Terpadu:

$$NPI = \sum_{i=1}^n w_i R_{ij}$$

a. Tanaman selada

$$\text{Kualitas (Benefit): } R = 70 / 80 = 0.875$$

$$\text{Hasil (Benefit): } R = 12 / 15 = 0.800$$

$$\text{Harga (Benefit): } R = 30000 / 110000 = 0.273$$

$$\text{pH Air (Cost): } R = 6.0 / 6.0 = 1.000$$

$$\text{pH Nutrisi (Cost): } R = 840 / 840 = 1.000$$

$$\text{Suhu (Cost): } R = 23 / 23 = 1.000$$

$$\text{Siklus (Cost): } R = 4 / 5 = 0.800$$

$$\text{Biaya (Cost): } R = 300000 / 400000 = 0.750$$

$$\text{Susut (Cost): } R = 20 / 30 = 0.667$$

$$\text{Listrik (Cost): } R = 22000 / 22000 = 1.000$$

$$\text{Jumlah } R_{ij} = 8.165 \text{ (jumlah 10 parameter)}$$

$$\text{NPI} = \text{Jumlah} / 10 = 0.816$$

b. Tanaman Pakcoy

$$\text{Kualitas (Benefit): } R = 70 / 80 = 0.875$$

$$\text{Hasil (Benefit): } R = 15 / 15 = 1.000$$

$$\text{Harga (Benefit): } R = 30000 / 110000 = 0.273$$

$$\text{pH Air (Cost): } R = 6.0 / 6.0 = 1.000$$

$$\text{pH Nutrisi (Cost): } R = 840 / 1400 = 0.600$$

$$\text{Suhu (Cost): } R = 23 / 23 = 1.000$$

$$\text{Siklus (Cost): } R = 4 / 4 = 1.000$$

$$\text{Biaya (Cost): } R = 300000 / 400000 = 0.750$$

$$\text{Susut (Cost): } R = 20 / 30 = 0.667$$

$$\text{Listrik (Cost): } R = 22000 / 22000 = 1.000$$

Jumlah $R_{ij} = 8.165$ (jumlah 10 parameter)

$NPI = \text{Jumlah} / 10 = 0.816$

c. Tanaman basil

Kualitas (Benefit): $R = 80 / 80 = 1.000$

Hasil (Benefit): $R = 10 / 15 = 0.667$

Harga (Benefit): $R = 110000 / 110000 = 1.000$

pH Air (Cost): $R = 6.0 / 6.0 = 1.000$

pH Nutrisi (Cost): $R = 840 / 1400 = 0.600$

Suhu (Cost): $R = 23 / 23 = 1.000$

Siklus (Cost): $R = 4 / 6 = 0.667$

Biaya (Cost): $R = 300000 / 300000 = 1.000$

Susut (Cost): $R = 20 / 20 = 1.000$

Listrik (Cost): $R = 22000 / 22000 = 1.000$

Jumlah $R_{ij} = 8.934$ (jumlah 10 parameter)

$NPI = \text{Jumlah} / 10 = 0.893$

Tabel 4.3. Perhitungan NPI Syifa Hidroponik

Tanaman	Kualitas (B)	Hasil (B)	Harga (B)	pH Air (C)	pH Nutrisi (C)	Suhu (C)	Siklus (C)	Biaya (C)	Susut (C)	Listrik (C)	npi
Selada	0,875	0,8	0,273	1	1	1	0,8	0,75	0,667	1	0,816
Pakcoy	0,875	1	0,273	1	0,6	1	1	0,75	0,667	1	0,816
Basil	1	0,667	1	1	0,6	1	0,667	1	1	1	0,893

2. Perhitungan NPI Sibolangit Center

a. Tanaman selada

Kualitas (Benefit): $R = 80 / 85 = 0.941$

Hasil (Benefit): $R = 20 / 25 = 0.800$

Harga (Benefit): $R = 20000 / 80000 = 0.250$

pH Air (Cost): $R = 4.2 / 4.5 = 0.933$

pH Nutrisi (Cost): $R = 1000 / 1000 = 1.000$

Suhu (Cost): $R = 20 / 20 = 1.000$

Siklus (Cost): $R = 4 / 5 = 0.800$

Biaya (Cost): $R = 400000 / 400000 = 1.000$

Susut (Cost): $R = 15 / 20 = 0.750$

Listrik (Cost): $R = 25000 / 25000 = 1.000$

Jumlah $R_{ij} = 8.474$ (jumlah 10 parameter)

$NPI = \text{Jumlah} / 10 = 0.847$

b. Tanaman Pakcoy

Kualitas (Benefit): $R = 85 / 85 = 1.000$

Hasil (Benefit): $R = 25 / 25 = 1.000$

Harga (Benefit): $R = 20000 / 80000 = 0.250$

pH Air (Cost): $R = 4.2 / 4.9 = 0.857$

pH Nutrisi (Cost): $R = 1000 / 1000 = 1.000$

Suhu (Cost): $R = 20 / 20 = 1.000$

Siklus (Cost): $R = 4 / 4 = 1.000$

Biaya (Cost): $R = 400000 / 400000 = 1.000$

Susut (Cost): $R = 15 / 15 = 1.000$

Listrik (Cost): $R = 25000 / 25000 = 1.000$

Jumlah $R_{ij} = 9.107$ (jumlah 10 parameter)

$NPI = \text{Jumlah} / 10 = 0.911$

c. Tanaman basil

Kualitas (Benefit): $R = 85 / 85 = 1.000$

Hasil (Benefit): $R = 15 / 25 = 0.600$

Harga (Benefit): $R = 80000 / 80000 = 1.000$

pH Air (Cost): $R = 4.2 / 4.2 = 1.000$

pH Nutrisi (Cost): $R = 1000 / 1000 = 1.000$

Suhu (Cost): $R = 20 / 20 = 1.000$

Siklus (Cost): $R = 4 / 6 = 0.667$

Biaya (Cost): $R = 400000 / 400000 = 1.000$

Susut (Cost): $R = 15 / 15 = 1.000$

Listrik (Cost): $R = 25000 / 25000 = 1.000$

Jumlah $R_{ij} = 9.267$ (jumlah 10 parameter)

$NPI = \text{Jumlah} / 10 = 0.927$

Tabel 4.4. Perhitungan NPI Sibolangit Center

Tanaman	Kualitas (B)	Hasil (B)	Harga (B)	pH Air (C)	pH Nutrisi (C)	Suhu (C)	Siklus (C)	Biaya (C)	Susut (C)	Listrik (C)	NPI
Selada	0.941	0.800	0.250	0.933	1.000	1.000	0.800	1.000	0.750	1.000	0.847
Pakcoy	1.000	1.000	0.250	0.857	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.911
Basil	1.000	0.600	1.000	1.000	1.000	1.000	0.667	1.000	1.000	1.000	0.927

3. Interpretasi singkat & peringkat

a. Syifa Hidroponik:

- Basil: NPI 0.893 (terbaik di Syifa)
- Selada: NPI 0.816
- Pakcoy: NPI 0.816 (

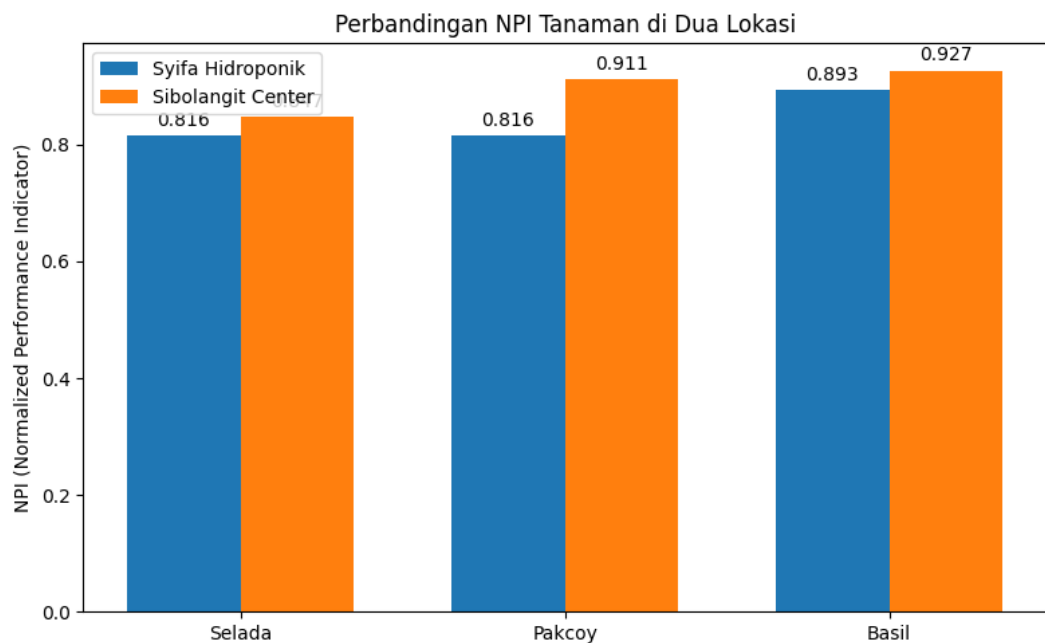
b. Sibolangit Center:

- Basil: NPI 0.927 (terbaik di Sibolangit)
- Pakcoy: NPI 0.911
- Selada: NPI 0.847

c. Interpretasi IoT & Lingkungan:

- Penerapan IoT di Sibolangit Center terbukti lebih efektif dalam menjaga parameter lingkungan (pH, suhu, nutrisi) sehingga berdampak pada kualitas dan hasil panen.
- Faktor pengelolaan pascapanen (seperti susut hasil panen dan biaya operasional) juga lebih efisien di Sibolangit.

4. Kesimpulan perbandingan NPI



Gambar 4.2. Grafik Perbandingan NPI

- a. Secara umum, Sibolangit Center unggul dibandingkan Syifa Hidroponik pada semua jenis tanaman.
- Hal ini menunjukkan bahwa kondisi operasional maupun faktor lingkungan di Sibolangit Center lebih optimal.

b. Basil adalah tanaman dengan performa terbaik di kedua lokasi.

- NPI Basil di Syifa: 0,893
- NPI Basil di Sibolangit: 0,927

Artinya, Basil lebih konsisten dan stabil meskipun di lokasi berbeda.

c. Pakcoy memiliki peningkatan signifikan di Sibolangit.

- Syifa Hidroponik: 0,816
- Sibolangit Center: 0,911

Hal ini menandakan perbedaan kondisi lingkungan (pH, kualitas produk, susut, dll.) sangat mempengaruhi kinerja IoT dalam mendukung pertumbuhan Pakcoy.

d. Selada mendapat skor terendah di kedua lokasi.

- Syifa: 0,816
- Sibolangit: 0,847

Selada masih bisa ditingkatkan, terutama dalam hal hasil panen, kualitas produk, dan susut pasca panen.

5. Implikasi untuk Pengelolaan IoT

- a. IoT berfungsi baik dalam memonitor parameter, tapi hasil NPI memperlihatkan masih ada faktor teknis & lingkungan yang harus dioptimalkan.
- b. Fokus perbaikan bisa diarahkan pada Selada (meningkatkan kualitas dan mengurangi susut).
- c. Basil bisa dijadikan tanaman prioritas untuk dikembangkan lebih luas karena stabil di dua lokasi.
- d. Penerapan IoT di Sibolangit Center terbukti lebih efektif dibandingkan

Syifa Hidroponik, mungkin karena penyesuaian parameter lingkungan lebih tepat.

4.3.2. Optimasi Produktivitas dengan Metode Data Envelopment Analysis

Metode DEA digunakan untuk mengukur efisiensi relatif dari unit-unit sejenis (DMU/Decision Making Unit). Dalam kasus ini, setiap jenis tanaman adalah DMU. DEA akan mengidentifikasi mana yang paling efisien dan memberikan target optimasi bagi yang kurang efisien.

1. Asumsi Data Tambahan (untuk DEA):

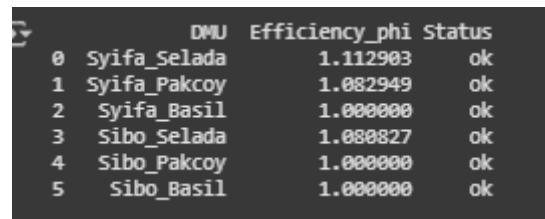
Karena data input Konsumsi nutrisi dan Pemakaian energi tidak ada di tabel, saya akan mengasumsikan nilai hipotetis untuk melanjutkan perhitungan.

Tabel 4.5. Akumulasi Data Tambahan

MU	Outputs (Kualitas %, Hasil kg, Harga Rp)	Inputs (Biaya Rp, Susut %, Listrik kWh, Siklus minggu)	Vektor λ (λ_1 – λ_6)
Syifa Hidroponik Selada	[70, 12, 30.000]	[400.000, 30, 22.000, 5]	[0.0, 0.0, 0.596774, 0.0, 0.354839, 0.0]
Syifa Hidroponik Pakcoy	[70, 15, 30.000]	[400.000, 30, 22.000, 4]	[0.0, 0.0, 0.193548, 0.0, 0.709677, 0.0]
Syifa Hidroponik Basil	[80, 10, 110.000]	[300.000, 20, 22.000, 6]	[0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0]
Sibolangit Center Selada	[80, 20, 20.000]	[400.000, 20, 25.000, 5]	[0.0, 0.0, 0.281955, 0.0, 0.751880, 0.0]
Sibolangit Center Pakcoy	[85, 25, 20.000]	[400.000, 15, 25.000, 4]	[0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0]
Sibolangit Center Basil	[85, 15, 80.000]	[400.000, 15, 25.000, 6]	[0.0, 0.0, -0.0, 0.0, 0.0, 1.0]

2. Interpretasi Hasil DEA

a. Nilai Efficiency_phi



	DMU	Efficiency_phi	Status
0	Syifa_Selada	1.112903	ok
1	Syifa_Pakcoy	1.082949	ok
2	Syifa_Basil	1.000000	ok
3	Sibol_Selada	1.080827	ok
4	Sibol_Pakcoy	1.000000	ok
5	Sibol_Basil	1.000000	ok

Gambar 4.3. Nilai Efficiency_phi

1. $\phi = 1,000 \rightarrow$ DMU efisien (sudah berada di frontier efisiensi, tidak bisa ditingkatkan lagi).
2. $\phi > 1,000 \rightarrow$ DMU belum efisien (inefisien), artinya masih ada peluang untuk meningkatkan output sebesar $(\phi - 1) \times 100\%$ tanpa menambah input.

Tabel 4.6. Nilai Efficiency_phi

DMU	ϕ (Efficiency)	Status Efisiensi	Interpretasi
Syifa Hidroponik Selada	1.113	Inefisien	Masih bisa meningkatkan output $\pm 11,3\%$ dengan input yang sama.
Syifa Hidroponik Pakcoy	1.083	Inefisien	Masih bisa meningkatkan output $\pm 8,3\%$ dengan input yang sama.
Syifa Hidroponik Basil	1.000	Efisien	Sudah optimal, tidak ada ruang peningkatan.
Sibolangit Center Selada	1.081	Inefisien	Masih bisa meningkatkan output $\pm 8,1\%$ dengan input yang sama.
Sibolangit Center Pakcoy	1.000	Efisien	Sudah optimal, efisiensi penuh.
Sibolangit Center Basil	1.000	Efisien	Sudah optimal, efisiensi penuh.

b. Nilai Lambda (λ)

Intensity weights (lambda) per solved DMU:						
	lambda_1	lambda_2	lambda_3	lambda_4	lambda_5	lambda_6
Syifa_Selada	0.0	0.0	0.596774	0.0	0.354839	0.0
Syifa_Pakcoy	0.0	0.0	0.193548	0.0	0.709677	0.0
Syifa_Basil	0.0	0.0	1.000000	0.0	0.000000	0.0
Sibo_Selada	0.0	0.0	0.281955	0.0	0.751880	0.0
Sibo_Pakcoy	0.0	0.0	0.000000	0.0	1.000000	0.0
Sibo_Basil	0.0	0.0	-0.000000	0.0	0.000000	1.0

Gambar 4.4. Nilai Lambda (λ)

Berdasarkan hasil pengolahan DEA, diperoleh nilai bobot intensitas (λ) untuk setiap Decision Making Unit (DMU). Nilai λ ini mewakili kombinasi linear dari pembanding DMU yang digunakan untuk membentuk efisiensi frontier. Secara umum, DMU dengan nilai efisiensi $\phi = 1,0$ (efisien murni) akan memiliki $\lambda = 1$ hanya pada dirinya sendiri, sedangkan DMU dengan nilai $\phi > 1,0$ (super-efisien) akan mereferensikan kombinasi DMU lain yang efisien sebagai pembandingnya.

1. Syifa Hidroponik Selada

Mengacu pada kombinasi 59,7% Kemangi Syifa dan 35,5% Pakcoy Sibon. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja Selada di Syifa lebih baik daripada kombinasi kedua DMU tersebut, sehingga diperoleh nilai efisiensi $\phi = 1,112903$.

2. Syifa Hidroponik Pakcoy

Mengacu pada kombinasi 19,3% Basil dan 70,9% Pakcoy Sibon. Dengan demikian, Pakcoy Syifa juga lebih unggul dibandingkan pembandingnya, menghasilkan efisiensi $\phi = 1,082949$.

3. Syifa Hidroponik Basil

Hanya mereferensikan dirinya sendiri ($\lambda = 1,0$). Menunjukkan bahwa Basil Syifa merupakan DMU efisien murni ($\phi = 1,0$) tanpa perlu perbandingan dengan DMU lain.

4. Sibolangit Center Selada

Mengacu pada kombinasi 28,2% Kemangi Syifa dan 75,2% Pakcoy Sibol . Hal ini menegaskan bahwa Selada di Sibolangit memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada kombinasi kedua DMU tersebut, dengan nilai $\phi = 1,080827$.

5. Sibolangit Center Pakcoy

Hanya mereferensikan dirinya sendiri ($\lambda = 1,0$). Menunjukkan bahwa Pakcoy Sibol merupakan DMU efisien murni dengan $\phi = 1,0$.

6. Sibolangit Center Basil

Juga hanya mereferensikan dirinya sendiri ($\lambda = 1,0$). Basil di Sibolangit termasuk DMU efisien murni dengan $\phi = 1,0$.

3. Analisis Hasil DEA (secara kualitatif):

A. Syifa Hidroponik Selada

a. Jumlah output teragregasi ($\sum \lambda_j * y_{ij}$):

- $0.596774 \times \text{Syifa_Basil outputs } [80, 10, 110000] = [47.742, 5.968, 65645.14]$
- $= 0.354839 \times \text{Sibol_Pakcoy outputs } [85, 25, 20000] = [30.161, 8.871, 7096.78]$

b. Hasil agregat (Kualitas, Hasil, Harga) = $[77.903, 14.839, 72741.92]$

c. Rasio per output $r_i = (\text{aggregated output}) / (y_{i0})$:

- $r_1 = 77.903235 / 70 = 1.112903$
 - $r_2 = 14.838715 / 12 = 1.23656$
 - $r_3 = 72741.92 / 30000 = 2.424731$
- d. $r \text{ vector} = [1.112903, 1.23656, 2.424731]$
- e. $\phi = \min(r_i) = 1.112903$ (diberikan: 1.112903)
- f. D) Verifikasi input: $\sum \lambda_j * x_{kj}$ dibandingkan x_{k0}
- $0.596774 \times \text{Syifa_Basil inputs } [300000, 20, 22000, 6] = [179032.2, 11.935, 13129.028, 3.581]$
 - $0.354839 \times \text{Sibo_Pakcoy inputs } [400000, 15, 25000, 4] = [141935.6, 5.323, 8870.975, 1.419]$
- g. Hasil agregat inputs (Biaya,Susut,Listrik,Siklus) = [320967.8, 17.258, 22000.003, 5.0]
- Perbandingan (agregat $\leq x_0$):
 - Biaya: $320967.8 \leq 400000 \rightarrow \text{True}$
 - Susut: $17.258 \leq 30 \rightarrow \text{True}$
 - Listrik: $22000.003 \leq 22000 \rightarrow \text{False}$
 - Siklus: $5.0 \leq 5 \rightarrow \text{True}$

B. Syifa Hidroponik pakcoy

- a. Jumlah output teragregasi ($\sum \lambda_j * y_{ij}$):
- $0.193548 \times \text{Syifa_Basil outputs } [80, 10, 110000] = [15.484, 1.935, 21290.28]$
 - $-0.709677 \times \text{Sibo_Pakcoy outputs } [85, 25, 20000] = [60.323, 17.742, 14193.54]$
- b. Hasil agregat (Kualitas, Hasil, Harga) = [75.806, 19.677, 35483.82]

- c. Rasio per output $r_i = (\text{aggregated output}) / (y_{i0})$:
- $r_1 = 75.806385 / 70 = 1.082948$
 - $r_2 = 19.677405 / 15 = 1.311827$
 - $r_3 = 35483.82 / 30000 = 1.182794$
- d. r vector = [1.082948, 1.311827, 1.182794]
- e. $\phi = \min(r_i) = 1.082948$ (diberikan: 1.082949)
- f. Verifikasi input: $\sum \lambda_j * x_{kj}$ dibandingkan x_{k0}
- $0.193548 \times \text{Syifa_Basil inputs [300000, 20, 22000, 6]} = [58064.4, 3.871, 4258.056, 1.161]$
 - $0.709677 \times \text{Sibo_Pakcoy inputs [400000, 15, 25000, 4]} = [283870.8, 10.645, 17741.925, 2.839]$
- g. Hasil agregat inputs (Biaya,Susut,Listrik,Siklus) = [341935.2, 14.516, 21999.981, 4.0]
- h. Perbandingan ($\text{agregat} \leq x_0$):
- Biaya: $341935.2 \leq 400000 \rightarrow \text{True}$
 - Susut: $14.516 \leq 30 \rightarrow \text{True}$
 - Listrik: $21999.981 \leq 22000 \rightarrow \text{True}$
 - Siklus: $4.0 \leq 4 \rightarrow \text{True}$

C. Syifa Hidroponik Basil

- a. Jumlah output teragregasi ($\sum \lambda_j * y_{ij}$):
- Syifa_Basil outputs [80, 10, 110000] = [80.0, 10.0, 110000.0]
- b. Hasil agregat (Kualitas, Hasil, Harga) = [80.0, 10.0, 110000.0]
- c. Rasio per output $r_i = (\text{aggregated output}) / (y_{i0})$:
- $r_1 = 80.0 / 80 = 1.0$

- $r_2 = 10.0 / 10 = 1.0$
 - $r_3 = 110000.0 / 110000 = 1.0$
 - $r \text{ vector} = [1.0, 1.0, 1.0]$
- d. $\phi = \min(r_i) = 1.0$ (diberikan: 1.0)
- e. Verifikasi input: $\sum \lambda_j * x_{kj}$ dibandingkan x_{k0}
- $1.000000 \times \text{Syifa_Basil inputs } [300000, 20, 22000, 6] = [300000.0, 20.0, 22000.0, 6.0]$
- f. Hasil agregat inputs (Biaya,Susut,Listrik,Siklus) = $[300000.0, 20.0, 22000.0, 6.0]$
- g. Perbandingan (agregat $\leq x_0$):
- Biaya: $300000.0 \leq 300000 \rightarrow \text{True}$
 - Susut: $20.0 \leq 20 \rightarrow \text{True}$
 - Listrik: $22000.0 \leq 22000 \rightarrow \text{True}$
 - Siklus: $6.0 \leq 6 \rightarrow \text{True}$

D. Sibolangit center Selada

- a. Jumlah output teragregasi ($\sum \lambda_j * y_{ij}$):
- $0.281955 \times \text{Syifa_Basil outputs } [80, 10, 110000] = [22.556, 2.82, 31015.05]$
 - $0.751880 \times \text{Sibo_Pakcoy outputs } [85, 25, 20000] = [63.91, 18.797, 15037.6]$
- b. Hasil agregat (Kualitas, Hasil, Harga) = $[86.466, 21.617, 46052.65]$
- c. Rasio per output $r_i = (\text{aggregated output}) / (y_{i0})$:
- $r_1 = 86.4662 / 80 = 1.080828$

- $r_2 = 21.61655 / 20 = 1.080828$
- $r_3 = 46052.65 / 20000 = 2.302633$
- d. $r \text{ vector} = [1.080828, 1.080828, 2.302633]$
- e. $\phi = \min(r_i) = 1.080828$ (diberikan: 1.080827)
- f. Verifikasi input: $\sum \lambda_j * x_{kj}$ dibandingkan x_{k0}
 - $0.281955 \times \text{Syifa_Basil inputs } [300000, 20, 22000, 6] = [84586.5, 5.639, 6203.01, 1.692]$
 - $0.751880 \times \text{Sibo_Pakcoy inputs } [400000, 15, 25000, 4] = [300752.0, 11.278, 18797.0, 3.008]$
- g. Hasil agregat inputs (Biaya,Susut,Listrik,Siklus) = $[385338.5, 16.917, 25000.01, 4.699]$
- h. Perbandingan (agregat $\leq x_0$):
 - Biaya: $385338.5 \leq 400000 \rightarrow \text{True}$
 - Susut: $16.917 \leq 20 \rightarrow \text{True}$
 - Listrik: $25000.01 \leq 25000 \rightarrow \text{False}$
 - Siklus: $4.699 \leq 5 \rightarrow \text{True}$

E. Sibolangit Center Pakcoy

- a. Jumlah output teragregasi ($\sum \lambda_j * y_{ij}$):
 - $1.000000 \times \text{Sibo_Pakcoy outputs } [85, 25, 20000] = [85.0, 25.0, 20000.0] \rightarrow \text{Hasil agregat (Kualitas, Hasil, Harga) = } [85.0, 25.0, 20000.0]$
- b. Rasio per output $r_i = (\text{aggregated output}) / (y_{i0})$:
 - $r_1 = 85.0 / 85 = 1.0$
 - $r_2 = 25.0 / 25 = 1.0$

- $r_3 = 20000.0 / 20000 = 1.0$
 - $r \text{ vector} = [1.0, 1.0, 1.0]$
- c. $\phi = \min(r_i) = 1.0$ (diberikan: 1.0)
- d. Verifikasi input: $\sum \lambda_j * x_{kj}$ dibandingkan x_{k0}
- $1.0000000 \times \text{Sibo_Pakcoy inputs } [400000, 15, 25000, 4] = [400000.0, 15.0, 25000.0, 4.0]$
- e. Hasil agregat inputs (Biaya, Susut, Listrik, Siklus) = $[400000.0, 15.0, 25000.0, 4.0]$
- f. Perbandingan (agregat $\leq x_0$):
- Biaya: $400000.0 \leq 400000 \rightarrow \text{True}$
 - Susut: $15.0 \leq 15 \rightarrow \text{True}$
 - Listrik: $25000.0 \leq 25000 \rightarrow \text{True}$
 - Siklus: $4.0 \leq 4 \rightarrow \text{True}$

F. Sibolangit Center Basil

- a. Jumlah output teragregasi ($\sum \lambda_j * y_{ij}$):
- $1.0000000 \times \text{Sibo_Basil outputs } [85, 15, 80000] = [85.0, 15.0, 80000.0]$
- b. Hasil agregat (Kualitas, Hasil, Harga) = $[85.0, 15.0, 80000.0]$
- c. Rasio per output $r_i = (\text{aggregated output}) / (y_{i0})$:
- $r_1 = 85.0 / 85 = 1.0$
 - $r_2 = 15.0 / 15 = 1.0$
 - $r_3 = 80000.0 / 80000 = 1.0$
- d. $r \text{ vector} = [1.0, 1.0, 1.0]$
- e. $\phi = \min(r_i) = 1.0$ (diberikan: 1.0)

- f. Verifikasi input: $\sum \lambda_j * x_{kj}$ dibandingkan x_{k0}
- $1.000000 \times \text{Sibo_Basil inputs } [400000, 15, 25000, 6] = [400000.0, 15.0, 25000.0, 6.0]$
- g. Hasil agregat inputs (Biaya,Susut,Listrik,Siklus) = [400000.0, 15.0, 25000.0, 6.0]
- h. Perbandingan (agregat $\leq x_0$):
- Biaya: $400000.0 \leq 400000 \rightarrow \text{True}$
 - Susut: $15.0 \leq 15 \rightarrow \text{True}$
 - Listrik: $25000.0 \leq 25000 \rightarrow \text{True}$
 - Siklus: $6.0 \leq 6 \rightarrow \text{True}$

4.4. Implementasi Perangkat Keras

Adapun rancangan desain sistem dibuat untuk dapat menyelesaikan masalah yang diangkat, atau sebagai penyempurna dari sistem konvensional yang sedang berjalan. Perancangan prototipe juga bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan komponen dalam hal implementasi dan pengujian analisis. Perancangan prototipe lebih berfokus kepada pemosisian komponen-komponen yang digunakan. Berikut adalah gambar prototipe yang mewakili sistem yang akan dirancang. Berikut pada gambar 4.3 terdapat rangkaian yang telah dibuat:

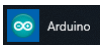


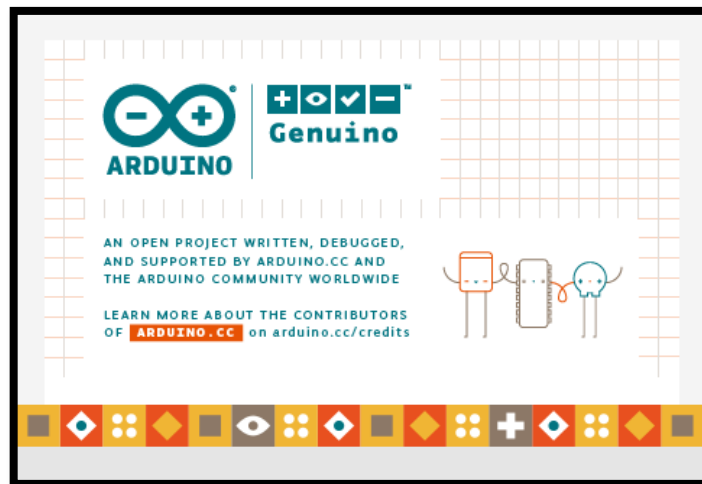
Gambar 4.5. Uji coba alat

4.5. Software Arduino IDE

Untuk mengetahui apakah rangkaian *board* arduino telah bekerja dengan baik pada alat, maka dilakukan pengujian dengan memberikan program perintah pada mikrokontroler dengan melakukan penginputan data dari komputer ke dalam mikrokontroler.

Dalam melakukan instalasi hubungkan terlebih dahulu menghubungkan antara komputer melalui kabel USB ke rangkaian mikrokontroler. Untuk melakukan pengujian alat dengan perintah dapat dilakukan dengan beberapa langkah antara lain :

- a. Langkah pertama yang dilakukan adalah menjalankan *Arduino IDE* dengan mengklik *icon* . Setelah aplikasi melakukan *load* maka akan terlihat bentuk tampilan seperti berikut :



Gambar 4.6. Tampilan Load Screen dan Software Arduino IDE

- b. Selanjutnya untuk memprogram *board arduino* yaitu dengan mengetikkan program sesuai dengan yang dibutuhkan pada alat. Seperti yang terlihat pada gambar berikut :



Gambar 4.7. Tampilan Program

4.6. Uji Coba Perangkat

Pengujian perangkat dilakukan guna mendapatkan hasil yang maksimal pada perancangan ini. Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan terhadap

perangkat yang digunakan. Sebelum melakukan pengujian, beberapa hal yang harus diperhatikan dan dipersiapkan adalah sebagai berikut :

1. Perangkat dalam keadaan siap diuji, tidak ada *trouble* pada saat pengujian.
2. Sebelum pengujian perangkat, hubungkan perangkat dengan sumber daya / tegangan.
3. Perangkat telah ditempatkan pada meja yang telah di siapkan
4. Hasil pengujian dianalisa dan dibandingkan dengan perangkat pembanding, seperti melihat sensor infra merah, menghitung tegangan menggunakan multimeter dan lain sebagainya.
5. Pengujian yang dilakukan terdiri dari pengujian elektronik, pengujian mekanik, perangkat elektronik dan pengujian perangkat keseluruhan.

4.6.1. Pengujian Regulator Tegangan

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan dari regulator tegangan LM7805. Regulator mengubah tegangan dari *power supply* menjadi 5VDC untuk tegangan kerja perangkat keseluruhan. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter atau voltmeter.



Gambar 4.8. Pengukuran Tegangan

Berikut adalah hasil dari perbandingan pengukuran tegangan, ditunjukkan pada tabel 4.1 :

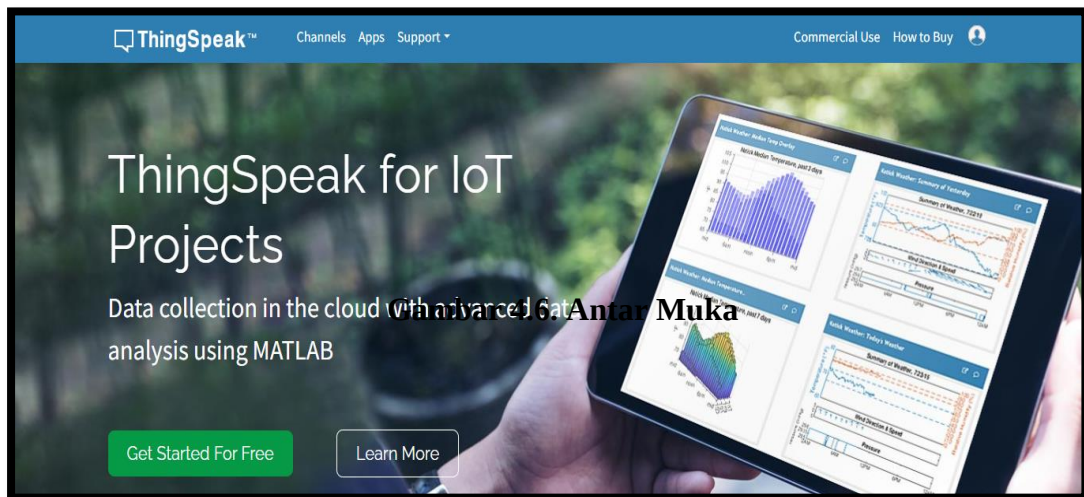
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Regulator Tegangan 5VDC

No. Pengujian	Hasil Pengukuran (Volt)	Error (Volt)
1	5,1	0,1
2	5,1	0,1
3	5,1	0,1
4	4,9	0,1
5	5	0
6	4,8	0,2
7	5,1	0,1
8	5	0
9	5,2	0,2
10	4,9	0,1
Σ Error		1
Rata – Rata Error		0.1

Berdasarkan data dari tabel di atas, disimpulkan bahwa *error* dari tegangan normal dengan tegangan regulator 5VDC memiliki total selisih error ± 1 Volt pada 10 kali pengujian (n) atau rata – rata error sebesar 0,1 Volt.

4.6. Implementasi Perancangan Antarmuka

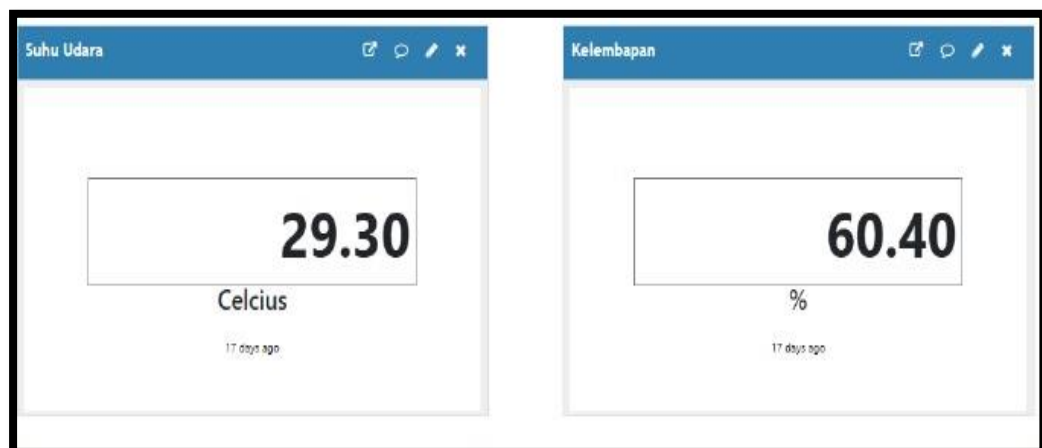
Pada Implementasi antarmuka ini, aplikasi dapat diakses dengan link <https://thingspeak.mathworks.com/>, adapun tampilan antar muka sebagai berikut:



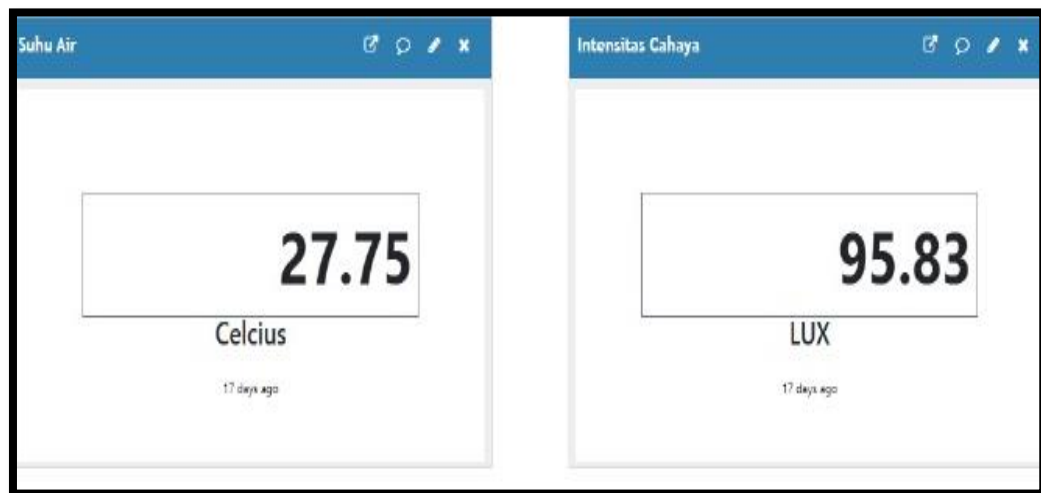
Gambar 4.9. Implementasi Perancangan Antarmuka

1. Tampilan Monitoring Sistem

Berikut adalah tampilan monitoring yang dibuat oleh penulis, dapat dilihat pada gambar 4.7 di bawah ini



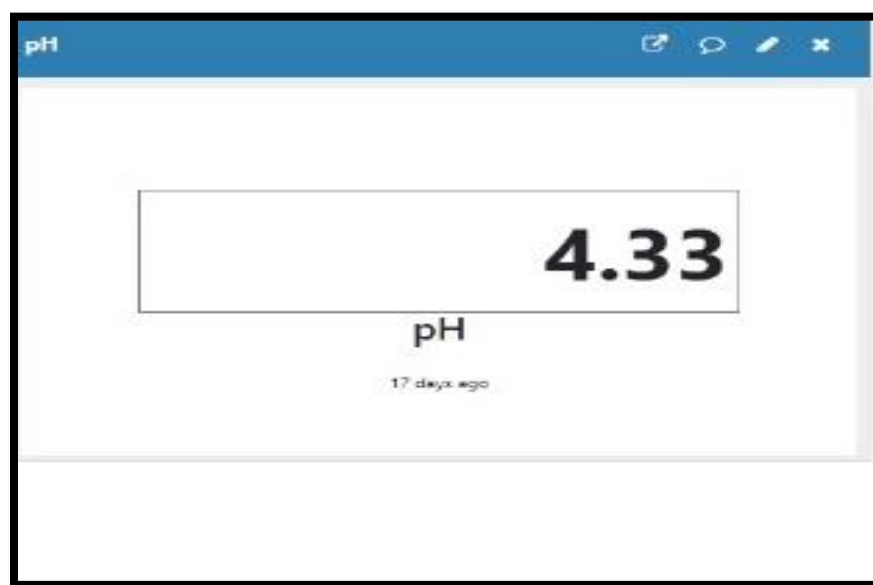
Gambar 4.10. Tampilan Suhu Udara dan Kelembaban



Gambar 4.11. Tampilan Suhu Air dan Intensitas Cahaya



Gambar 4.12. Tampilan Grafik pH



Gambar 4.13. Tampilan monitoring pH

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil data percobaan yang diperoleh kemudian dilakukan uji coba dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem Pemantauan Otomatis: Desain ini menciptakan sebuah sistem yang secara otomatis memantau kondisi lingkungan tanaman hidroponik, mengurangi kebutuhan pemantauan manual.
2. Pengambilan Keputusan Berbasis Data: Dengan data dari berbagai sensor yang diolah dan ditampilkan di *web dashboard*, petani dapat membuat keputusan yang lebih akurat dan tepat waktu untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman.
3. Akses Jarak Jauh: Integrasi dengan cloud server memungkinkan petani untuk memantau kondisi kebun dari mana saja dan kapan saja, meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi.
4. Efisiensi Sumber Daya: Pemantauan pH dan TDS membantu memastikan pemberian nutrisi yang tepat, mencegah pemborosan pupuk dan air.

5.2 Saran

Berdasarkan dari analisa data dan kesimpulan, saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

1. Tambahkan Aktuator: Untuk membuat sistem lebih otonom, tambahkan aktuator seperti pompa dan solenoid valve. Ini memungkinkan sistem untuk secara otomatis menyesuaikan pH atau konsentrasi nutrisi tanpa intervensi manual dari petani.

2. Integrasi dengan Pembangkit Listrik Berbasis Energi Terbarukan: Untuk lokasi yang sulit dijangkau listrik atau untuk mengurangi biaya operasional, pertimbangkan penggunaan panel surya atau sumber energi terbarukan lainnya untuk menyuplai daya ke sistem.
3. Analisis Data Lanjutan: Kembangkan perangkat lunak untuk menganalisis data historis guna memprediksi tren pertumbuhan atau mengidentifikasi anomali. Ini bisa membantu petani mengantisipasi masalah sebelum terjadi dan mengoptimalkan hasil panen di masa mendatang.
4. Sistem Peringatan: Tambahkan fitur notifikasi (misalnya, melalui SMS atau email) yang akan memberi tahu petani secara langsung jika ada parameter yang berada di luar rentang ideal.

DAFTAR PUSTAKA

- Andi Fitria Idham¹), Andi Muhammad Rayyan Eka Putra²), Jauharah Rahadatul Aisy³), Muhammad Ayatullah Khumaeni¹), A. (2021). *KULTIVASI HIDROPONIK SEBAGAI MANAJEMEN NUTRISI DAN PENINGKATAN PRODUKTIVITAS KELUARGA PEKERJA ESENSIAL PRASEJAHTERA DI MINASAUPA*. 4, 739–743.
- BELLA, S. (2023). IMPLEMENTASI SMART AKUARIUM BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT) PADA SALMA AKUARIUM IKAN HIAS. *JTIK (Jurnal Teknik Informatika Kaputama)*, 7(2), 322–330. <https://doi.org/10.59697/jtik.v7i2.127>
- Biology, A. (2024). MONITORING TANAMAN HIDROPONIK DENGAN IMPEMENTASI INTERNET OF THINGS (IOT) DI GREEN HOUSE PRODI BIOLOGI UIN AR-RANIRY 4(2), 163–174. <https://doi.org/10.22373/kenanga.v4i2.5661>
- Farhan, N. M., & Setiaji, B. (2023). Indonesian Journal of Computer Science. *Indonesian Journal of Computer Science*, 12(2), 284–301. <http://ijcs.stmikindonesia.ac.id/ijcs/index.php/ijcs/article/view/3135>
- Heri, A., Insani, C. N., Irianti, A., & Rasyid, N. (2024). Penerapan Teknologi IoT Pada Tanaman Hidroponik Untuk Monitoring Pertumbuhan Tanaman di Desa Puccadi. *Journal Of Computer Science Contributions (JUCOSCO)*, 4(1), 37–46. <https://doi.org/10.31599/jucosco.v4i1.3359>
- Hidayatullah, P., Orisa, M., & Mahmudi, A. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Kontrol Tanaman Hidroponik Berbasis *Internet of Things* (Iot). *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 1200–1207.

<https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5433>

Husna, A., & Hastuti, H. (2023). Smart Control dan Monitoring Hidroponik Berbasis IoT (*Internet of Things*). *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(2), 897–907. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.528>

Istiqomah, F., Regitasari, Y. Y., Roshita, A. N., & Susila, J. (2021). Rancang Bangun Sistem Kontrol Otomatis Dan Monitoring pH Larutan Nutrisi Kebun Sayur Hidroponik Berbasis Android. *El Sains : Jurnal Elektro*, 2(1). <https://doi.org/10.30996/elsains.v2i1.3673>

JSE-1 JSE-2. (2024). 9(1), 1–7.

Lawrence Adi Supriyono, & Andy Febrian Wibowo. (2023). Sistem Monitoring Suhu, Kelembaban dan Kandungan Nutrisi Budidaya Tanaman Sawi Caisim Hidroponik Berbasis IoT. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro Dan Komputer*, 3(1), 171–178. <https://doi.org/10.51903/juritek.v3i1.2035>

Litayem, N., & Al-Sa'di, A. (2023). Exploring the Programming Model, Security Vulnerabilities, and Usability of ESP8266 and ESP32 Platforms for IoT Development. *2023 IEEE 3rd International Conference on Computer Systems, ICCS 2023, November*, 150–157. <https://doi.org/10.1109/ICCS59700.2023.10335558>

Maldini, A. R. M. (2022). Rancang Bangun Sistem Keamanan Kendaraan Bermotor Roda Dua Berbasis *Internet of Things* dengan Modul NodeMCU ESP8266 V3 dan ESP32-CAM. *Electrician*, 16(2), 215–222. <https://doi.org/10.23960/elc.v16n2.2291>

Muhtar, M., & Huda, Z. (2021). Desain Kontrol Sistem Telemetry pH Larutan Nutrisi Hidroponik Berbasis Fuzzy Logic. *IJEIS (Indonesian Journal of*

Electronics and Instrumentation Systems), 9(2), 151.
<https://doi.org/10.22146/ijeis.49198>

Musayyanah, Harianto, Adrianto, Y. R., & Budiardjo, H. (2024). Sistem HIPOI 1.0: Hidroponik Indoor Berbasis *Internet of Things* untuk Tanaman Selada dengan Teknik NFT. *ELECTRON Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 5(1), 59–68. <https://doi.org/10.33019/electron.v5i1.113>

Nishant Hiralal Hedau, Parth Nikhil Isasare, & Prof. Vidya Bhosale. (2023). IoT and Data Analytic in Smart Agriculture. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 140–146.
<https://doi.org/10.48175/ijarsct-13622>

Nuryudin, A., Irawan, D., & Astutik, R. P. (2024). Sistem Monitoring Dan Kontrol Nutrisi Tanaman Di Hidroponik Nft Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani. *Jurnal Teknik Elektro*, 17(1), 44–50.
<https://doi.org/10.9744/jte.17.1.44-50>

Puarada, S. H., Gurning, R. N. S., & Harahap, W. U. (2021). Efisiensi Teknis Rantai Pasok Jagung Tingkat Petani Dan Pengumpul Dengan Metode *Data Envelopment Analysis* (Dea) Kecamatan Batang Kuis, Deli Serdang, Sumatera Utara. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 3(2), 234–245.
<https://doi.org/10.37637/ab.v3i2.629>

Putri, R. E., Habib, A., & Hasan, A. (2023). RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL pH LARUTAN NUTRISI DAN PENCAHAYAAN BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) PADA HIDROPONIK VERTIKULTUR. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(1), 41–50.
<https://doi.org/10.32520/jtp.v12i1.2551>

- Putri, R. E., Harahap, H. M., & Putri, I. (2023). Pengembangan Sistem Kontrol Nutrisi Budidaya Hidroponik Berbasis IoT (*Internet of Things*) Sawi Samhong (*Brassicasinensis* L.). *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 11(2), 197–206.
<https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2023.011.02.09>
- Putri, R. E., Khainur, A., & Andasuryani, A. (2023). Pengembangan Sistem Otomatisasi pH Larutan Nutrisi pada Hidroponik Sistem DFT (Deep Flow Technique) Berbasis IOT. *AgriTECH*, 43(3), 259.
<https://doi.org/10.22146/agritech.71305>
- Rahmatullah, Z. U. (2023). The Rancangan Bangun Alat Perawatan dan Pemberian Nutrisi Otomatis Pada Tanaman Pakcoy Hidroponik Berbasis IOT Menggunakan Fuzzy Logic Control. *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan*, 11(1), 63–73.
<https://doi.org/10.34010/telekontran.v11i1.9942>
- Rahmawati, L. M. (2021). Pengaruh Produk Biofertilizer Rumput Laut (*Ascophyllum Nodosum*) Komersial Terhadap Perubahan Kualitas Air Pada Sistem Akuaponik. *Universitas Airlangga*.
- Rivana, R. R., Made, M. R., Edilla, & Jajang Jaenudin. (2023). Sistem Monitoring Nutrisi dan PH Air pada Tanaman Hidroponik Berbasis *Internet of Things* (IoT). *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 10(3).
<https://doi.org/10.33795/elkolind.v10i3.3579>
- Rosyidi, L., & Supriyanto, S. (2024). Pemantauan Budidaya Hidroponik Metode Nutrient Film Technique Menggunakan Platform *Internet of Things* Berbasis Komunitas. *Digital Transformation Technology*, 4(1), 586–591.

<https://doi.org/10.47709/digitech.v4i1.4427>

Setiawan, M. A., & Sulistyasni, S. (2024). Sistem Pertanian Hidroponik Padi Cerdas Berbasis *Internet of Things* pada Lahan Perkotaan Guna Menambah Ketahanan Pangan Masyarakat. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(1), 118–129. <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i1.973>

Yanuar, LA, Kurnia, D., Janizal, Muhamad, U., & Tamyiz, H. (2024). PENGEMBANGAN SISTEM MODULAR MENGGUNAKAN ESP-32 UNTUK PLATFORM *INTERNET OF THINGS* (IOT). Ramatekno

Abu Sneineh, A., & Shabaneh, A. A. A. (2023). Design of a smart hydroponics monitoring system using an ESP32 microcontroller and the *Internet of Things*. *MethodsX*, 11, 102401. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102401>

Wijayanto, DP, Silmina, EP, Firdonsyah, A., & Aditiya, AA (2024). PROTOTYPE IOT UNTUK PEMANTAUAN NUTRISI DAN PH PADA HIDROPONIK MENGGUNAKAN ESP32 DI KEBUN HIDROPINIK VEFAR YOGYAKARTA. HOAQ (Kualitas Arsip Organisasi Pendidikan Tinggi) : Jurnal Teknologi Informasi .

Simbolon, S. N., & Suryanto, A. (2021). Pengaruh Interval Waktu Pemberian Nutrisi Ab- Mix dan Metode Hidroponik pada Tanaman Melon (Cucumis melo L .). *Jurnal Produksi Tanaman*, 6(9), 2372–2381.

Syafnidawaty. (2021). *Internet of thing* (IoT). *IoT Agenda*, 5(1), 3–8. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>

Hais, YR, Nehru, N., Fuady, S., Rabiula, A., Fortuna, D., & Damayanti, L.

(2024). PENERAPAN SISTEM KONTROL DAN MONITORING LEVEL AIR BERBASIS *Internet of Things* (IoT) DENGAN TELEGRAM DI HANZA FARM SEBAGAI STRATEGI PENGUATAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN HIDROPONIK. EJOIN : Jurnal Pengabdian Masyarakat .

Hermala, I., & Darda, AM (2022). Evaluasi Penerapan Sistem Hidroponik Tenaga Surya Berbasis Iot Untuk Peningkatan Produktivitas Hasil Pertanian Tanaman Hortikultura. Melek Sintaks; Jurnal Ilmiah Indonesia

Teguh Purwanto, K., Sukadarmika, G., & .Wiharta, D. M. (2022). Rancang Bangun Hidroponik Tanaman Paprika Dengan Drip System Berbasis *Internet of Things*. *Jurnal SPEKTRUM*, 8(4), 193.
<https://doi.org/10.24843/spektrum.2021.v08.i04.p22>

Baihaqi, M.Z., & Sebayang, A.F. (2025). Pengukuran Kinerja PT Kereta Api Indonesia Menggunakan Metode *Data Envelopment Analysis*. Bandung Conference Series: Economics Studies.

LAMPIRAN

1. Surat SK Dosen Pembimbing



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/09/2019
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
https://www.umhu.ac.id fktid@umhu.ac.id umsumedan umsumedan umsumedan umsumedan

PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING
PROPOSAL/SKRIPSI MAHASISWA
NOMOR : 253/IL3-AU/UMSU-09/F/2025

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan Persetujuan permohonan judul penelitian Proposal / Skripsi dari Ketua / Sekretaris.

Program Studi : Teknologi Informasi
Pada tanggal : 04 Februari 2025

Dengan ini menetapkan Dosen Pembimbing Proposal / Skripsi Mahasiswa.

Nama : Afrida Hariani
NPM : 2109020025
Semester : VII (Tujuh)
Program studi : Teknologi Informasi
Judul Proposal / Skripsi : Implementasi IOT Untuk Petani Hidroponik Modern Dengan Mengevaluasi Kinerja Menggunakan Metode Normalized Performance Indicator(NPI) Dan Optimasi Target Produktivitas Menggunakan Metode Data Envelopment Analysis (DEA)

Dosen Pembimbing : Yohanni Syahra, S.Si.,M.Kom

Dengan demikian di izinkan menulis Proposal / Skripsi dengan ketentuan

1. Penulisan berpedoman pada buku panduan penulisan Proposal / Skripsi Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi UMSU
2. Pelaksanaan Sidang Skripsi harus berjarak 3 bulan setelah dikeluarkannya Surat Penetapan Dosen Pembimbing Skripsi.
3. Proyek Proposal / Skripsi dinyatakan " BATAL " bila tidak selesai sebelum Masa Kadalua tanggal : 04 Februari 2026
4. Revisi judul.....

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Ditetapkan di : Medan
Pada Tanggal : 05 Sya'ban 1446 H
04 Februari 2025M



Dekan
Dt. Al-Showarizmi, M.Kom.
NIDN / 0127099201

Cc. File



2. Bimbingan Skripsi



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019
 Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://staf.umsu.ac.id> Email: faki@umsu.ac.id [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#)

Berita Acara Pembimbingan Skripsi

Nama Mahasiswa : Afrida Hariani Program Studi : Teknologi Informasi
 NPM : 2109020024 Konsentrasi : Internet Of Things(IOT)
 Nama Dosen :
 Pembimbing : Yohanni Syahra, S.Si., M.Kom
 Judul Penelitian : Implementasi dan evaluasi kinerja iot menggunakan metode Normalized Performance Indikator (NPI) dan optimasi target produktivitas menggunakan metode Data Envelopment Analysis (DEA) pada lahan hidroponik modern

Item	Hasil Evaluasi	Tanggal	Paraf Dosen
JUDUL	PASS: JUNE	18/02-2025	[Signature]
BAB 1,2	Pembahasan pada halaman yg diteliti	4/4-2025	[Signature]
BAB 3	Pembahasan pada halaman yg diteliti	5/4-2025	[Signature]
AUL BAB	ACC. Sesuai Proposal	30/4-2025	[Signature]
BAB 4	Pembahasan pada halaman yg diteliti	27/4-2025	[Signature]
BAB 5	Pembahasan pada halaman yg diteliti	1/8-2025	[Signature]
AKHIR	GOOD	20/8-2025	[Signature]
AKHIR BAB	ACC. Gaty!	6/9-2025	[Signature]

Diketahui oleh :
 Ketua Program Studi
 Teknologi Informasi

[Signature]

(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom)

Medan, 5 Agustus 2025
 Disetujui oleh :
 Dosen Pembimbing

[Signature]

(Yohanni Syahra, S.Si., M.Kom)



3. Surat Permohonan Penelitian di Syifa Hidroponik



UMSU
Majelis Pendidikan Tinggi Penelitian & Pengembangan Pimpinan Pusat Muhammadiyah

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAK-PTIAK/Pg/PT/III/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20230 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax (061) 6625474 - 6631003

 www.umsu.ac.id
 eks@umsu.ac.id
 [umsu.medan](https://www.facebook.com/umsu.medan)
 [umsu.medan](https://www.instagram.com/umsu.medan)
 [umsu.medan](https://www.twitter.com/umsu.medan)
 [umsu.medan](https://www.youtube.com/umsu.medan)

Nomor : 832/IL.3-AU/UMSU-09/F/2025

Lampiran : -

Perihal : **IZIN RISET PENDAHULUAN**

Medan, 14 Shafar 1447 H

08 Agustus 2025 M

Kepada Yth.
Bapak/Ibu Pimpinan
Sibolangit Center
Sibolangit Centre, Jalan Djamin Ginting No.56, Ketangkuhen, Sibolangit, Sikeben, Kec.
Sibolangit, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara

Di Tempat

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan hormat, sehubungan mahasiswa kami akan menyelesaikan studi, untuk itu kami memohon kesediaan Bapak / Ibu untuk memberikan kesempatan pada mahasiswa kami melakukan riset di Perusahaan / Instansi yang Bapak / Ibu pimpin, guna untuk penyusunan skripsi yang merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Strata Satu (S-1)

Adapun Mahasiswa/i di Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tersebut adalah:

Nama : Afrida Hariani

Npm : 2109020025

Jurusan : Teknologi Informasi

Semester : VIII (Delapan)

Judul : IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA IOT MENGGUNAKAN METODE NORMALIZED PERFORMANCE INDIKATOR (NPI) DAN OPTIMASI TARGET PRODUKTIVITAS MENGGUNAKAN METODE DATAENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) PADA LAHAN HIDROPONIK MODERN

Email : afridahariani170@gmail.com

Hp/Wa : 0895624209010

Demikianlah surat kami ini, atas perhatian dan kerjasamanya yang Bapak / Ibu berikan kami ucapkan terimakasih

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh



Cc: File



Dekan

Assist. Prof. Dr. Al-Khowarizmi, M.Kom.

NIDN : 0127099201



4. Surat Permohonan Penelitian di Sibolangit Center



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN TIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BDAN-PTIAK-Pg/PT/18/2024

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20236 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax (061) 6625474 - 6631003

Website: www.umsu.ac.id Email: info@umsu.ac.id Instagram: [umsu.ac.id](https://www.instagram.com/umsu.ac.id) Facebook: [umsu.ac.id](https://www.facebook.com/umsu.ac.id) Twitter: [umsu.ac.id](https://twitter.com/umsu.ac.id) YouTube: [umsu.ac.id](https://www.youtube.com/umsu.ac.id)

Nomor : 832/IL3-AU/UMSU-09/F/2025 Medan, 14 Shafar 1447 H
 Lampiran : - 08 Agustus 2025 M
 Perihal : IZIN RISET PENDAHULUAN

Kepada Yth.
 Bapak/Ibu Pimpinan
 Sibolangit Center
 Sibolangit Centre, Jalan Djamin Ginting No.56, Ketangkuhen, Sibolangit, Sikeben, Kec.
 Sibolangit, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara

Di Tempat

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan hormat, sehubungan mahasiswa kami akan menyelesaikan studi, untuk itu kami memohon kesediaan Bapak / Ibu untuk memberikan kesempatan pada mahasiswa kami melakukan riset di Perusahaan / Instansi yang Bapak / Ibu pimpin, guna untuk penyusunan skripsi yang merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Strata Satu (S-1)

Adapun Mahasiswa/i di Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tersebut adalah:

Nama : Afrida Hariani
 Npm : 2109020025
 Jurusan : Teknologi Informasi
 Semester : VIII (Delapan)
 Judul : IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA IOT MENGGUNAKAN METODE NORMALIZED PERFORMANCE INDIKATOR (NPI) DAN OPTIMASI TARGET PRODUKTIVITAS MENGGUNAKAN METODE DATAENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) PADA LAHAN HIDROPONIK MODERN

Email : afridahariani170@gmail.com
 Hp/Wa : 0895624209010

Demikianlah surat kami ini, atas perhatian dan kerjasama yang Bapak / Ibu berikan kami ucapkan terimakasih

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh



Cc:File



Dekan

Assob. Prof. Dr. Al-Khowarizmi, M.Kom.
 NIDN : 0127049201

5. Surat Balasan Penelitian di Syifa Hidroponik



SYIFA HIDROPONIK

TOKO PERALATAN DAN BAHAN-BAHAN PERTANIAN - PRODUK OLAHAN

Jl. Bromo Lr. Amal No. 11 Kel. Tegal Sari III

Kec. Medan Area Kota Medan Sumatera Utara – Indonesia

Telp. 08126011332

E-mail : r4d3n92@gmail.com

Medan, 18 Agustus 2025

Nomor : 25/SYH/VIII/2025

Lampiran : -

Hal : Izin Riset

Kepada Yth.

Bapak / Ibu Dekan Fakultas Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi

Jl. Mukhtar Basri No. 3 Medan

Dengan hormat,

Terkait Surat Pengantar No. 832/IL3-AU/UMSU-09/F/2025 Hal Izin Riset Pendahuluan di Syifa Hidroponik Medan dan selanjutnya akan melaksanakan kegiatan riset dengan judul :

IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA IOT MENGGUNAKAN METODE NORMALIZED PERFORMANCE INDIKATOR (NPI) DAN OPTIMASI TARGET PRODUKTIVITAS MENGGUNAKAN METODE DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) PADA LAHAN HIDROPONIK MODERN. dengan ini kami menerima/menyetujui untuk Riset dimaksud atas nama dibawah ini :

NO	NPM	MAHASISWA	Program Studi	Jurusan
1	2109020025	Afrida Hariani	Strata Satu	Teknologi Informasi

Demikian surat balasan ini kami sampaikan atas kerjasama yang baik kami ucapkan terimakasih .

Hormat kami,

Ir. Suardi Raden
Owner Syifa Farm

6. Surat Permohonan Penelitian di Sibolangit Center



SIBOLANGIT CENTRE REHABILITATION FOR DRUG ADDICT

Medan, 28 Agustus 2025

No. : 042/SC/VIII/2025
Hal : Balasan Surat Permohonan
Izin Penelitian -

Kepada Yth.
Dekan Fakultas Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Di -

Tempat-

Dengan hormat,

Sehubungan dengan Surat dari Fakultas Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara No. 832/II.3-AU/UMSU-09/F/2025 per tgl. 08 Agustus 2025 perihal Izin Riset Pendahuluan dengan Judul Penelitian "Implementasi Dan Evaluasi Kinerja IOT Menggunakan Metode Normalized Performance Indicator (NPI) Dan Optimasi Target Produktivitas Menggunakan Metode Data Envelopment Analysis (DEA) Pada Lahan Hidroponik Modern", dengan ini kami Pusat Rehabilitasi Sibolangit Centre memberi izin kepada nama yang tersebut di bawah ini untuk melaksanakan kegiatan tersebut di atas :

Hari/ Tanggal : Kamis/28 Agustus 2025
Nama : Afrida Hariani
NPM : 2109020025
Jurusan : Teknologi Informasi
Semester : VIII (Delapan)

Demikian surat ini kami perbuat, atas perhatian dan kerjasama yang baik, diucapkan terima kasih.

Pusat Rehabilitasi
SIBOLANGIT CENTRE



Dr. Zulkarnain Nasution, MA., ICAP.

Jl. Medan - Berastagi km. 45 Sibolangit, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara
Telp. (0628) 97391, (061) 4516338, Fax. (061) 4564794

7. Turnitin

Turnitin

ORIGINALITY REPORT

21 %	19 %	7 %	11 %
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.umsu.ac.id Internet Source	3 %
2	repository.potensi-utama.ac.id Internet Source	1 %
3	Submitted to Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Student Paper	1 %
4	repository.uinsu.ac.id Internet Source	1 %
5	e-journal.upp.ac.id Internet Source	1 %
6	Submitted to Universitas Negeri Jakarta Student Paper	1 %
7	docplayer.info Internet Source	1 %
8	jurnalelectron.org Internet Source	<1 %
9	Submitted to UIN Ar-Raniry Student Paper	<1 %
10	jurusan.tik.pnj.ac.id Internet Source	<1 %
11	ojs.trigunadharma.ac.id Internet Source	<1 %

8. Coding

```
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ThingSpeak.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>
#include "DHT.h"

// Pin Definitions
#define DHTPIN 4      // GPIO4 untuk DHT22
#define DHTTYPE DHT22
#define ONE_WIRE_BUS 5 // GPIO5 untuk DS18B20
#define TDS_PIN 34    // GPIO34 (ADC1_CH6) untuk TDS
#define PH_PIN 35     // GPIO35 (ADC1_CH7) untuk pH

// WiFi credentials
const char* ssid = "Pawat ganteng";
const char* password = "12345678";

// ThingSpeak settings
unsigned long myChannelNumber = 3019729; // Ganti dengan
Channel ID Anda
const char* myWriteAPIKey = "JGPYGZW9QGWNHAG4"; // Ganti
dengan Write API Key

// Sensor objects
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature waterTempSensor(&oneWire);
BH1750 lightMeter;

// Variables
float airTemp, airHumidity, waterTemp, lux, tdsValue, phValue;
unsigned long lastSendTime = 0;
const unsigned long sendInterval = 1000; // Kirim data setiap 1 detik

// Kalibrasi
const float PH_OFFSET = 0.0; // Sesuaikan dengan kalibrasi pH
const float TDS_OFFSET = 0.0; // Sesuaikan dengan kalibrasi TDS

WiFiClient client;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
```

```
// Inisialisasi sensor
dht.begin();
waterTempSensor.begin();
Wire.begin();
lightMeter.begin(BH1750::CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE);

// Koneksi WiFi
WiFi.begin(ssid, password);
Serial.print("Menghubungkan ke WiFi");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("\nWiFi terhubung");
Serial.println("Alamat IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

// Inisialisasi ThingSpeak
ThingSpeak.begin(client);
}

void loop() {
    if (millis() - lastSendTime > sendInterval) {
        if (readSensors()) { // Hanya lanjut jika pembacaan sensor valid
            sendToThingSpeak();
        }
        lastSendTime = millis();
    }
}

bool readSensors() {
    // Baca DHT22 (Suhu & Kelembaban Udara)
    airTemp = dht.readTemperature();
    airHumidity = dht.readHumidity();
    if (isnan(airTemp) || isnan(airHumidity)) {
        Serial.println("Gagal membaca DHT22!");
        return false;
    }

    // Baca DS18B20 (Suhu Air)
    waterTempSensor.requestTemperatures();
    waterTemp = waterTempSensor.getTempCByIndex(0);
    if (waterTemp == DEVICE_DISCONNECTED_C) {
        Serial.println("Gagal membaca suhu air!");
        return false;
    }
}
```

```

// Baca BH1750 (Intensitas Cahaya)
lux = lightMeter.readLightLevel();
if (lux < 0) {
    Serial.println("Gagal membaca sensor cahaya!");
    return false;
}

// Baca TDS (Rata-rata 10x pembacaan)
float tdsSum = 0;
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    int tdsAnalog = analogRead(TDS_PIN);
    float tdsVoltage = tdsAnalog * 3.3 / 4095.0;
    tdsSum += (133.42 * pow(tdsVoltage, 3) - 255.86 *
pow(tdsVoltage, 2) + 857.39 * tdsVoltage) * 0.5;
    delay(10);
}
tdsValue = tdsSum / 10 + TDS_OFFSET;

// Baca pH (Rata-rata 10x pembacaan)
float phSum = 0;
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    int phAnalog = analogRead(PH_PIN);
    float phVoltage = phAnalog * 3.3 / 4095.0;
    phSum += 7.0 + ((2.5 - phVoltage) / 0.18);
    delay(10);
}
phValue = phSum / 10 + PH_OFFSET;

// Tampilkan hasil di Serial Monitor
Serial.println("\n=== Pembacaan Sensor ===");
Serial.print("Suhu Udara: "); Serial.print(airTemp);
Serial.println(" °C");
Serial.print("Kelembaban: "); Serial.print(airHumidity);
Serial.println(" %");
Serial.print("Suhu Air: "); Serial.print(waterTemp);
Serial.println(" °C");
Serial.print("Cahaya: "); Serial.print(lux); Serial.println(" lx");
Serial.print("TDS: "); Serial.print(tdsValue); Serial.println(" ppm");
Serial.print("pH: "); Serial.print(phValue); Serial.println();

return true;
}

void sendToThingSpeak() {
    ThingSpeak.setField(1, airTemp);
    ThingSpeak.setField(2, airHumidity);

```

```
ThingSpeak.setField(3, waterTemp);
ThingSpeak.setField(4, lux);
ThingSpeak.setField(5, tdsValue);
ThingSpeak.setField(6, pHValue);

int status = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber,
myWriteAPIKey);

if (status == 200) {
    Serial.println("Data terkirim ke ThingSpeak!");
} else {
    Serial.println("Gagal mengirim data. Kode error: " + String(status));
}
}
```