

LAPORAN PROYEK AKHIR

SISTEM MONITORING NUTRISI NPK PADA TANAMAN BERBASIS IoT DENGAN ARDUINO CLOUD

Isyira Al Falah

NIM. 2120307011

Pembimbing

Heri Subagiyo, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI

TEKNOLOGI REKAYASA SISTEM ELEKTRONIKA

POLITEKNIK CALTEX RIAU

2025



LAPORAN PROYEK AKHIR

**SISTEM MONITORING NUTRISI NPK PADA TANAMAN
BERBASIS *IoT* DENGAN *ARDUINO CLOUD***

Isyira Al Falah

NIM. 2120307011

Pembimbing

Heri Subagiyo, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI

TEKNOLOGI REKAYASA SISTEM ELEKTRONIKA

POLITEKNIK CALTEX RIAU

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**SISTEM MONITORING NUTRISI NPK PADA TANAMAN
BERBASIS IoT DENGAN ARDUINO CLOUD**

ISYRA AL FALAH
NIM. 2120307011

Proyek Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di Politeknik Caltex Riau
Pekanbaru, 28 Juli 2025

Disetujui oleh:

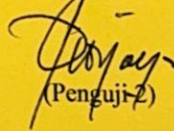
Heri Subagiyo, S.T., M.T.
NIP. 007508


(Pembimbing)

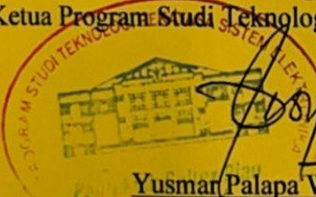
Retno Tri Wahyuni, S.T., M.T.
NIP. 068314


(Penguji 1)

Yusmar Palapa Wijaya, S.Si., M.T.
NIP. 027608


(Penguji 2)

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika




Yusmar Palapa Wijaya, S.Si., M.T.
NIP. 027608

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa proyek akhir saya yang berjudul “**Sistem Monitoring Nutrisi NPK pada Tanaman Berbasis IoT dengan Arduino Cloud**” merupakan hasil karya saya sendiri. Karya ini tidak mengandung karya ilmiah yang pernah diajukan di Perguruan Tinggi mana pun.

Seluruh isi tulisan ini bebas dari unsur plagiarisme dan tidak menyalin karya yang telah diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang telah dikutip secara tertulis dalam laporan penelitian ini serta dicantumkan dalam daftar pustaka. Saya bersedia menanggung segala konsekuensi apabila terbukti melakukan plagiarisme.

Pekanbaru, 6 Juli 2025

Isyira Al Falah

ABSTRAK

Pertanian merupakan sektor vital yang sangat dipengaruhi oleh kondisi unsur hara tanah. Ketidakseimbangan kadar nutrisi seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini merancang dan membangun sistem Monitoring Nutrisi NPK pada Tanaman Berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan integrasi Arduino Cloud. Sistem ini menggunakan sensor NPK RS485, RTC DS3231, dan LCD 16x2 I2C untuk menampilkan informasi secara langsung di lapangan, serta mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama. Data hasil pengukuran dikirimkan ke Arduino Cloud melalui koneksi Wi-Fi dan dapat dipantau secara *real-time* melalui *dashboard* web maupun aplikasi *mobile*. Pengujian dilakukan dengan variasi jenis pupuk (NPK, Urea, dan K₂O) dan dosis berbeda. Hasilnya menunjukkan adanya peningkatan kadar N, P, dan K sesuai karakteristik masing-masing pupuk: NPK meningkatkan ketiga unsur secara merata, Urea dominan meningkatkan Nitrogen, sedangkan K₂O dominan meningkatkan Kalium. Sistem mencatat rata-rata *latency* pengiriman data sebesar 2,8 detik, reliabilitas pengiriman 100%, serta konsumsi daya rendah sebesar 0,69 W ($\approx 0,495$ kWh/bulan). Dengan hasil tersebut, sistem dinilai layak digunakan sebagai alat bantu monitoring nutrisi tanaman secara akurat.

Kata Kunci : *Arduino Cloud, Internet of Things (IoT), Sensor NPK, Monitoring Nutrisi Pupuk*

ABSTRACT

Agriculture is a vital sector that is greatly influenced by soil nutrient conditions. An imbalance in nutrient levels such as Nitrogen (N), Phosphorus (P), and Potassium (K) can reduce both the quality and quantity of crop yields. To address this issue, this study designed and developed an Internet of Things (IoT)-based NPK Nutrient Monitoring System for plants, integrated with Arduino Cloud. The system utilizes an NPK RS485 sensor, an RTC DS3231, and a 16x2 I2C LCD to display real-time information in the field, with an ESP32 microcontroller serving as the main controller. Measurement data is transmitted to Arduino Cloud via a Wi-Fi connection and can be monitored in real time through a web dashboard or mobile application. Testing was conducted with variations in fertilizer types (NPK, Urea, and K₂O) and different dosages. The results showed an increase in N, P, and K levels according to the characteristics of each fertilizer: NPK increased all three elements evenly, Urea predominantly increased Nitrogen, while K₂O predominantly increased Potassium. The system recorded an average data transmission latency of 2.8 seconds, 100% transmission reliability, and low power consumption of 0.69 W ($\approx$ 0.495 kWh/month). Based on these results, the system is considered feasible as an accurate plant nutrient monitoring tool.

Keywords: *Arduino Cloud, Internet of Things (IoT), NPK Sensors, Plant Nutrient Monitoring*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan Syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan anugerah, petunjuk, dan kekuatan dalam menyelesaikan proyek akhir ini yang berjudul **“Sistem Monitoring Nutrisi NPK pada Tanaman Berbasis *IoT* dengan *Arduino Cloud*.”** tepat pada waktunya.

Proyek akhir ini disusun guna memiliki Sebagian persyaratan untuk menyelesaikan program Diploma 4 (D4) pada jurusan Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika di Politeknik Caltex Riau. Besar harapan penulis agar proyek akhir ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia, khususnya di Politeknik Caltex Riau.

Penulis menyadari bahwa hasil yang diperoleh masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas kekurangan tersebut. Dalam penulisan makalah ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada pihak-pihak yang membantu dalam menyelesaikan proyek akhir ini, yaitu :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan segala nikmat, Rahmat dan karuniaNya dalam menjalani proses pengerjaan tugas akhir dan penyusunan laporan akhir ini.
2. Bapak Dr. Dadang Syarif Sihabudin Sahid, S.Si,M.Sc. Selaku Direktur Politeknik Caltex Riau
3. Bapak Yusmar Palapa Wijaya, S.Si., M.T. dosen penguji Proyek Akhir dan Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika Politeknik Caltex Riau.
4. Ibu Retno Tri Wahyuni, S.T., M.T. Selaku dosen penguji Proyek Akhir ini yang telah bersedia memberikan kritik dan saran kepada penulis.
5. Bapak Heri Subagiyo, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing dalam Proyek Akhir ini yang telah bersedia memberikan kritik dan saran kepada penulis serta memberikan arahan dan nasehat.

6. Kedua orang tua dan keluarga besar yang tak henti hentinya memberikan doa, dukungan semangat dan motivasi kepada penulis.
7. Keluarga besar TRSE G21 yang telah memberikan semangat, saran dan masukan selama menyelesaikan proyek akhir ini.

Laporan ini telah dibuat sebaik-baiknya, akan tetapi penulis menyadari bahwa tulisan ini tidak luput dari kesalahan dan pembuatan laporan ini. Masih jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis meminta maaf, semoga karya penelitian tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan kebaikan bagi banyak pihak serta bernilai ibadah di hadapan Allah SWT, Amin

Batam, 6 Juli 2025

Isyira Al Falah

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat	4
1.6 Metodologi Penelitian	4
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Penelitian Terdahulu	7
2.2. Landasan Teori	9
BAB III	18
PERANCANGAN.....	18
3.1. Blok Diagram.....	18

3.2. Perancangan Sistem Elektronik.....	19
3.3. Flowchart	21
3.4. Perancangan <i>Use Case Diagram</i>	24
3.5. Metode Pengujian	24
BAB IV	29
PENGUJIAN DAN ANALISA	29
4.1. Pengujian Sensor Nutrisi NPK.....	29
4.2. Pengujian Konektivitas IoT dan Arduino Cloud	32
4.3. Pengujian Daya dan Konsumsi Energi	40
BAB V	43
PENUTUP.....	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 ESP32	10
Gambar 2.2 Sensor NPK	12
Gambar 2.3 OLED	15
Gambar 2.4 Arduiono Cloud	17
Gambar 2.5 ABS Black Box Enclosure.....	17
Gambar 3.1 Blok Diagram	18
Gambar 3.2 Rancangan Sistem Elektronik	20
Gambar 3.3 Flowchart.....	21
Gambar 3.4 Use Case Diagram	24
Gambar 4. 1 <i>Dashboard Arduino Cloud</i> pada <i>Website</i>	35
Gambar 4. 2 Panel <i>Date & Time</i>	35
Gambar 4. 3 Panel RSSI.....	36
Gambar 4. 4 Panel Gauge NPK.....	37
Gambar 4. 5 Panel Rentang Waktu	37
Gambar 4. 6 Panel Grafik NPK.....	38
Gambar 4. 7 Panel Zona Waktu UTC+70	39
Gambar 4. 8 <i>Dashboard Arduino Cloud Smartphone</i>	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Skema Koneksi.....	13
Tabel 3. 1 Gpio Pinout	20
Tabel 3. 2 Alat Bantu yang digunakan	27
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian NPK.....	30
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Konektivitas	33
Tabel 4. 3 Data Aktual Pengujian Daya	40
Tabel 4. 4 Data Asumsi Komponen.....	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian merupakan sektor yang memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan pangan dan menunjang perekonomian di berbagai negara, termasuk Indonesia. Sebagai negara beriklim tropis, Indonesia menghadapi berbagai tantangan dalam sektor pertanian, seperti perubahan cuaca yang tidak menentu, curah hujan tinggi, serta suhu yang bervariasi. Faktor-faktor ini dapat memengaruhi kondisi tanah, ketersediaan unsur hara, dan pertumbuhan tanaman, sehingga berpotensi menurunkan produktivitas pertanian. Selain itu, keterbatasan tenaga kerja, peningkatan biaya produksi, serta kurangnya pemahaman petani terhadap praktik pertanian modern menjadi kendala yang sering dihadapi dalam pengelolaan lahan pertanian.

Salah satu permasalahan utama dalam pertanian adalah penggunaan pupuk yang tidak sesuai dengan kebutuhan tanah. Ketidaktepatan dalam pemberian pupuk dapat menyebabkan ketidakseimbangan unsur hara, yang berdampak pada pertumbuhan tanaman yang tidak optimal, penurunan kualitas hasil panen, serta degradasi kesuburan tanah dalam jangka panjang. Penggunaan pupuk dan pestisida sintesis yang berlebihan juga dapat mencemari lingkungan dan merusak ekosistem tanah. Oleh karena itu, pemantauan kandungan unsur hara dalam tanah menjadi langkah penting untuk memastikan penggunaan pupuk yang lebih bijak dan efisien.

Unsur hara makro seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) merupakan elemen penting yang sangat dibutuhkan dalam pertumbuhan tanaman. Kekurangan atau kelebihan salah satu dari unsur hara ini dapat menghambat perkembangan tanaman, menyebabkan daun menguning, serta menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu memantau kondisi tanah secara real-time agar petani dapat mengetahui tingkat kesuburan tanah dengan lebih akurat dan dapat mengambil keputusan yang lebih tepat

dalam mengelola lahannya.

Seiring dengan perkembangan teknologi, pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem pertanian modern menjadi solusi yang dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Dengan adanya sistem pemantauan unsur hara berbasis IoT, petani dapat memperoleh data mengenai kondisi tanah secara langsung melalui perangkat yang terhubung dengan jaringan internet. Sistem ini memungkinkan pemantauan kadar NPK secara real-time, sehingga petani dapat melakukan tindakan korektif dengan cepat untuk menjaga kesuburan tanah. Dengan penerapan teknologi ini, diharapkan pertanian di Indonesia dapat berkembang lebih maju, produktivitas meningkat, serta kesejahteraan petani dapat lebih terjamin.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam proyek akhir ini akan dikembangkan sistem monitoring nutrisi NPK berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu memberikan data real-time kepada petani melalui platform Arduino Cloud. Sistem ini dirancang untuk mendukung pengambilan keputusan pemupukan yang lebih presisi dan efisien. Dalam pelaksanaannya, terdapat beberapa masalah teknis yang menjadi fokus penelitian dan pengembangan, yaitu:

- 1) Bagaimana merancang dan membangun sistem *embedded* berbasis mikrokontroler ESP32 yang mampu membaca nilai Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) menggunakan sensor NPK secara akurat dan efisien dalam penggunaan daya?
- 2) Bagaimana mengintegrasikan modul komunikasi Wi-Fi pada mikrokontroler untuk mengirimkan data sensor NPK secara *real-time* ke Arduino Cloud, sehingga informasi nutrisi tanah dapat dipantau secara daring?
- 3) Bagaimana menyusun arsitektur sistem elektronik, termasuk pengaturan pin GPIO dan pengolahan data, agar seluruh komponen seperti sensor NPK, RTCC, LCD, dan koneksi *cloud* dapat beroperasi secara sinkron dan stabil?

- 4) Bagaimana merancang antarmuka (*dashbord*) pada Arduino Cloud yang dapat menampilkan informasi kadar NPK secara visual, mudah dibaca, dan dapat digunakan oleh petani sebagai dasar pengambilan keputusan?
- 5) Bagaimana melakukan pengujian sistem untuk memastikan akurasi pembacaan sensor, kestabilan konektivitas *cloud*, dan efisiensi konsumsi daya dalam lingkungan nyata?

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

- 1) Penelitian ini berfokus pada sistem pemantauan unsur hara tanah berbasis IoT (*Internet of Things*) dengan efisiensi penggunaan pupuk, produktivitas, pertanian, dan kesuburan tanah, tanpa membahas dampak ekologis jangka panjang aspek sosial-ekonomi secara mendalam.
- 2) Sistem ini hanya akan mengumpulkan data unsur hara tanah tanpa mempertimbangkan faktor lain seperti kelembaban tanah, suhu udara, atau kondisi cuaca. Fokus utama adalah pada pemantauan dan pelaporan kondisi unsur hara tanah secara real-time, tanpa mengikutsertakan pengolahan data menggunakan kecerdasan buatan (AI) atau teknik prediksi lanjutan.

1.4 Tujuan

Tujuan dari proyek akhir ini adalah:

- 1) Mengembangkan sistem yang mampu mendeteksi dan memantau kadar Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) dalam tanah secara *real-time*.
- 2) Memberikan informasi akurat mengenai kebutuhan pupuk berdasarkan kandungan unsur hara tanah, sehingga petani dapat mengurangi penggunaan pupuk yang berlebihan.
- 3) Merancang sistem pemantauan yang sederhana dan mudah dioperasikan oleh petani tanpa memerlukan keahlian teknis yang kompleks

- 4) Membantu petani dalam mengelola kesuburan tanah dengan lebih efektif sehingga tanaman dapat tumbuh dengan optimal.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat pembuatan proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pengembangan sistem yang dapat mendeteksi dan memantau kadar Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) secara real time akan memberikan data yang akurat mengenai kondisi unsur hara tanah, yang sangat bermanfaat dalam pertanian dan presisi.
- 2) Informasi akurat mengenai kebutuhan pupuk akan membantu petani mengurangi penggunaan pupuk yang berlebihan, sehingga dapat menghemat biaya dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.
- 3) Sistem pemantauan yang sederhana dan mudah dioperasikan akan memudahkan petani dalam mengelola kesuburan tanah tanpa memerlukan keahlian teknis yang kompleks, sehingga teknologi ini dapat diadopsi secara luas.
- 4) Dengan bantuan sistem ini, petani dapat mengelola kesuburan tanah dengan lebih efektif, yang pada akhirnya akan meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas hasil panen.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

- 1) Pemantauan kadar NPK Pupuk serta pemantauan berbasis jarak.

Dalam penelitian ini penulis akan mempelajari literatur-literatur yang berhubungan dengan pemantauan unsur NPK serta metode pemantauan berbasis jarak.

2) Perancangan

Tahap ini penulis akan melakukan perancangan meliputi pembuatan diagram alur sistem, spesifikasi teknis perangkat keras (sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi data), serta desain sistem pemrograman yang akan digunakan untuk memproses dan mengirimkan data ke website.

3) Implementasi

Pada tahap ini akan dilakukan implementasi terhadap sistem yang sudah dirancang menggunakan Arduino Cloud dan ESP32 untuk menyimpan data dan antarmuka pengguna pada aplikasi untuk menampilkan informasi NPK secara *real-time*.

1) Pengambilan Data

Pengambilan data akan dilakukan di kota Batam. Pengambilan data akan diambil berdasarkan jarak, dengan alat menyimpan data setiap kali berpindah sejauh 10 meter (sesuai kebutuhan).

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan propoosal proyek akhir ini secara keseluruhan terdiri atas 5 bagian. Adapun pokok pembahasan dari masing-masing bagian tersebut secara garis besar sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini menguraakan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah dan ruang lingkup masalah, tujuan dan manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang dasar teori penunjang sebagai referensi dalam mengerjakan proyek akhir ini. Dasar teori ini dapat ditemukan melalui penelitian sebelumnya, dan juga berdasarkan buku-buku yang berhubungan dengan tugas akhir yang akan dibangun.

BAB III PERANCANGAN

Bab ini menjelaskan tentang perancangan sistem terdiri dari perancangan sistem yang akan dibangun.

BAB IV JADWAL DAN PERKIRAAN BIAYA

Bab ini berisi informasi mengenai jadwal pengerjaan proyek akhir dan perkiraan biaya yang dibutuhkan untuk pengerjaan proyek akhir.

BAB V PENUTUP

Bab terakhir berisi kesimpulan dari seluruh pembahasan dalam laporan ini serta saran-saran untuk perbaikan dan perkembangan lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Sebuah sistem monitoring pertanian urban berbasis hidroponik telah dikembangkan dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan energi mandiri. Sistem ini dilengkapi dengan berbagai sensor untuk memantau pH air, TDS, suhu, kelembaban, dan ketinggian air, yang dapat dikontrol baik secara otomatis maupun manual. Energi utama sistem berasal dari panel surya, sementara tampilan data dilakukan melalui *Human Machine Interface* (HMI) dan platform Grafana untuk visualisasi *real-time*. Dengan tingkat akurasi sensor mencapai lebih dari 98% dan waktu operasional hingga 16 jam per hari, sistem ini menawarkan solusi efisien dan berkelanjutan untuk mendukung pertanian hidroponik di lingkungan perkotaan (Fath *et al.*, 2025).

Dalam skripsi berjudul “Sistem Monitoring dan Kontrol Otomatis Kadar pH Air Serta Kandungan Nutrisi pada Budidaya Tanaman Hidroponik Menggunakan Blynk Android”, Salwa Audila Mahardika dari Universitas Muhammadiyah Surakarta, merancang sebuah sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau dan mengendalikan kadar pH serta kepekatan nutrisi (TDS) pada budidaya tanaman hidroponik. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memudahkan pemilik tanaman dalam memantau kondisi tanaman hidroponik secara berkala serta mengotomatisasi pemberian nutrisi dan cairan pengatur pH sesuai kebutuhan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Wemos D1 yang terhubung dengan sensor SEN0161 untuk mengukur pH air dan sensor SEN0244 untuk mengukur kepekatan nutrisi. Data yang diperoleh dari sensor dikirimkan melalui internet dan ditampilkan pada aplikasi Blynk di perangkat Android. Jika nilai pH atau TDS berada di luar batas yang telah ditentukan, sistem secara otomatis akan mengaktifkan pompa untuk menambahkan nutrisi atau cairan pengatur pH ke dalam media tanam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat berfungsi dengan

baik dalam memantau dalam pemeliharaan dan perawatan tanaman hidroponik secara efisien (Mahardika, 2021).

Dalam artikel “Sensor berbasis aplikasi nitrogen presisi meningkatkan produktivitas dan profitabilitas mustard (*Brassica juncea* L.)”. Penerapan sensor optik *GreenSeeker* untuk manajemen nitrogen presisi pada tanaman mustard. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk nitrogen dan hasil panen melalui aplikasi nitrogen berbasis sensor. Penelitian ini dilakukan selama musim rabi 2021-2023 dengan menggunakan desain blok acak teracak dalam tiga ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi nitrogen berbasis *GreenSeeker* secara signifikan meningkatkan semua parameter pertumbuhan dan hasil tanaman mustard dibandingkan dengan rekomendasi dosis pupuk standar dan kontrol. Peningkatan hasil biji, pengembalian moneter bersih, dan rasio manfaat-biaya masing masing sebesar 19,3% dan 64,5%, 125,1% dan 336,2% , serta 58,8% dan 24,4% dibandingkan dengan RDF dan kontrol. Selain itu, manajemen nitrogen *real-time* dengan *GreenSeeker* menghasilkan efisiensi produksi tanaman yang lebih tinggi dan biaya produksi per kilogram yang lebih rendah. Studi ini menunjukkan bahwa penggunaan sensor optik untuk manajemen nitrogen presisi dapat meningkatkan produktivitas dan profitabilitas tanaman mustard secara signifikan (Meena *et al.*, 2024).

Sistem monitoring tanaman hidroponik yang dikembangkan oleh Icha Widya Pratiwi menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) dengan mikrokontroler ESP32 WROOM-32U sebagai pusat kendali. Sistem ini dilengkapi dengan lima jenis sensor: DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, DS18B20 untuk suhu air, BH1750 untuk intensitas cahaya, TDS untuk mengukur jumlah partikel terlarut, dan pH4502C untuk tingkat keasaman air. Semua data dari sensor dikirim secara *real-time* ke Arduino IoT Cloud dan ditampilkan pada *dashboard* interaktif yang bisa diakses melalui aplikasi *Arduino Cloud Remote* di perangkat *mobile*. Implementasi sistem ini dilakukan pada kebun hidroponik Prodi Biologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh, dan hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu

memberikan akurasi pembacaan sensor yang tinggi, berkisar antara 94,91% hingga 99,51%. (Pratiwi, 2023).

Berdasarkan referensi-referensi tersebut, belum banyak dikembangkan sistem monitoring nutrisi NPK pada tanaman yang terintegrasi dengan platform *Internet of Things* (IoT) dan dapat digunakan secara *mobile* di lapangan. Oleh karena itu, melalui proyek akhir ini, penulis mengembangkan sebuah sistem monitoring berbasis IoT dengan integrasi Arduino Cloud untuk pemantauan kondisi nutrisi NPK pada tanaman. Sistem ini dirancang untuk mengukur kadar Nitrogen (N), Fosfor (F), dan Kalium (K) menggunakan sensor NPK yang terhubung ke mikrokontroler ESP32, dan hasil pengukurannya dikirim secara *real-time* ke Arduino Cloud. Data yang dikumpulkan akan disimpan dan ditampilkan melalui database berbasis web, sehingga memudahkan pengguna untuk memantau kondisi nutrisi tanaman secara langsung dan efektif.

2.2. Landasan Teori

Untuk menciptakan produk karya inovatif ini, penulis menggabungkan berbagai teknologi terkini untuk meningkatkan fungsionalitas dan kegunaan produk. Teknologi sensor terbaru digunakan untuk mengoptimalkan interaksi antara pengguna dan produk. Selain itu, teknologi pengembangan perangkat lunak terbaru membantu kami menciptakan produk yang stabil dan handal. Dengan teknologi teknologi ini, kami yakin produk kami dapat memberikan pengalaman yang luar biasa bagi pengguna.

2.2.1. ESP32

ESP32 adalah sebuah mikrokontroler berbasis SoC (*System on Chip*) yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, dirancang untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT) yang membutuhkan konektivitas nirkabel dan kemampuan pemrosesan tinggi. Mikrokontroler ini dilengkapi dengan prosesor *dual-core* Tensilica LX6 (atau *single-core* tergantung varian), kecepatan hingga 240 MHz, serta memori RAM yang cukup besar untuk

menangani berbagai proses simultan. Salah satu keunggulan utama ESP32 adalah adanya modul Wi-Fi dan *Bluetooth* bawaan, memungkinkan perangkat ini untuk terhubung ke jaringan internet maupun melakukan komunikasi jarak dekat tanpa tambahan modul eksternal. Selain itu, ESP32 juga menyediakan banyak pin input/output (I/O) digital dan analog, serta mendukung berbagai protokol komunikasi seperti UART, SPI, I2C, PWM, dan ADC, yang menjadikannya sangat fleksibel untuk berbagai proyek otomasi, monitoring, dan pengendalian perangkat elektronik. Karena fitur-fiturnya yang lengkap dan harga yang relatif terjangkau, ESP32 banyak digunakan dalam sistem monitoring lingkungan, *smart home*, *wearable device*, dan berbagai aplikasi berbasis sensor.



Gambar 2.1 ESP32

2.2.2. Sensor NPK

Sensor NPK adalah alat yang digunakan untuk mengukur kadar tiga unsur hara makro utama dalam tanah, yaitu Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Menurut penelitian yang dilakukan oleh tim dari Telkom University, sensor NPK Renke adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur kadar unsur hara makro dalam tanah, yaitu Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Sensor ini berfungsi untuk memberikan informasi tentang ketersediaan dan tingkat unsur hara tersebut di tanah, sehingga petani atau pihak lain yang bertanggung jawab dapat mengambil tindakan yang tepat dalam pemupukan dan

manajemen tanaman (Bobby, Hasibuan and Perdana, 2024).Ketiga unsur ini merupakan nutrisi penting yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh optimal. Fungsi dari masing-masing unsur berbeda, di mana nitrogen berperan dalam pertumbuhan vegetatif seperti daun dan batang, fosfor membantu pembentukan akar, bunga, dan buah, serta kalium berfungsi memperkuat ketahanan tanaman terhadap penyakit dan meningkatkan kualitas hasil panen.

Secara teknis, sensor NPK bekerja dengan mendeteksi konsentrasi unsur-unsur tersebut menggunakan berbagai pendekatan seperti konduktivitas listrik, spektroskopi optik, atau metode elektrokimia. Pada sistem berbasis konduktivitas, sensor membaca tingkat ion dalam larutan tanah yang mewakili kadar N, P, dan K. Dalam pendekatan optik, cahaya dipantulkan atau diserap oleh unsur tertentu untuk mengukur konsentrasinya. Sementara dalam metode elektrokimia, sensor menangkap sinyal reaksi kimia spesifik yang berkaitan dengan unsur yang diukur.

Penggunaan sensor NPK sangat membantu petani atau peneliti karena memungkinkan pengukuran langsung di lapangan (*on-site*) tanpa perlu menunggu hasil analisis laboratorium yang memakan waktu dan biaya. Data dari sensor ini memberikan informasi yang cepat dan akurat, sehingga keputusan mengenai pemupukan presisi bisa segera dilakukan. Hal ini sangat penting dalam praktik pertanian modern berbasis data (*precision agriculture*) yang mengutamakan efisiensi dan keberlanjutan.

Sensor NPK biasanya tidak bekerja sendirian. Untuk mendapatkan gambaran menyeluruh tentang kondisi tanah, sensor ini sering diintegrasikan dengan sensor lain seperti sensor pH, sensor kelembaban tanah, dan sensor suhu dalam satu sistem berbasis *Internet of Things* (IoT). Dengan begitu, data dari berbagai parameter lingkungan dapat dikumpulkan, dikirim secara *real-time* ke *cloud* atau server, dan dianalisis untuk memberikan rekomendasi yang akurat dalam pengelolaan lahan pertanian.

Dalam konteks sistem monitoring berbasis IoT, sensor NPK menjadi komponen penting yang memungkinkan proses pemupukan dilakukan secara otomatis atau semi-otomatis

berdasarkan data yang diperoleh, sehingga penggunaan pupuk bisa lebih efisien dan ramah lingkungan.



Gambar 2.2 Sensor NPK

Sensor NPK RS485 berfungsi untuk mengukur kadar unsur hara makro tanah, yaitu Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip perubahan sifat listrik tanah yang berkorelasi dengan kadar ion nutrisi, kemudian mengirimkan data melalui protokol komunikasi Modbus RTU.

Berikut adalah alur kerja sensor secara umum:

- 1) **Deteksi Kandungan Ion N, P, dan K**
Sensor mendeteksi kadar nutrisi berdasarkan perubahan sifat listrik tanah menggunakan metode seperti kapasitif, konduktivitas, atau elektrokimia. Parameter listrik ini mencerminkan konsentrasi ion N, P, dan K yang ada dalam tanah.
- 2) **Konversi ke Data Digital**
Hasil pengukuran oleh sensor dikonversi menjadi data digital 16-bit, dan disimpan dalam register internal sensor.
- 3) **Permintaan Data oleh Mikrokontroler**
Mikrokontroler (ESP32) mengirimkan perintah pembacaan data menggunakan protokol Modbus RTU melalui jalur komunikasi RS485. Perintah ini diarahkan ke alamat register yang sesuai untuk mengambil nilai N, P, dan K.

4) **Respon dari Sensor**

Sensor mengirimkan balasan berupa isi register (biasanya 3 register terpisah untuk Nitrogen, Fosfor, dan Kalium) ke mikrokontroler.

5) **Pemrosesan dan Pengiriman Data**

Mikrokontroler menerima dan mem-parsing data dari sensor, kemudian mengonversinya ke satuan yang sesuai jika dibutuhkan (misalnya skala mg/kg). Data ini kemudian ditampilkan ke layar LCD dan dikirim secara real-time ke Arduino IoT Cloud untuk pemantauan jarak jauh.

Untuk mengintegrasikan sensor NPK RS485 ke sistem monitoring berbasis ESP32, berikut ini adalah panduan teknis yang dapat diikuti mulai dari persiapan alat hingga logika kontrol data:

1) **Persiapkan Alat**

Perangkat yang dibutuhkan dalam sistem ini adalah:

- a) ESP32 sebagai mikrokontroler utama
- b) Sensor NPK RS485 (contoh: DFRobot SEN0605)
- c) Modul konverter RS485 to TTL (contoh: MAX485)
- d) Kabel jumper (male to male)
- e) (Opsional) LCD 16x2 I2C untuk tampilan lokal.

2) **Skema Koneksi**

Hubungkan perangkat sesuai tabel berikut:

Tabel 2. 1 Skema Koneksi

MAX485	ESP32
RO	RX2 (GPIO16)
DI	TX2 (GPIO17)
DE + RE	GPIO4
VCC	3.3V atau 5V (sesuai sensor)
GND	GND

3) Logika Kontrol Komunikasi

Sensor NPK menggunakan protokol komunikasi Modbus RTU. Karena hanya satu jalur data yang digunakan (half-duplex), maka perlu mengatur mode kirim/terima menggunakan pin DE dan RE:

DE + RE = HIGH → Mode Kirim (TX)

DE + RE = LOW → Mode Terima (RX)

Sensor NPK tipe RS485 dipilih dalam proyek ini karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan tipe sensor lain (seperti analog atau UART biasa). Protokol komunikasi RS485 Modbus RTU memungkinkan transfer data jarak jauh hingga 1.2 km tanpa penurunan kualitas sinyal, serta lebih tahan terhadap gangguan elektromagnetik di lingkungan terbuka seperti lahan pertanian. Selain itu, sensor RS485 mendukung komunikasi multi-drop sehingga memungkinkan penggunaan lebih dari satu sensor dalam satu jalur komunikasi. Sensor ini juga menawarkan akurasi yang tinggi dan sudah banyak digunakan dalam aplikasi pertanian presisi. Ditambah lagi, dengan format digital (Modbus), data yang dikirim sudah dalam bentuk siap olah, memudahkan integrasi dengan mikrokontroler seperti ESP32 dan platform IoT seperti Arduino Cloud. Karena alasan-alasan ini, sensor NPK RS485 menjadi pilihan yang optimal untuk kebutuhan pemantauan nutrisi tanah secara *real-time* dan efisien.

2.2.3. LCD 16X2 I2C

LCD 16X2 I2C adalah modul yang menggabungkan tampilan LCD 16X2 (16 kolom dan 2 baris) dengan protokol komunikasi I2C. LCD 16x2 adalah jenis tampilan (*display*) karakter yang dapat menampilkan 16 kolom dan 2 baris teks. Artinya, modul ini mampu menampilkan hingga 32 karakter sekaligus. LCD ini sangat umum digunakan dalam berbagai proyek elektronika dan mikrokontroler karena hemat daya, ringan, dan mudah digunakan.

Secara bawaan, LCD 16x2 menggunakan antarmuka paralel dengan 16 pin, yang memerlukan banyak jalur koneksi ke

mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32. Namun, untuk menyederhanakan sambungan dan menghemat pin pada mikrokontroler, digunakan modul tambahan I2C (*Inter-Integrated Circuit*).

Dengan modul I2C backpack, komunikasi antara LCD dan mikrokontroler hanya memerlukan dua pin saja, yaitu:

- a) SDA (Serial Data)
- b) SCL (Serial Clock)

Pin ini biasanya dihubungkan ke pin I2C standar pada mikrokontroler (misalnya: A4 dan A5 pada Arduino Uno, atau GPIO 21 dan 22 pada ESP32). Modul I2C juga dilengkapi dengan chip ekspander seperti PCF8574, yang mengonversi sinyal I2C menjadi sinyal paralel untuk LCD. Selain itu, terdapat potensiometer kecil di modul I2C untuk mengatur tingkat kecerahan (kontras) tampilan teks pada layar.



Gambar 2.3 OLED

2.2.4. *Internet of Things (IoT)*

Berdasarkan isi dari *FullBook Konsep dan Implementasi Internet of Things* (Adolph, 2016), *Internet of Things (IoT)* adalah jaringan dari objek fisik yang dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan konektivitas internet yang memungkinkan mereka untuk saling bertukar data dan berinteraksi secara otomatis. Tujuan utama dari IoT adalah untuk mengintegrasikan dunia fisik dan digital guna menciptakan sistem yang efisien, cerdas, dan responsif dalam berbagai bidang, seperti rumah

pintar, kota pintar, industri, pertanian, dan kesehatan. IoT memungkinkan pemantauan real-time, pengambilan keputusan berbasis data, serta pengendalian perangkat dari jarak jauh menggunakan koneksi internet.

2.2.5. Arduino IoT Cloud

Arduino IoT Cloud adalah platform yang memungkinkan pengguna untuk mengembangkan proyek IoT dengan mudah, memungkinkan penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan aplikasi Arduino IoT Cloud untuk memantau dan mengontrol kondisi tanah secara real-time (Hartawan *et al.*, 2023). Masih sama dengan produk modul mikrokontrolernya, Arduino IoT Cloud juga *open source* yang artinya dapat digunakan untuk berbagai hal dalam bidang IoT, mulai pembacaan suhu, tekanan, kelembapan, daya dan lain sebagainya layaknya menggunakan arduino. Dalam mendukung platform ini, arduino telah membuat *device* yang sudah terfasilitasi dengan internet, seperti Arduino MKR Wi-Fi 1010 atau Arduino Uno Wi-Fi. Platform ini memungkinkan perangkat berbasis arduino terhubung ke internet untuk mengirim, menyimpan, mengelola, dan memvisualisasikan data sensor secara *real-time*, serta memberikan kontrol jarak jauh terhadap perangkat yang digunakan. Fitur utama Aduino Cloud:

- 1) *Real-time* Data Monitoring
- 2) Kontrol Jarak Jauh
- 3) Dashboard visual yang mudah digunakan
- 4) Sinkronisasi dengan Arduino IDE dan IoT Remote APP
- 5) Manajemen perangkat dan variabel

Arduino Cloud adalah solusi IoT yang praktis dan efisien bagi pengembang sistem monitoring pertanian, karena menyederhanakan proses koneksi, pengolahan, dan tampilan data dari sensor ke pengguna akhir. Dengan Arduino Cloud, implementasi sistem monitoring berbasis IoT menjadi lebih mudah diakses, bahkan oleh pengguna non-teknis.



Gambar 2.4 Arduiono Cloud

2.2.6. *ABS Black Box Enclosure*

Black Box Enclosure berfungsi sebagai pelindung fisik bagi seluruh komponen elektronik sistem monitoring NPK, seperti mikrokontroler ESP32, sensor NPK RS485, modul konverter RS485–TTL, serta LCD 16x2 I2C. *Enclosure* ini dirancang untuk melindungi perangkat dari faktor lingkungan eksternal seperti debu, kelembapan, percikan air, dan paparan sinar matahari langsung yang umum terjadi di area pertanian.



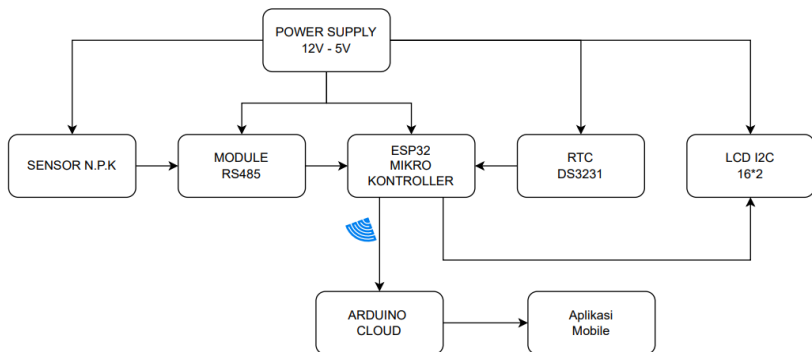
Gambar 2.5 *ABS Black Box Enclosure*

BAB III PERANCANGAN

Untuk membuat proyek akhir ini, penulis melaksanakan tahapan yang terstruktur dan terencana. Dengan melalui semua tahapan ini dengan teliti dan cermat, penulis yakin bahwa proyek ini dapat memenuhi harapan dan kebutuhan.

3.1. Blok Diagram

Pada perancangan suatu sistem membutuhkan blok diagram yang dapat menjelaskan kerja sistem secara keseluruhan agar sistem dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 3.1 Blok Diagram

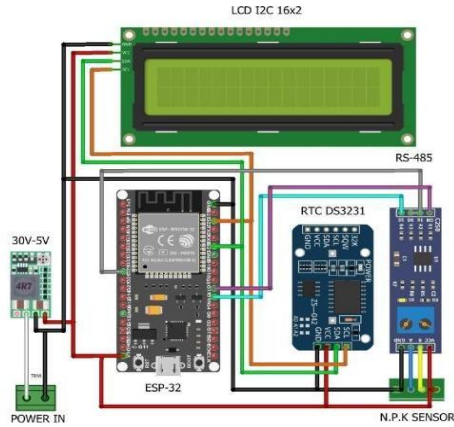
Gambar 3.1 menunjukkan alur sistem monitoring nutrisi NPK pada tanaman berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan integrasi ke Arduino Cloud. Sistem dimulai dari blok input, yang terdiri atas beberapa sensor utama, yaitu: sensor NPK untuk mendeteksi kadar Nitrogen, Fosfor, dan Kalium dalam tanah; sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman media tanam; serta sensor suhu dan kelembaban tanah untuk mengetahui kondisi lingkungan mikro.

Data dari semua sensor ini dikumpulkan oleh mikrokontroler ESP32, yang berperan sebagai pusat pengolah data. Mikrokontroler kemudian memproses dan menampilkan hasil pembacaan sementara pada LCD 16x2 I2C, dan secara bersamaan mengirimkan data melalui koneksi Wi-Fi ke Arduino IoT Cloud.

Setelah data terkirim ke cloud, pengguna dapat memantau informasi nutrisi tanah melalui dashboard web atau aplikasi mobile secara real-time. Di dalam sistem ini juga terdapat RTC (*Real Time Clock*) yang memastikan pencatatan data dilakukan dengan waktu yang akurat, dan modul *SD card* sebagai penyimpanan cadangan data lokal. Dengan alur ini, sistem tidak hanya memberikan pemantauan waktu nyata terhadap kondisi tanah, tetapi juga menyederhanakan akses dan pengambilan keputusan oleh petani melalui antarmuka digital yang *user-friendly*. Sistem ini dirancang agar efisien, akurat, dan mudah digunakan di lapangan.

3.2. Perancangan Sistem Elektronik

Untuk merealisasikan sistem monitoring nutrisi NPK berbasis IoT, Diperlukan rancangan sistem elektronik yang terstruktur dan efisien. Blok diagram berikut menunjukkan hubungan antar komponen utama yang digunakan dalam sistem.

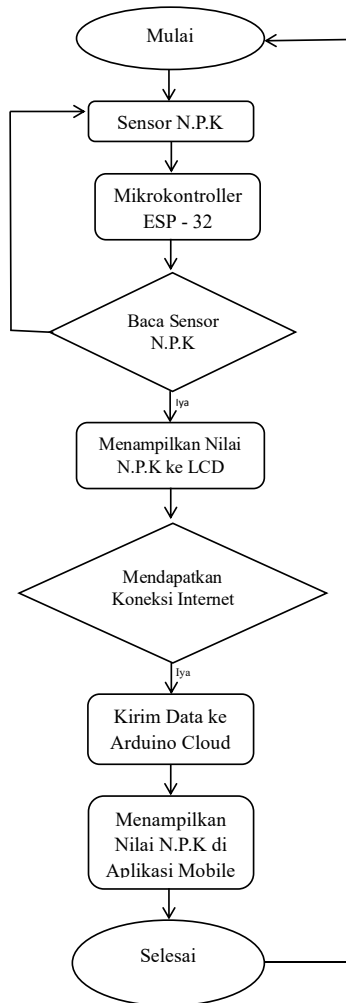


Gambar 3.2 Rancangan Sistem Elektronik

Tabel 3. 1 GPIO PINOUT

ESP-32 TYPE-B	RS-485 MODBUS	DS- 3231 RTC	LCD 16*2 I2C	30-5VDC STEP DOWN	N.P.K SENSOOR
5V	VCC	VCC	VCC	OUT+	+
GND	GND	GND	GND	OUT-	-
25	DE/RE				
16	RI				
17	DO				
	A				A
	B				B
21		SDA	SDA		
22		SCL	SCL		

3.3. Flowchart



Gambar 3.3 Flowchart

Dari flowchart diatas dapat kita ketahui bahwa proses kerja dari Sistem Monitoring Nutrisi NPK pada Tanaman Berbasis IoT dengan Arduino Cloud adalah sebagai berikut:

- 1) Mulai.
- 2) Inisialisasi Sensor NPK dan Mikrokontroler ESP32.
- 3) Membaca data dari sensor NPK.
- 4) Memeriksa apakah data sensor berhasil dibaca, seperti:
 - a. Jika Tidak, ulangi proses pembacaan sensor.
 - b. Jika Ya, lanjutkan ke langkah berikutnya.
- 5) Tampilkan nilai NPK ke LCD.
- 6) Memeriksa apakah perangkat mendapatkan koneksi internet, seperti:
 - a. Jika Tidak, kembali ke proses menampilkan data ke LCD.
 - b. Jika Ya, lanjutkan ke langkah berikutnya.
- 7) Kirim data ke NPK ke Arduino Cloud.
- 8) Tampilkan nilai NPK dari Cloud ke aplikasi mobile.
- 9) Selesai.

Berikut ini disajikan contoh implementasi program pada mikrokontroler ESP32 yang merepresentasikan proses utama dalam sistem, yaitu: membaca data dari sensor, menampilkan data ke LCD, dan mengirimkan data ke Arduino Cloud. Program ini ditulis menggunakan bahasa pemrograman Arduino C++ dan dirancang agar dapat dijalankan secara kontinu untuk mendukung pemantauan nutrisi NPK secara real-time. Implementasi kode ini menggambarkan bagaimana sistem bekerja secara aktual sesuai dengan alur rancangan pada diagram sebelumnya.

```
#include <ModbusMaster.h>
#include <WiFi.h>
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <NTPClient.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <PubSubClient.h>
```

```

// Pin untuk RS485
#define RS485_DE_RE_PIN 25
#define RS485_RO_PIN 17
#define RS485_DI_PIN 16
// Konfigurasi Wi-Fi
const char* ssid = "KOWI";
const char* password = "kremit201";
// Konfigurasi MQTT
const char* mqttServer = "tools.ewon";
// Server MQTT Anda
const int mqttPort = 1883;
const char* mqttTopic = "npk/data/sensor";
// Baca data NPK dari sensor
uint16_t nitrogen = 0, phosphorus = 0, potassium
= 0;
    readNPK(nitrogen, phosphorus, potassium);
    // Baca kekuatan sinyal Wi-Fi (RSSI)
    int rssi = WiFi.RSSI();
    Serial.print("RSSI Wi-Fi: ");
    Serial.print(rssi);
    Serial.println(" dBm");
    // Tampilkan data ke Serial Monitor
        Serial.println("Nitrogen:      "      +
String(nitrogen) + " mg/kg");
        Serial.println("Phosphorus:     "     +
String(phosphorus) + " mg/kg");
        Serial.println("Potassium:      "      +
String(potassium) + " mg/kg");
    // Simpan data untuk ditampilkan di LCD
    lcdData[0] = "Waktu: " + timestamp;
    lcdData[1] = "Nitrogen: " + String(nitrogen)
+ " mg/kg";
    lcdData[2] = "Phosphorus:  "      +
String(phosphorus) + " mg/kg";
    lcdData[3] = "Potassium:    "      +
String(potassium) + " mg/kg";
    lcdData[4] = "RSSI Wi-Fi: " + String(rssi) +
" dBm";
    // Kirim data ke MQTT
    if (!mqttClient.connected()) {
        connectMQTT();
    }

```

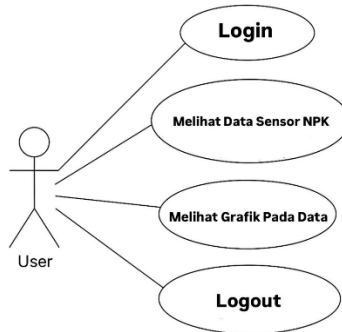
```

        char payload[100];
        sprintf(payload, "{\"timestamp\": \"%s\",
        \\\nitrogen\\\": %d, \\\nphosphorus\\\": %d,
        \\\npotassium\\\": %d, \\\nrssi\\\": %d}\",
        timestamp.c_str(), nitrogen,
        phosphorus, potassium, rssi);
        mqttClient.publish(mqttTopic, payload);
    }}

```

3.4. Perancangan *Use Case Diagram*

Perancangan *use case* diagram berdasarkan kebutuhan sistem adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 *Use Case Diagram*

Dari *use case* tersebut dapat dilihat bahwa user memiliki beberapa aktivitas terhadap sistem, diantaranya adalah *user* bisa melakukan login, proses data, visualisasi data, serta melihat grafik pada data yang ada.

3.5. Metode Pengujian

Untuk memastikan sistem yang dirancang dapat berfungsi dengan baik dan memberikan hasil yang akurat, dilakukan serangkaian metode pengujian yang meliputi pengujian sensor Nutrisi NPK, Pengujian Konektivitas IoT dan Arduino Cloud, Pengujian Antarmuka Dashboard Arduino Cloud.

3.5.1. Pengujian Sensor Nutrisi NPK

Pengujian sensor nutrisi NPK bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan kadar unsur hara utama dalam tanah, yaitu Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K), akibat penambahan pupuk. Metode pengujian dilakukan dengan membandingkan data pembacaan sensor sebelum dan sesudah aplikasi pupuk, guna menilai sensitivitas dan respons sensor terhadap perubahan konsentrasi nutrisi.

Langkah pertama adalah mengambil 10 sampel tanah dari beberapa titik lahan yang belum dipupuk. Setiap sampel diuji menggunakan sensor NPK berbasis mikrokontroler, dan hasil pembacaan awal dicatat sebagai nilai dasar (baseline).

Selanjutnya, dilakukan pemberian pupuk dengan variasi jenis:

- a) Pupuk NPK: mengandung Nitrogen, Fosfor, dan Kalium dengan perbandingan tertentu.
- b) Pupuk Urea: kaya Nitrogen ($\pm 46\%$ N).
- c) Pupuk K_2O (Kalium Oksida): mengandung Kalium tinggi ($\pm 60\%$ K_2O setara $\pm 50\%$ K).

Masing-masing jenis pupuk dilarutkan dalam 500 ml air untuk memudahkan pencampuran dan distribusi nutrisi. Larutan tersebut dituangkan merata ke dalam sampel tanah sesuai dengan dosis.

Kemudian pembacaan ulang dilakukan menggunakan sensor NPK yang sama, dan data hasil pembacaan dicatat.

Analisis dilakukan dengan membandingkan kadar N, P, dan K sebelum dan sesudah pemupukan. Misalnya:

- a) Penambahan NPK menunjukkan peningkatan signifikan pada semua unsur N, P, dan K.
- b) Penambahan Urea hanya menunjukkan kenaikan signifikan pada unsur N.
- c) Penambahan K_2O hanya menunjukkan kenaikan signifikan pada unsur K.

Alat bantu pengujian meliputi: sensor NPK berbasis mikrokontroler, alat ukur takaran pupuk, gelas ukur, wadah tanah, pupuk NPK, pupuk Urea, pupuk K₂O, air, dan media tanah yang telah dikondisikan.

Hasil pengujian ini digunakan untuk menilai kepekaan dan konsistensi sensor dalam mendeteksi perubahan kadar nutrisi akibat intervensi pemupukan, sebagai dasar dalam implementasi sistem monitoring berbasis IoT.

3.5.2. Pengujian Konektivitas IoT dan Arduino Cloud

Pengujian konektivitas IoT dan Arduino Cloud bertujuan untuk menilai kestabilan dan kecepatan transmisi data dari mikrokontroler ke *platform* Arduino Cloud. Pengujian dimulai dengan menyalakan sistem monitoring, di mana sensor secara otomatis membaca data kadar nutrisi NPK pada tanah. Data hasil pembacaan tersebut kemudian dikirimkan ke *platform* Arduino Cloud melalui koneksi Wi-Fi. Untuk mengukur performa konektivitas, dilakukan pencatatan waktu delay (*latency*), yaitu selisih waktu antara pembacaan data oleh sensor hingga data tersebut muncul pada *dashboard* Arduino Cloud. Parameter utama yang diamati meliputi waktu keterlambatan (*latency*) dalam satuan detik dan persentase keberhasilan pengiriman data ke *cloud*. Hasil dari pengujian ini akan memberikan gambaran mengenai keandalan sistem dalam mengirimkan data secara *real-time* dan terus-menerus tanpa gangguan.

Alat bantu (*Tools*) yang digunakan:

Tabel ini berisi daftar perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam pembuatan serta pengujian sistem, mulai dari mikrokontroler, sensor, hingga platform untuk pemrograman dan visualisasi data.

Tabel 3. 2 Alat Bantu yang Digunakan

No	Alat/Tool	Fungsi
1.	Arduino IoT Cloud Dashboard	Memantau data <i>real-time</i> yang dikirim dari ESP32.
2.	Serial Monitor (Arduino IDE/WEB/Editor)	Melihat log koneksi Wi-Fi, status upload data, dan debugging.
3.	Stopwatch/Timer	Mengukur delay waktu kirim data.
4.	Wi-Fi Router/Hotspot	Sebagai jaringan internet untuk ESP32.

3.5.3. Pengujian Antarmuka Dashboard Arduino Cloud

Pengujian antarmuka *dashboard* Arduino Cloud dilakukan dengan tujuan untuk menilai tingkat kemudahan dan kejelasan tampilan sistem bagi pengguna akhir, khususnya petani atau pengguna awam. Langkah adalah melakukan pengamatan langsung terhadap tampilan *dashboard*, mencakup visualisasi data kadar nutrisi NPK, penggunaan grafik, warna indikator, serta susunan menu atau fitur yang tersedia. Parameter yang diamati meliputi seberapa jelas data dapat dibaca, seberapa mudah pengguna memahami arti dari warna indikator (misalnya hijau untuk normal, merah untuk bahaya), serta kenyamanan mengoperasikan sistem. Hasil dari pengujian ini menjadi tolok ukur penting dalam menentukan sejauh mana sistem dapat digunakan secara praktis oleh pengguna dari berbagai latar belakang, serta apakah antarmuka perlu disederhanakan atau ditingkatkan.

3.5.4. Pengujian Daya dan Konsumsi Energi

Pengujian daya dan konsumsi energi bertujuan untuk mengetahui seberapa lama sistem monitoring NPK dapat beroperasi menggunakan sumber daya portabel seperti power bank atau baterai. Pengujian ini dilakukan dengan

menyambungkan sistem ke sumber daya tersebut, kemudian menyalakan perangkat hingga sistem berjalan secara penuh dalam kondisi normal. Selama pengujian, dicatat waktu operasional total sejak perangkat dinyalakan hingga daya benar-benar habis atau sistem tidak lagi berfungsi. Selain itu, dilakukan pengukuran konsumsi arus rata-rata menggunakan multimeter digital untuk mengetahui seberapa besar energi yang digunakan oleh sistem dalam satuan *miliampere* (mA). Data yang diperoleh dari pengujian ini akan memberikan gambaran tentang efisiensi konsumsi daya sistem dan ketahanan operasionalnya di lapangan, terutama saat digunakan dalam kondisi tanpa sumber listrik tetap. Hasil ini juga menjadi pertimbangan penting dalam merancang sistem penyimpanan energi yang sesuai untuk penggunaan jangka panjang di area pertanian.

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1. Pengujian Sensor Nutrisi NPK

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam membaca kadar unsur hara Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) dalam tanah. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor sebelum dan sesudah pemberian pupuk pada 10 jenis tanah pada tanaman dengan perlakuan yang berbeda, serta melakukan pengujian menggunakan takaran pupuk yang berbeda-beda sehingga hasil dari pengujian akan bervariasi.

4.1.1 Hasil Pengujian

Tabel pengujian NPK menyajikan hasil pengujian sensor NPK yang dilakukan sebanyak lima kali untuk masing-masing dari 10 sampel pupuk berbeda, yaitu NPK, Urea, dan K_2O , yang telah dilarutkan dalam 500 mL air dengan variasi takaran pupuk, kemudian didiamkan selama ± 30 menit. Setelah seluruh data diperoleh, dilakukan perhitungan nilai rata-rata dari hasil pengujian tersebut.

Bagian program:

```
uint8_t result =  
node.readHoldingRegisters(0x0004, 3);  
if (result == node.ku8MBSuccess) {  
    N = node.getResponseBuffer(0);  
    P = node.getResponseBuffer(1);  
    K = node.getResponseBuffer(2);  
  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("N:"); lcd.print(N);  
    lcd.print(" P:"); lcd.print(P);  
  
    lcd.setCursor(0, 1);
```

```

lcd.print("K:"); lcd.print(K);
} else {
  Serial.print("Gagal baca data, kode error: ");
  Serial.println(result);
}

```

Penjelasan:

- Baris ini membaca data kadar N, P, dan K dari sensor NPK RS485 menggunakan Modbus.
- Hasilnya disimpan ke variabel N, P, K dan ditampilkan di LCD.
- Bagian ini adalah inti pengujian fungsi sensor: apakah sensor berhasil membalas dan data terbaca.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian NPK

Sampel Tanah	Pemberian Pupuk	Sebelum			Sesudah		
		N	P	K	N	P	K
1	NPK 50 mL	0	11	3	90,6	254,8	249
2	NPK 40 mL	0	23,4	15,4	25,2	104,6	97,6
3	NPK 30 mL	0	32	24,6	26,2	108,6	101,2
4	NPK 10 mL	0	25	17	20	92,8	85,2
5	Urea 50 mL	7,2	6,3	55,6	57,4	178,2	171,4
6	Urea 30 mL	0	32,8	24,8	61,6	188,6	181,8
7	Urea 20 mL	1,2	49	41,8	18	88,4	81,4
8	K ₂ O 40 mL	0	28,4	20,4	26,2	104,6	97,6
9	K ₂ O 20 mL	0	11,6	3,6	0	35,4	27,6
10	K ₂ O 10 mL	0	15,6	7,6	1,8	50,6	43,4

Analisa: Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.1, terlihat bahwa pemberian pupuk NPK, Urea, dan K_2O memberikan respon peningkatan kadar Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) yang terdeteksi oleh sensor NPK RS485. Pada perlakuan pupuk NPK, ketiga unsur hara meningkat secara signifikan, terutama pada dosis 50 mL yang menunjukkan kenaikan drastis pada N (+90,6 mg/kg), P (+243,8 mg/kg), dan K (+246,0 mg/kg). Hal ini sesuai dengan komposisi pupuk NPK yang memang mengandung ketiga unsur tersebut (Kim & Park, 2024).

Namun, pada perlakuan pupuk Urea yang secara teori seharusnya hanya meningkatkan kadar N, hasil pengukuran menunjukkan adanya kenaikan yang signifikan juga pada P dan K. Misalnya, pemberian Urea 30 mL menghasilkan kenaikan N sebesar +61,6 mg/kg, namun P dan K juga naik masing-masing +155,8 mg/kg dan +157,0 mg/kg. Fenomena ini dapat dijelaskan secara ilmiah sebagai akibat dari sifat pengukuran sensor NPK berbasis konduktivitas listrik (Electrical Conductivity/EC), di mana penambahan ion dari pupuk Urea dapat meningkatkan pembacaan keseluruhan unsur karena cross-sensitivity (Mirzakhani et al., 2022; eldeeb et al., 2023). Selain itu, reaksi hidrolisis urea dalam tanah meningkatkan pH dan memicu pelepasan ion fosfat (PO_4^{3-}) dan kalium (K^+) yang sebelumnya terikat di koloid tanah (Mazur et al., 2022).

Perlakuan pupuk K_2O juga menunjukkan pola yang serupa, di mana selain meningkatkan K, terdapat kenaikan pada N dan P. Misalnya, pada pemberian K_2O 40 mL, kadar K naik +77,2 mg/kg, tetapi N dan P juga meningkat masing-masing +26,2 mg/kg dan +76,2 mg/kg. Hal ini kemungkinan terjadi akibat pertukaran kation (cation exchange), di mana ion K^+ menggantikan ion ammonium (NH_4^+) atau fosfat yang terikat pada kompleks pertukaran tanah, sehingga ikut terlepas ke larutan tanah dan terbaca oleh sensor (Mazur et al., 2022).

Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa meskipun sensor mampu mendeteksi perubahan kadar N, P, dan K setelah pemupukan, data yang dihasilkan tidak selalu linear dengan dosis pupuk dan tidak spesifik terhadap satu unsur saja. Faktor-faktor yang mempengaruhi antara lain sifat pengukuran sensor berbasis EC (Mirzakaninafchi et al., 2022), reaksi kimia tanah seperti pertukaran kation dan pelepasan fosfat akibat perubahan pH (Mazur et al., 2022), serta kondisi fisik tanah seperti kelembapan dan tekstur (Kim & Park, 2024).

hasil pengujian menunjukkan bahwa tanaman 3 dengan dosis pupuk NPK 30 mL mengalami kenaikan yang lebih besar daripada tanaman 2 dengan dosis pupuk NPK 40 mL, meskipun dosisnya lebih rendah. Hal ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor: pertama, fenomena saturasi sensor berbasis EC di mana pada dosis tertentu, peningkatan ion terlarut tidak sebanding dengan dosis tambahan, atau bahkan menurun karena pengaruh redaman atau inhibisi sensor (Pengukuran EC jenuh). Kedua, peningkatan dosis NPK di atas kisaran optimum (misalnya 40 mL) bisa menimbulkan peningkatan kadar garam (salt effect) yang justru menurunkan efisiensi pelepasan ion yang responsif terhadap sensor, atau mengaktifkan reaksi ikatan kembali (retention) oleh partikel tanah. Ketiga, kondisi teknis seperti distribusi larutan yang lebih merata pada dosis 30 mL dibanding 40 mL, sehingga permukaan kontak pupuk tanah lebih optimal dan memberikan respons sensor yang lebih baik (Motasim et al., 2024).

4.2. Pengujian Konektivitas IoT dan Arduino Cloud

Pengujian konektivitas dilakukan untuk memastikan bahwa sistem monitoring NPK dapat mengirimkan data dari ESP32 ke Arduino Cloud dengan baik. Pengujian dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- 1) *Latency* (delay waktu pengiriman).
- 2) Stabilitas atau reliabilitas data.

4.2.1 Pengujian Latency (Delay Waktu Pengiriman)

Tujuan pengujian ini Adalah untuk mengukur selisih waktu antara saat data terbaca di ESP32 hingga data tampil di dashboard Arduino Cloud dengan metode sebagai berikut:

- 1) Menampilkan timestamp pada data yang dikirim ke Arduino Cloud.
- 2) Mencatat waktu data muncul di dashboard.
- 3) Menghitung selisih waktu (detik) antara pembacaan data dan muncul di dashboard.
- 4) Ulangi beberapa kali selama periode pengujian (± 2 menit), lalu hitung rata-ratanya.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Konektivitas

Timestamp Dashboard	RSSI (dBm)	Latency (detik)	Keterangan
2025-08-05T09:56:11	-88	2	Sinyal lemah
2025-08-05T09:58:26	-82	2	Sinyal sedikit lebih baik
2025-08-05T10:00:10	-90	3	Sinyal sangat lemah
2025-08-05T10:02:14	-90	3	Sinyal sangat lemah
2025-08-05T10:04:13	-91	4	Sinyal sangat lemah
Rata-rata <i>latency</i> : 2.80 detik.			

Analisa: Berdasarkan hasil pengujian, nilai latency rata-rata yang diperoleh adalah 2,8 detik. Artinya, diperlukan waktu sekitar 2,8 detik sejak data dibaca oleh sensor dan dikirim oleh mikrokontroler ESP32 hingga data tersebut muncul pada dashboard Arduino Cloud. RSSI yang rendah (di bawah -85 dBm) cenderung menghasilkan *latency* yang lebih tinggi. Saat RSSI membaik menjadi -82 dBm, *latency* menjadi lebih rendah.

4.2.2 Pengujian Stabilitas/Reliabilitas Data

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase data yang berhasil terkirim ke Arduino Cloud dibandingkan jumlah data yang dibaca oleh ESP32 dengan metode sebagai berikut:

- 1) Menghitung jumlah data yang dibaca di ESP32 dalam periode pengujian (misalnya 2 menit).
- 2) Menghitung jumlah data yang muncul di *dashboard* Arduino Cloud.
- 3) Menggunakan rumus Reliabilitas;

$$Reliabilitas = \frac{\text{Data Terkirim}}{\text{Data Dibaca}} \times 100\%$$

Data dibaca (ESP23)	= 5
Data muncul di dashboard	= 5
Reliabilitas (%)	= 100

Analisa: Selama periode uji, semua data berhasil terkirim sehingga reliabilitas pengiriman mencapai 100%. Namun, kestabilan sinyal tetap perlu dijaga agar kondisi ini konsisten pada pengujian lapangan yang lebih lama.

4.2.3 Pengujian Antarmuka Dashboard Arduino Cloud

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memastikan bahwa data hasil pembacaan sensor NPK (Nitrogen, Fosfor, Kalium), sinyal Wi-Fi (RSSI), serta waktu pengambilan data dapat ditampilkan dengan benar pada dashboar Arduino IoT Cloud baik di web maupun aplikasi Android. Selain itu, pengujian juga memverifikasi kesesuaian tampilan antara data di perangkat dengan data yang ditampilkan di *dashboard* secara *real-time* dengan metode sebagai berikut:

- 1) Menjalankan program yang membaca sensor dan mengirimkan data ke Arduino IoT cloud.
- 2) Mengamati tampilan *widget* pada *dashboard* di web dan Android.
- 3) Membandingkan nilai LCD local dengan nilai yang muncul di *dashboard*.



Gambar 4. 1 *Dashboard Arduino Cloud pada Website*



Gambar 4. 2 Panel *Date & Time*

Bagian untuk melihat tanggal dan waktu pengambilan data
Panel “Date & Time”

- a) Menampilkan waktu dan tanggal pembacaan sensor secara real-time.

- b) Format yang digunakan adalah ISO 8601 (YYYY-MM-DDTHH:MM:SS).
- c) Sinkronisasi waktu ini berguna untuk mengetahui kapan data diambil dan untuk analisis historis.



Gambar 4. 3 Panel RSSI

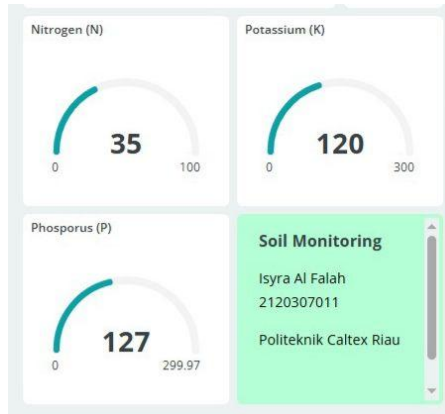
Panel “RSSI (dBm)”

RSSI (Received Signal Strength Indicator) menunjukkan kekuatan sinyal Wi-Fi dari perangkat ESP32 ke router.

Satuan dBm:

- a) 0 sampai -50 dBm → Sinyal sangat kuat
- b) -51 sampai -70 dBm → Sinyal baik
- c) -71 sampai -90 dBm → Sinyal lemah

Pada gambar, nilai -26 dBm artinya koneksi sangat kuat dan stabil.



Gambar 4. 4 Panel Gauge NPK

Gauge Nitrogen (N)

- Menampilkan kadar Nitrogen (N) dalam tanah, biasanya dalam mg/kg atau ppm.
- Kisaran skala diatur dari 0 sampai 100 untuk mempermudah pembacaan.
- Nilai saat itu adalah 35, berarti Nitrogen tergolong rendah-sedang.

Gauge Kalium (K)

- Menampilkan kadar Kalium (K) dalam tanah.
- Skala 0 sampai 300 (mg/kg atau ppm).
- Nilai pada gambar adalah 120, yang bisa dikategorikan sedang.

Gauge Fosfor (P)

- Menampilkan kadar Fosfor (P) dalam tanah.
- Skala 0 sampai ± 300 (mg/kg atau ppm).
- Nilai pada gambar 127, kategori sedang.



Gambar 4. 5 Panel Rentang Waktu

Rentang Waktu (7D, 1D, 1H, LIVE)

Mengatur periode data yang ditampilkan pada grafik:

- a) 7D → Data 7 hari terakhir
- b) 1D → Data 1 hari terakhir
- c) 1H → Data 1 jam terakhir
- d) LIVE → Data terbaru secara langsung



Gambar 4. 6 Panel Grafik NPK

Menampilkan tren rata-rata (AVG) Nitrogen, Fosfor, dan Kalium dari waktu ke waktu.

- a) Sumbu X → Waktu pengambilan data (UTC+07).
- b) Sumbu Y kiri → Nilai rata-rata pembacaan sensor NPK (114–144).
- c) Sumbu Y kanan → Skala alternatif (32.4–38.4) yang otomatis dibuat oleh Arduino Cloud.

Warna garis:

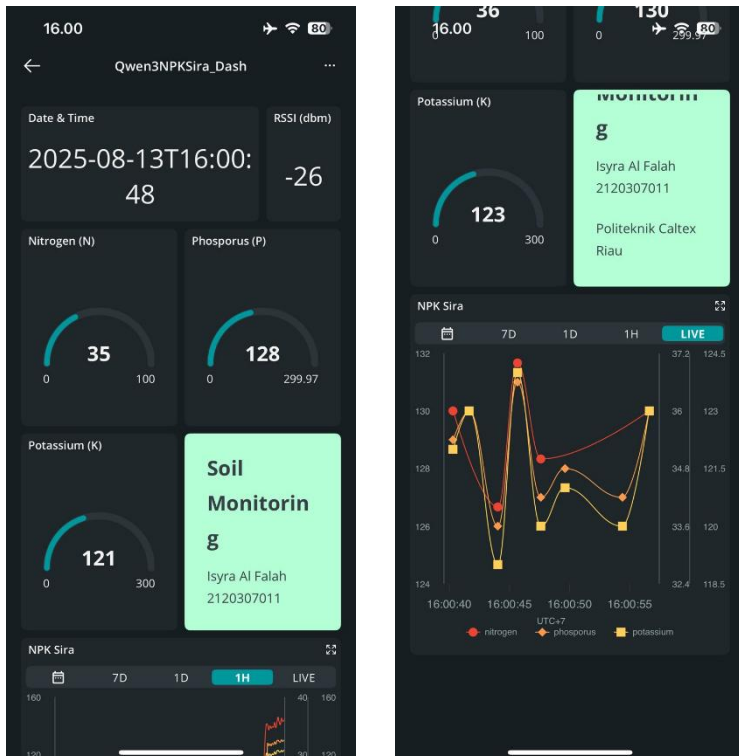
- a) Merah → Nitrogen
- b) Oranye → Fosfor
- c) Kuning → Kalium

Memiliki fluktuasi karena pembacaan sensor dilakukan real-time.



Gambar 4. 7 Panel Zona Waktu UTC+70

- Menunjukkan waktu pengukuran dalam format jam:menit:detik.
- Satuan waktu diatur pada zona waktu UTC+07.



Gambar 4. 8 Dashboard Arduino Cloud Smartphone

Analisa: Pada pengujian antarmuka *dashboard* Arduino IoT Cloud:

- Data N, P, dan K berhasil muncul di dashboard secara *real-time* setelah dikirim dari ESP32.

- 2) Perubahan nilai yang terbaca oleh sensor dapat langsung terlihat di dashboard tanpa perlu refresh manual.
- 3) *Widget Value* memberikan tampilan angka aktual yang mudah dibaca.
- 4) *Widget Chart* menampilkan tren perubahan kadar NPK dari waktu ke waktu, sehingga memudahkan pemantauan kondisi tanah.

4.3. Pengujian Daya dan Konsumsi Energi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya konsumsi daya sistem monitoring NPK, serta memperkirakan kebutuhan energi harian dan bulanan saat sistem beroperasi penuh. Pengujian dilakukan secara teoritis dengan mengacu pada data konsumsi arus masing-masing komponen yang diperoleh dari *datasheet* serta pengukuran arus rata-rata pada sistem. Metode ini digunakan karena keterbatasan peralatan ukur langsung yang presisi untuk pemantauan jangka panjang.

4.3.1. Metode Pengujian

Pengujian daya dilakukan secara teoritis berdasarkan asumsi data konsumsi arus komponen utama sistem yang diperoleh dari *datasheet* dan referensi umum. Metode ini dipakai karena keterbatasan alat ukur. Langkah pengujian meliputi pencatatan tegangan suplai, asumsi arus rata-rata tiap komponen, perhitungan daya, dan estimasi konsumsi energi harian serta bulanan.

Tabel 4. 3 Data Aktual Pengujian Daya

	V	A	W
Idle (Wi-Fi on)	5,15	0,13	0,66
Baca Sensor	5,15	0,13	0,77
Upload Cloud	5,15	0,13	0,66
Rata-rata	5,15	0,13	0,69

Energi Perhari

$$= 0,69 \times 24 \text{ Jam}$$

$$= 16,5 \text{ Wh}$$

$$\begin{aligned}\text{Energi Perbulan} &= 15,5 \text{ Wh} \times 30 \text{ Hari} \\ &= 0,495 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Tabel 4. 4 Data Asumsi Komponen

Komponen	Tegangan (V)	Arus (mA)	Catatan
ESP32 (WiFi aktif, upload data)	5	160	Dari datasheet ESP32
Sensor NPK RS485	5	100	Dari datasheet sensor NPK (max power 0.5W - 24V)
LCD 16x2 I2C (backlight ON)	5	20	Asumsi datasheet LCD

4.3.2. Perhitungan Daya dan Estimasi Konsumsi Energi

1) Perhitungan Daya

a. Total arus rata-rata saat sistem aktif:

$$\begin{aligned}160 \text{ mA (ESP32)} + 100 \text{ mA (sensor)} + 20 \text{ mA (LCD)} \\ = 280 \text{ mA} \\ = 0.28 \text{ A}\end{aligned}$$

b) Total daya sistem:

$$P = V \times I = 5V \times 0.28A = 1.4 \text{ W}$$

2) Estimasi Konsumsi Perhari

a) Energi per hari:

$$E = P \times t = 1.4 \text{ W} \times 24 \text{ jam} = 33.6 \text{ Wh}$$

b) Energi per bulan (30 hari):

$$33.6 \text{ Wh} \times 30 = 1008 \text{ Wh} \approx 1.008 \text{ kWh}$$

Analisa: Berdasarkan hasil pengujian aktual, sistem menunjukkan konsumsi daya rata-rata sebesar 0.69 W, dengan estimasi konsumsi energi harian sekitar 16.5 Wh dan konsumsi bulanan sebesar 0.495 kWh. Nilai ini lebih rendah dibandingkan estimasi teoritis berdasarkan data datasheet, yang memperkirakan

daya sebesar 1.4 W, energi harian 33.6 Wh, dan bulanan 1.008 kWh.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Sesuai hasil pengujian yang telah dipaparkan, adapun kesimpulannya yakni:

- 1) Sistem monitoring nutrisi NPK berbasis IoT berhasil dibuat menggunakan sensor NPK RS485, mikrokontroler ESP32, dan Arduino Cloud. Sistem mampu membaca kadar Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) secara *real-time* dan menampilkannya melalui LCD 16x2 serta *dashboard* Arduino Cloud.
- 2) Sensor NPK RS485 terbukti responsif dalam mendeteksi perubahan kadar unsur hara tanah setelah penambahan pupuk, dengan hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi yang sesuai dengan perlakuan.
- 3) Konektivitas IoT berjalan stabil dengan rata-rata *latency* 2,8 detik dan reliabilitas pengiriman data 100% selama pengujian, menunjukkan sistem mampu mengirim data secara konsisten.
- 4) Antarmuka *dashboard* Arduino Cloud mudah digunakan dan mampu menampilkan data NPK secara jelas baik dalam bentuk angka maupun grafik tren, memudahkan pemantauan oleh petani.
- 5) Konsumsi daya sistem relatif rendah (1,4 W) dengan estimasi kebutuhan energi bulanan sekitar 1,008 kWh, sehingga memungkinkan penggunaan dengan sumber daya portabel di lapangan.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis bagi penelitian berikutnya yakni:

- 1) Menambahkan sensor kelembaban tanah, suhu, dan pH untuk memberikan informasi lingkungan yang lebih lengkap.
- 2) Mengembangkan otomatisasi pemupukan berbasis data NPK yang terdeteksi sehingga sistem dapat langsung melakukan tindakan korektif.
- 3) Mengintegrasikan kecerdasan buatan (AI) untuk menganalisis pola data dan merekomendasikan dosis pupuk yang presisi.
- 4) Mengembangkan aplikasi *mobile* khusus agar petani dapat memantau data tanpa harus mengakses browser.
- 5) Melakukan uji lapangan skala besar dan jangka panjang di berbagai kondisi tanah dan iklim untuk mengukur keandalan sistem secara menyeluruh.
- 6) Mendesain *casing* tahan air dan debu agar perangkat dapat dipasang permanen di lahan pertanian terbuka.

DAFTAR PUSTAKA

- Adolph, R. (2016) *Konsep dan Implementasi Internet of Things*.
 Bobby, S., Hasibuan, F.C. and Perdana, D. (2024) “Pengembangan Sistem Sensor Pengukuran Unsur Hara pada Tanah”, 11(3), pp. 1911–1916.
- Eldeeb, M. A., Dhamu, V. N., Paul, A., Mathukumar, S., & Prasad, S. (2023). Electrochemical Soil Nitrate Sensor for In Situ Real-Time Monitoring. *Micromachines*.
- Fath, Y. Al *et al.* (2025) ‘Sistem Monitoring Real-Time pada Pertanian Urban Mandiri Energi Terintegrasi Internet of Things (IoT)’, 14(1), pp. 52–60.
- Hartawan, L. *et al.* (2023) ‘Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Arduino IoT Cloud di Lahan Pertanian’, *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(1), pp. 93–100. Available at: <https://doi.org/10.26760/rekakarya.v2i1.93-100>.
- Kim, H. N., & Park, J. H. (2024). Monitoring of soil EC for the prediction of soil nutrient regime under different soil water and organic matter contents. *The Korean Society for Applied Biological Chemistry*.
- Mahardika, S.A. (2021) *Sistem Monitoring dan kontrol otomatis kadar pH air serta kandungan nutrisi pada teknik budidaya tanaman hidroponik menggunakan BLYNK Android*.
 Meena, V. *et al.* (2024) ‘Sensor based precise nitrogen application augmented productivity and profitability of mustard (Brassica juncea L.)’, *PLOS ONE*, 19(6), p. e0304206. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304206>.
- Mazur, P., Gozdowski, D., & Gront, E. W. (2022). Soil Electrical Conductivity and Satellite-Derived Vegetation Indices for Evaluation of Phosphorus, Potassium and Magnesium Content, pH, and Delineation of Within-Field Management Zones. *agriculture*.
- Mirzakhaninafchi, H., Mani, I., Hasan, M., Nafchi, A. M., Parray, R. A., & Kumar, D. (2022). Development of Prediction

- Models for Soil Nitrogen Management Based on Electrical Conductivity and Moisture Content. *Sensors*.
- Motasim, A. M., Samsuri, A. W., Nabayi, A., Akter, A., Haque, M. A., Sukor, A. S., & Adibah, A. M. (2024). Urea application in soil: processes, losses, and alternatives—a review. *Discover Agriculture*.
- Pratiwi, I.W. (2023) *Implementasi IOT Untuk Monitoring Tanaman Hidroponik (Studi Kasus Prodi Biologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh)*. Available at: [https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/35291/%0Ahttps://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/35291/1/Icha Widya Pratiwi, 190705072, FST, TI.pdf](https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/35291/%0Ahttps://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/35291/1/Icha%20Widya%20Pratiwi,190705072,FST,TI.pdf).

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengambilan Data Sensor NPK



Tanaman 1,2,3

Sebelum Pemupukan Tanaman 1			
N	P	K	Jam
0	14	6	20.27
0	14	6	20.29
0	10	2	20.31
0	9	1	20.33
0	8	0	20.35
0	11	3	
Setelah Pemupukan Tanaman 1			
N	P	K	Jam
92	258	252	22.01
91	256	250	22.03
92	255	249	22.05
89	254	248	22.07
89	251	246	22.09
90.6	254.8	249	

Sebelum Pemupukan Tanaman 2			
N	P	K	Jam
0	21	13	20.38
0	22	14	20.29
0	24	16	20.31
0	24	16	20.33
0	26	18	20.35
0	23.4	15.4	
Setelah Pemupukan Tanaman 2			
N	P	K	Jam
26	106	99	22.14
25	104	97	22.17
24	103	96	22.20
25	104	97	22.22
26	106	99	
25.2	104.6	97.6	

Sebelum Pemupukan Tanaman 3			
N	P	K	Jam
0	31	24	21.46
0	32	25	20.29
0	32	25	20.31
0	32	24	20.33
0	33	25	20.35
0	32	24.6	
Setelah Pemupukan Tanaman 3			
N	P	K	Jam
26	108	101	22.30
26	110	103	22.32
27	109	101	22.34
26	107	99	22.36
26	109	102	
26.2	108.6	101.2	



Tanaman 4,5,6

Sebelum Pemupukan Tanaman 4			
N	P	K	Jam
0	25	17	09.17
0	25	17	09.19
0	25	17	09.21
0	25	17	09.23
0	25	17	09.25
0	25	17	
Setelah Pemupukan Tanaman 4			
N	P	K	Jam
19	91	83	09.56
19	91	83	09.58
21	94	87	10.00
21	95	88	10.02
20	93	85	10.04
20	92.8	85.2	

Sebelum Pemupukan Tanaman 5			
N	P	K	Jam
9	67	61	19.30
8	64	56	19.32
7	62	55	19.34
6	61	54	19.36
6	60	52	19.38
7.2	63	55.6	
Setelah Pemupukan Tanaman 5			
N	P	K	Jam
58	181	174	20.09
56	177	170	20.11
59	178	171	20.13
55	173	167	20.15

Sebelum Pemupukan Tanaman 6			
N	P	K	Jam
0	40	32	17.40
0	40	32	17.42
0	30	22	17.44
0	27	19	17.46
0	27	19	17.48
0	32.8	24.8	
Setelah Pemupukan Tanaman 6			
N	P	K	Jam
69	206	199	18.01
67	201	195	18.03
58	180	173	18.05
57	178	171	18.07
57	178	171	18.09
61.6	188.6	181.8	
59	182	175	20.17
57.4	178.2	171.4	



Tanaman 7

Sebelum Pemupukan Tanaman 7			
N	P	K	Jam
1	49	41	12.09
1	49	42	12.11
2	50	43	12.13
1	48	41	12.15
1	49	42	12.17
1.2	49	41.8	
Setelah Pemupukan Tanaman 7			
N	P	K	Jam
18	89	82	12.30
18	89	82	12.32
18	88	81	12.34
18	89	82	12.36
18	87	80	12.38
18	88.4	81.4	



Tanaman 8

Sebelum Pemupukan Tanaman 8			
N	P	K	Jam
0	27	19	14.45
0	29	21	14.47
0	29	21	14.49
0	29	21	14.51
0	28	20	14.53
0	28.4	20.4	
Setelah Pemupukan Tanaman 8			
N	P	K	Jam
26	106	99	15.18
25	105	98	15.20
25	105	98	15.22
25	103	96	15.24
25	104	97	15.26
26.2	104.6	97.6	



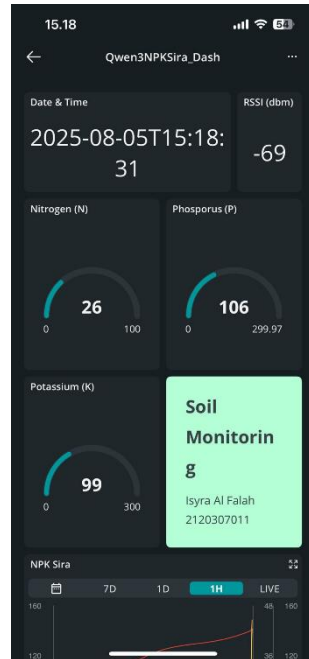
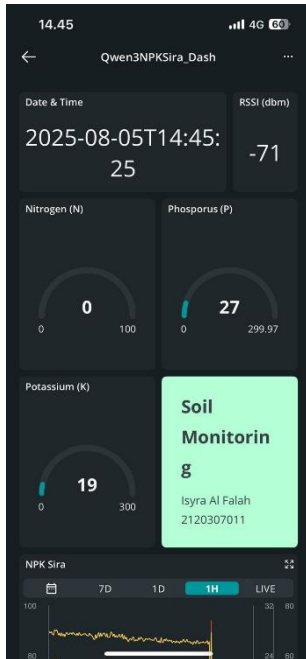
Tanaman 9

Sebelum Pemupukan Tanaman 9			
N	P	K	Jam
0	11	3	20.30
0	11	3	20.32
0	12	4	20.34
0	12	4	20.36
0	12	4	20.38
0	11.6	3.6	
Setelah Pemupukan Tanaman 9			
N	P	K	Jam
0	36	28	20.50
0	36	28	20.52
0	35	28	20.54
0	35	27	20.56
0	35	27	20.58
0	35.4	27.6	



Tanaman 10

Sebelum Pemupukan Tanaman 10			
N	P	K	Jam
0	15	7	14.27
0	15	7	14.29
0	15	7	14.31
0	16	8	14.33
0	17	9	14.35
0	15.6	7.6	
Setelah Pemupukan Tanaman 10			
N	P	K	Jam
1	50	42	14.46
2	50	43	14.48
2	52	45	14.50
2	51	44	14.52
2	50	43	14.54
1.8	50.6	43.4	



Tampilan dashboard ketika sebelum dan sesudah pemupukan

Lampiran 2 Uji Konektivitas

```

Program RSSI
// --- RSSI ---
int rssi = 0; // Variabel untuk menyimpan nilai
kekuatan sinyal WiFi (RSSI)

// === Di bagian fungsi setup(), saat WiFi
berhasil terkoneksi ===
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    Serial.println(" CONNECTED");
    Serial.print("[WIFI] IP Address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());

    // --- RSSI Handling ---
    rssi = WiFi.RSSI(); // Baca nilai RSSI

```

```

    Serial.print("[WIFI] RSSI: ");
    Serial.print(rssi);
    Serial.println(" dBm");

    ::rssi = rssi; // Sinkronisasi nilai RSSI ke
    Arduino Cloud
    ArduinoCloud.update(); // Kirim data ke Cloud
    showRSSIOnLCD(); // Tampilkan di LCD
    // --- End RSSI Handling ---
}

// === Di bagian loop(), update berkala ===
if (current_time - last_wifi_check >=
WIFI_RETRY_INTERVAL) {
    rssi = WiFi.RSSI(); // Baca RSSI ulang
    Serial.print("[WIFI] RSSI: ");
    Serial.print(rssi);
    Serial.println(" dBm");

    ::rssi = rssi;
    ArduinoCloud.update();
    last_wifi_check = current_time; // Reset timer
}

// === Di bagian reconnect WiFi ===
rssi = WiFi.RSSI(); // Baca RSSI setelah
reconnect
Serial.print("[WIFI] RSSI: ");
Serial.print(rssi);
Serial.println(" dBm");

::rssi = rssi;
ArduinoCloud.update();
showRSSIOnLCD(); // Tampilkan ulang
// --- End RSSI Handling ---

// === Fungsi untuk menampilkan nilai RSSI ke
LCD ===
void showRSSIOnLCD() {
    if (isI2CDeviceAvailable(LCD_I2C_ADDR)) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
    }
}

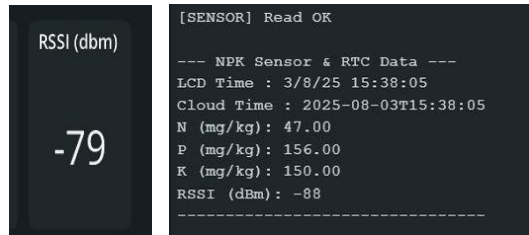
```

```

lcd.print("RSSI:");
lcd.print(rssi);
lcd.print("dBm");

lcd.setCursor(0, 1);
printPadded(rtc_lcd_time,          16);          //
Menampilkan waktu (RTC)
    }
}

```



Tampilan RSSI pada Arduino Cloud & Serial Monitor RSSI

Lampiran 3 Uji Daya dan Konsumsi Energi



Lampiran 4 Program Keseluruhan

```

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"
#include <Arduino_MKRIoTCarrier.h>
MKRIoTCarrier carrier;
RTC_DS3231 rtc;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

```

```

String inputString = "";
boolean stringComplete = false;
unsigned long lastUpdateTime = 0;
const unsigned long updateInterval = 3000;
int nitrogen = 0;
int phosphorus = 0;
int potassium = 0;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Wire.begin();
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    rtc.begin();
    carrier.begin();
    inputString.reserve(200);
}
void loop() {
    if (millis() - lastUpdateTime >=
updateInterval) {
        lastUpdateTime = millis();
        requestNPK();
    }
    if (stringComplete) {
        parseSensorData(inputString);
        stringComplete = false;
        inputString = "";
    }
    displayOnLCD();
    sendToCloud();
}
void requestNPK() {
    uint8_t requestData[] = {0x01, 0x03, 0x00,
0x00, 0x00, 0x03, 0x05, 0xCB};
    Serial.write(requestData,
sizeof(requestData));
}
void serialEvent() {
    while (Serial.available()) {
        char inChar = (char)Serial.read();
        inputString += inChar;
        if (inputString.length() >= 11) {
            stringComplete = true;

```

```

    }
}

void parseSensorData(String data) {
    if (data.length() >= 11) {
        nitrogen = (uint8_t)data[3] << 8 |
(uint8_t)data[4];
        phosphorus = (uint8_t)data[5] << 8 |
(uint8_t)data[6];
        potassium = (uint8_t)data[7] << 8 |
(uint8_t)data[8];
    }
}

void displayOnLCD() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("N:");
    lcd.print(nitrogen);
    lcd.print(" P:");
    lcd.print(phosphorus);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("K:");
    lcd.print(kalium);
    delay(1000);
}

void sendToCloud() {
    carrier.DateTime = rtc.now();
    carrier.RSSI = WiFi.RSSI();
    carrier.Nitrogen = nitrogen;
    carrier.Phosphorus = phosphorus;
    carrier.Potassium = potassium;}

```

Lampiran 5 Program Penghubung Variabel Lokal Arduino ke Variabel Cloud di Arduino IoT Cloud

```

// Code generated by Arduino IoT Cloud, DO
NOT EDIT.
#include <ArduinoIoTCloud.h>
#include <Arduino_ConnectionHandler.h>
const char DEVICE_LOGIN_NAME[] =
"xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx"; // diganti dengan
milikmu

```

```

        const char SSID[]      = "xxxxxxxx";    //
nama WiFi
        const char PASS[]      = "xxxxxxxx";    //
password WiFi
        void onNitrogenValChange();
        void onPhosphorusValChange();
        void onPotassiumValChange();
        CloudString dateTime;
        CloudInt nitrogenVal;
        CloudInt phosphorusVal;
        CloudInt potassiumVal;
        CloudInt rssi;
        void initProperties(){
            ArduinoCloud.setThingId("xxxxxxxx-xxxx-
xxxx-xxxx-xxxxxxxxxxxxxx"); // ganti dengan Thing
ID kamu
            ArduinoCloud.addProperty(dateTime, READ,
ON_CHANGE, NULL);
            ArduinoCloud.addProperty(nitrogenVal,
READ, ON_CHANGE, onNitrogenValChange);
            ArduinoCloud.addProperty(phosphorusVal,
READ, ON_CHANGE, onPhosphorusValChange);
            ArduinoCloud.addProperty(potassiumVal,
READ, ON_CHANGE, onPotassiumValChange);
            ArduinoCloud.addProperty(rssi,      READ,
ON_CHANGE, NULL);
        }
        WiFiConnectionHandler
        ArduinoIoTPreferredConnection(SSID, PASS);

```