

# Perancangan Sistem Pengukur Kadar Air Biji Jagung Menggunakan Sensor Kelembaban Berbasis *Internet of Things*

Tiara Dwi Nazra

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

Email: [tiaracantika430@gmail.com](mailto:tiaracantika430@gmail.com)

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pengukur kadar air biji jagung berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan sensor kelembaban kapasitif dan mikrokontroler ESP32. Permasalahan utama yang diangkat adalah keterbatasan metode pengukuran kadar air di tingkat petani yang masih bersifat subjektif serta mahalnya alat ukur digital yang tersedia di pasaran. Kadar air merupakan parameter penting dalam menentukan mutu dan daya simpan jagung, dengan batas maksimum 14% sesuai standar SNI.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah System Development Life Cycle (SDLC) model Prototyping, yang memungkinkan pengembangan sistem secara iteratif melalui tahapan komunikasi, perancangan cepat, pembangunan prototipe, evaluasi, dan perbaikan. Sensor kapasitif digunakan untuk mendeteksi perubahan konstanta dielektrik biji jagung yang berkorelasi dengan kadar air, kemudian dikalibrasi menggunakan metode regresi linear ( $Y = aX + b$ ) untuk menghasilkan nilai kadar air dalam persen (%). Data hasil pengukuran ditampilkan secara real-time pada LCD dan dikirim ke dashboard berbasis web menggunakan koneksi Wi-Fi.

Hasil penelitian diharapkan berupa prototipe alat ukur kadar air jagung yang portabel, ekonomis, dan memiliki tingkat akurasi yang baik dengan error kurang dari 5%. Sistem ini juga mampu memberikan informasi status mutu jagung (Aman, Waspada, Bahaya) serta menyimpan data historis untuk monitoring. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat membantu petani dalam pengambilan keputusan pasca panen serta menjadi referensi dalam pengembangan teknologi pertanian berbasis IoT di masa depan.

Kata kunci: IoT, ESP32, Sensor Kapasitif, Kadar Air Jagung, Regresi Linear, SDLC Prototyping.

## ABSTRACT

*This research aims to design and build an Internet of Things (IoT)-based corn grain moisture measurement system using a capacitive moisture sensor and an ESP32 microcontroller. The main issues raised are the limitations of subjective moisture measurement methods at the farmer level, as well as the high cost of commercially available digital measuring instruments. Moisture content is an important parameter in determining the quality and shelf life of corn, with a maximum limit of 14% according to Indonesian National Standards (SNI).*

*The method used in this research is the System Development Life Cycle (SDLC) Prototyping model, which allows for iterative system development through the stages of communication, rapid design, prototype development, evaluation, and improvement. A capacitive sensor is used to detect changes in the dielectric constant of frozen corn grains with moisture content. It is then calibrated using a linear*

*regression method ( $Y = aX + b$ ) to produce a moisture content value in percent (%). Measurement data is displayed in real time on an LCD and sent to a web-based dashboard using a Wi-Fi connection.*

*The expected research outcome is a prototype corn moisture meter that is portable, economical, and has a high level of accuracy with an error of less than 5%. This system is also capable of providing information on corn quality status (Safe, Alert, Dangerous) and storing historical data for monitoring. Thus, this research is expected to assist farmers in making post-harvest decisions and serve as a reference for the development of future IoT-based agricultural technologies.*

*Keywords: IoT, ESP32, capacitive sensor, corn moisture content, linear regression, SDLC Prototyping.*

## PENDAHULUAN

Jagung (*Zea mays* L.) memegang peranan strategis dalam ekosistem pertanian Indonesia, tidak hanya sebagai komoditas pangan utama kedua setelah padi, tetapi juga sebagai bahan baku fundamental bagi industri pakan ternak. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan industri, jaminan kualitas pasca panen menjadi tuntutan mutlak. Namun, penanganan pasca panen sering kali menjadi titik terlemah dalam rantai pasok agribisnis jagung nasional. Parameter paling kritis yang menentukan mutu, daya simpan, dan nilai ekonomi biji jagung adalah kadar air. Kegagalan pengelolaan kadar air dapat berakibat fatal, mulai dari penurunan harga jual yang drastis hingga risiko kontaminasi racun yang membahayakan kesehatan. (Pamungkas et al., 2025)

Berdasarkan Badan Standar Nasional Indonesia (SNI) 8926:2020 menetapkan bahwa kadar air maksimal untuk jagung mutu premium adalah 14%. Ambang batas ini merupakan titik kritis biologis, kadar air di atas 14% memicu aktivitas air (water activity) yang mendukung pertumbuhan jamur *Aspergillus flavus* penghasil aflatoksin. Aflatoksin bersifat karsinogenik dan menjadi penyebab utama penolakan jagung petani oleh industri pakan ternak. Data lapangan menunjukkan bahwa keterlambatan penanganan pada kadar air di atas 15% selama lebih dari empat minggu dapat menyebabkan kerusakan total stok. Oleh karena itu, kemampuan memantau kadar air secara akurat dan real-time adalah keharusan ekonomi.

Sayangnya, terdapat kesenjangan teknologi yang lebar di tingkat petani. Praktik pengukuran kadar air masih didominasi metode konvensional subjektif, seperti mengunyah biji. Sementara itu, terdapat dua metode pengukuran standar yang digunakan industri: (1) Grain Moisture Meter (alat digital probe tusuk) yang bekerja dengan memasukkan probe ke dalam biji jagung untuk mengukur resistansi atau kapasitansi, menghasilkan pembacaan kadar air digital dalam waktu singkat (2-5 detik), dengan akurasi  $\pm 1-3\%$  tergantung jenis sensor; dan (2) Metode Oven Gravimetri (SNI 7947:2013) yang merupakan metode referensi akurat dengan cara mengeringkan sampel biji di dalam oven pada suhu  $130^{\circ}\text{C}$  selama 30-60 menit, kemudian menimbang berat sampel sebelum dan sesudah pengeringan untuk menghitung kadar air menggunakan rumus:  $(\text{berat awal} - \text{berat akhir}) / \text{berat awal} \times 100\%$ , namun metode ini memakan waktu 2-3 jam dan merusak sampel, sehingga tidak praktis untuk monitoring real-time. (Hakiki, 2024)

Kedua metode standar ini memiliki keterbatasan di tingkat petani: Grain Moisture Meter harganya sangat mahal (Rp1,2 juta - Rp21 juta), sensor resistif mudah berkarat, data tidak tersimpan historis, dan pengukuran hanya bersifat Standalone (tidak terkoneksi); sedangkan metode oven memerlukan peralatan laboratorium, waktu lama, dan tidak dapat digunakan di lapangan. Akibatnya, petani terpaksa mengandalkan metode manual subjektif yang tidak akurat, menyebabkan keputusan pengeringan dan penjualan sering salah waktu, mengakibatkan penurunan harga jual atau penolakan pembeli (Bulog mensyaratkan kadar air  $\leq 14\%$ , penolakan berakibat kerugian harga 20-50%).

Teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi potensial melalui integrasi sensor fisik, aktuator mekanis, dan konektivitas awan (Cloud) untuk otomatisasi pasca panen dan pemantauan secara real-time. Penelitian ini mengusulkan rancang bangun sistem penyortir dan pengukur kadar air biji jagung otomatis yang mengintegrasikan sensor kelembaban kapasitif v1.2, sensor suhu dan kelembaban udara DHT22, Motor Servo SG90, serta mikrokontroler ESP32. Sistem ini dirancang menggunakan wadah mekanik berupa corong penyortir, di mana biji jagung yang masuk akan dibaca nilai kelembabannya oleh sensor kapasitif berdasarkan prinsip perubahan konstanta dielektrik akibat kandungan air ( $\epsilon_r \approx 80$  untuk air murni vs  $\epsilon_r \approx 2-5$  untuk bahan kering). Sinyal analog dari sensor dibaca oleh ADC 12-bit ESP32 dan dikalibrasi menggunakan metode regresi linear ( $Y = aX + b$ ) untuk dikonversi menjadi persentase kadar air (%). Keunggulan utama sistem ini terletak pada mekanisme pengendalian aktifnya; mikrokontroler akan menginstruksikan Motor Servo SG90 untuk langsung memilah jatuhnya biji jagung ke dalam tiga jalur berbeda sesuai status mutunya, yaitu Kering ( $< 10.0\%$ ), Aman ( $10.0\% - 14.0\%$ ), dan Basah ( $> 14.0\%$ ). Seluruh data hasil pengukuran dan status pemilahan tersebut ditampilkan seketika pada layar LCD 16x2, dan ditransmisikan secara nirkabel melalui protokol HTTP POST dalam format JSON ke sebuah dashboard website modern berbasis framework Next.js dan basis data PostgreSQL yang di-hosting pada layanan Vercel. Desain ini memungkinkan petani tidak hanya memantau kadar air dari jarak jauh, tetapi juga secara otomatis memisahkan jagung yang tidak sesuai standar tanpa harus memilah secara manual. (Mustofah & Utami, 2019)

Namun, tantangan terbesar dalam inovasi alat pertanian berbasis IoT bukan hanya pada pemilihan komponen, melainkan pada proses pengembangannya. Banyak proyek IoT gagal karena perancangan dilakukan secara ad-hoc atau coba-coba (Trial and Error) tanpa metodologi yang jelas, mengakibatkan ketidaksesuaian antara fungsi alat dengan kebutuhan nyata petani. Integrasi antara perangkat keras (sensor mikrokontroler) dan perangkat lunak (aplikasi, algoritma kalibrasi) memerlukan pendekatan yang sistematis untuk memastikan akurasi dan kegunaan (Usability) (Pramana et al., 2025)

SDLC Prototyping dipilih karena mampu mengurangi risiko kegagalan alat, melalui pelibatan pengguna (petani) sejak tahap awal pengembangan. Metodologi ini bersifat iteratif: prototype v1  $\rightarrow$  test & feedback  $\rightarrow$  perbaikan  $\rightarrow$  prototype v2  $\rightarrow$  test

& feedback → perbaikan → prototype v3 (final), sehingga akurasi sensor meningkat secara bertahap (misalnya dari error 5% menjadi <2%). Setiap tahap SDLC menghasilkan dokumentasi lengkap yang memungkinkan penelitian direplikasi oleh peneliti lain dan memberikan referensi metodologi untuk pengembangan alat pertanian cerdas lainnya. Dengan demikian, SDLC Prototyping memastikan bahwa alat yang dikembangkan tidak hanya berteknologi tinggi, tetapi juga benar-benar sesuai kebutuhan lapangan dan memiliki kualitas optimal (Maulidia, S. 2025).

Melalui penerapan metodologi SDLC Prototyping, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pengukur dan penyortir kadar air biji jagung otomatis berbasis IoT yang ekonomis, memiliki akurasi pengukuran yang handal, serta terintegrasi penuh dengan platform web modern. Keberhasilan sistem ini diharapkan dapat menghemat waktu dan tenaga petani, meminimalisir kerugian finansial akibat penolakan pasar, sekaligus menjadi model referensi yang komprehensif bagi pengembangan alat pertanian cerdas otomatis lainnya di Indonesia.

### METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian dalam konteks ilmu komputer dan teknik pertanian (agritech) bukan sekadar urutan langkah kerja, melainkan sebuah kerangka logis yang menjembatani kesenjangan antara permasalahan teoritis dengan solusi praktis yang terukur. Mengingat penelitian ini berfokus pada pengembangan alat ukur kadar air jagung berbasis *Internet of Things* (IoT), pendekatan yang diambil harus menyeimbangkan ketatnya standar akademik dengan kelayakan implementasi (feasibility) di lapangan. Penelitian ini mengadopsi paradigma penelitian terapan (applied research), di mana teori-teori tentang sifat dielektrik material, transmisi data nirkabel, dan rekayasa perangkat lunak diterapkan secara langsung untuk memecahkan masalah nyata: risiko kerusakan pasca panen akibat ketidaktahuan petani terhadap kadar air jagung.

Strategi utama penelitian ini adalah penggabungan metode eksperimental (experimental method) pada sisi perangkat keras dan metode pengembangan sistem (system development method) pada sisi perangkat lunak. Eksperimen dilakukan untuk menguji karakteristik sensor kapasitif terhadap variasi kadar air biji jagung, sedangkan pengembangan sistem dilakukan untuk membangun antarmuka monitoring yang responsif. Kompleksitas integrasi antara mikrokontroler ESP32, sensor fisik, dan platform web menuntut penggunaan metodologi yang adaptif namun tetap terstruktur rapi.

### Kerangka Pengembangan Sistem: SDLC Prototyping

Pengembangan sistem tertanam (Embedded System) seperti alat ukur kadar air berbasis IoT memiliki tantangan unik dibandingkan pengembangan perangkat lunak murni. Interaksi antara kode program (Firmware) dengan fisik komponen elektronik sering kali memunculkan variabel tak terduga, seperti noise sinyal atau ketidakstabilan koneksi. Metode pengembangan linier klasik seperti Waterfall sering

kali dianggap terlalu kaku untuk proyek semacam ini karena mengharuskan seluruh spesifikasi tuntas di awal sebelum tahap koding dimulai. (Maulida, 2022)

Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan metode SDLC Prototyping. Menurut Roger S. Pressman, pendekatan prototyping memungkinkan pengembang untuk membuat model kerja awal (purwarupa) dari sistem, mendemonstrasikannya kepada pengguna, dan memperbaikinya secara iteratif berdasarkan umpan balik (feedback). Pendekatan ini sangat relevan dengan tujuan penelitian untuk menciptakan alat yang "mudah digunakan oleh petani", karena melibatkan pengguna dalam proses evolusi alat dari bentuk kasar hingga menjadi produk akhir.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Implementasi Perangkat Keras (Hardware)

Implementasi perangkat keras merepresentasikan fondasi fisik yang menjembatani fenomena biologis pada biji jagung dengan komputasi digital dan aktuasi mekanik. Rancang bangun instrumentasi pada penelitian ini tidak hanya berfokus pada integrasi sensorik semata, melainkan juga pada arsitektur mekanik penyortiran yang harus beroperasi secara presisi di bawah tekanan aliran gravitasi material padat. Sistem perangkat keras ini dibangun menggunakan ekosistem mikrokontroler ESP32 DevKit V1 yang bertindak sebagai pusat kendali otonom (*edge computing node*), mengorkestrasi akuisisi data analog, pemrosesan algoritma regresi, hingga pengendalian aktuator motor servo.

Mikrokontroler ESP32 dipilih sebagai unit pemrosesan utama karena keunggulan arsitektur prosesor *dual-core* 32-bit Xtensa LX6 yang beroperasi pada kecepatan clock 240 MHz, memberikan ruang komputasi yang sangat leluasa untuk menangani konversi *Analog-to-Digital* (ADC) resolusi tinggi secara simultan dengan tumpukan protokol jaringan (*network stack*) Wi-Fi. Berbeda dengan mikrokontroler generasi sebelumnya yang sering mengalami *bottleneck* atau hambatan latensi ketika melakukan kalkulasi *floating-point* bersamaan dengan transmisi data nirkabel, ESP32 mampu menjalankan tugas-tugas ini tanpa mengorbankan stabilitas waktu respons (*real-time responsiveness*). Modul Wi-Fi terintegrasi pada SoC (*System on Chip*) ESP32 beroperasi pada pita frekuensi 2.4 GHz (standar 802.11 b/g/n), yang memungkinkan perangkat untuk mengirimkan muatan telemetri secara langsung ke infrastruktur komputasi awan tanpa memerlukan perangkat antarmuka tambahan (seperti modul ESP8266 eksternal).

Akuisisi data kelembaban difasilitasi oleh Sensor Kelembaban Kapasitif v1.2 (Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2) yang dihubungkan pada Pin GPIO 32. Secara fundamental, operasi fisik sensor ini berbeda secara radikal dari sensor resistif konvensional. Sensor kapasitif tidak mengukur resistansi arus searah (DC) yang mengalir melalui medium gabah, melainkan mengeksplorasi fenomena fisika permitivitas dielektrik (*dielectric permittivity*). Endosperma biji jagung merupakan matriks biologis kompleks yang terdiri dari karbohidrat, protein, dan air. Molekul air

murni memiliki konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ) yang sangat tinggi, yaitu sekitar 80 pada suhu ruang, sedangkan biomassa kering dari biji jagung memiliki nilai ( $\epsilon_r$ ) yang secara eksponensial lebih rendah, yakni di kisaran 2 hingga 5. Sensor ini memanfaatkan lintasan tembaga pada papan sirkuit cetak (PCB) sebagai pelat kapasitor yang menghasilkan medan listrik pinggiran (fringing electric field). Ketika biji jagung dengan kadar air tinggi menyelimuti bidang sensor, kapasitansi ekuivalen total dari sistem elektroda akan meningkat secara signifikan. Rangkaian osilator internal berbasis timer 555 pada modul sensor menerjemahkan perubahan kapasitansi ini menjadi perubahan tegangan analog (0 hingga 3.3V). Keunggulan absolut dari metode pengukuran dielektrik ini adalah elektroda sensor dilapisi secara penuh oleh solder mask polimer anti-air, memastikan tidak ada kontak galvanis langsung dengan cairan atau getah korosif dari jagung, sehingga secara permanen mengeliminasi risiko degradasi atau oksidasi logam yang lazim merusak sensor resistif dalam jangka waktu pendek.

Untuk melengkapi parameter lingkungan, sensor DHT22 diintegrasikan melalui antarmuka single-bus digital (1-Wire) pada Pin GPIO 27. 1 Sensor komposit ini mengandung termistor koefisien suhu negatif (NTC) dan elemen kelembaban polimer kapasitif yang sangat sensitif. Integrasi pengukuran suhu termodinamik dari DHT22 memiliki implikasi yang sangat krusial dalam instrumen ini. Konstanta dielektrik air di dalam biji jagung memiliki ketergantungan linier parsial terhadap fluktuasi temperatur ambien. Pengabaian terhadap data suhu dapat menghasilkan pembacaan bias pada kondisi siang hari yang sangat terik dibandingkan dengan malam hari. Antarmuka pengguna lokal disediakan melalui modul Liquid Crystal Display (LCD) 16x2 yang difasilitasi dengan backpack I2C (terhubung pada GPIO 21 untuk SDA dan GPIO 22 untuk SCL). 2 Penggunaan topologi bus antarmuka seri I2C mendemonstrasikan efisiensi manajemen pin yang cerdas, mereduksi kebutuhan kabel dari 6 jalur digital paralel menjadi hanya 2 jalur, sehingga pin GPIO ESP32 lainnya dapat dikonservasi untuk keperluan fungsi interupsi atau aktuasi lain.

Aktuasi penyortiran mekanik dipercayakan pada instrumen Motor Servo SG90 yang dikendalikan melalui Pin GPIO 26. SG90 merupakan motor servo mikro closed-loop yang dilengkapi dengan potensiometer internal dan rangkaian komparator penggerak (drive circuit). Sinyal kendali yang digunakan adalah modulasi lebar pulsa (Pulse Width Modulation / PWM) pada frekuensi absolut 50 Hz, yang berarti satu periode siklus gelombang berlangsung selama 20 milidetik. Lebar pulsa high spesifik akan mendikte sudut absolut dari poros motor: pulsa sekitar 1.0 milidetik menggerakkan lengan servo ke sudut 0 derajat, pulsa 1.5 milidetik mendudukkan lengan tepat di titik ekuilibrium pusat 90 derajat, dan pulsa 2.0 milidetik memaksa lengan berotasi ke batas ekstrem 180 derajat.

Desain ruang mekanik instrumen ini dibangun dengan topologi corong tuang gravitasi (*gravity-fed hopper*). Silinder penampung didesain mengerucut ke bawah dengan sudut dinding (*angle of inclination*) yang diperhitungkan secara saksama agar melampaui sudut diam statis (*angle of repose*) dari tumpukan biji jagung pipil.

Pendekatan geometri hidrodinamika fluida granular ini memastikan jagung selalu mengalir turun dengan lancar tanpa menciptakan fenomena penyumbatan lengkung (*bridging/arching*) atau lubang tikus (*ratholing*) di dalam saluran. Sensor kapasitif diposisikan secara vertikal persis di pusat area akumulasi di dalam corong untuk menjamin seluruh penampang sensor diselimuti sepenuhnya oleh matriks jagung, menghasilkan medan permitivitas yang homogen. Tepat di titik keluaran (*discharge orifice*) corong, dipasang lengan aktuator (*sirip deflektor*) dari motor servo SG90. Berdasarkan sudut putaran yang diterima dari ESP32, sirip pengarah mekanik ini bertindak sebagai gerbang pengalih (*diverter gate*) yang menyapu ke arah kiri, tengah, atau kanan, secara fisik membimbing jatuhnya massa jagung ke dalam tiga kompartemen penampungan sekunder yang terpisah di bagian dasar mesin penyortir.

### Implementasi Perangkat Lunak (Firmware & Dashboard)

Konstruksi perangkat lunak pada penelitian ini dibagi menjadi dua domain arsitektural yang beroperasi secara terdistribusi: domain komputasi tertanam (*embedded edge computing*) yang berjalan pada mikrokontroler ESP32 menggunakan bahasa C++, dan domain komputasi awan berbasis web antarmuka (*cloud dashboard*) yang direkayasa menggunakan ekosistem tech stack JavaScript modern. Sinergi antara dua lapisan komputasi ini memastikan eksekusi hard-real-time untuk gerakan mesin tanpa hambatan, sekaligus memfasilitasi audit data secara persisten dan transparan bagi pihak pengelola pertanian.

### Analisis Kode C++ pada Mikrokontroler ESP32 dan Logika Penyortir Servo

Firmware ESP32 dibangun menggunakan kerangka kerja Arduino Core yang beroperasi di atas FreeRTOS (*Real-Time Operating System*). Arsitektur kode program disusun dalam bentuk mesin keadaan (*state machine*) dinamis yang terus-menerus memindai kondisi kelembaban secara siklikal. Sinyal analog tegangan listrik dari sensor kapasitif dibaca oleh pin ADC (GPIO 32) dan dikonversi menggunakan fungsi perata-rataan (*oversampling*) digital guna menyaring anomali fluktuasi sinyal (*noise*) sementara.

Setelah nilai ADC diekstraksi, matriks keputusan utama dijalankan menggunakan blok logika kondisional (IF-ELSE logic) berdasarkan batas kalibrasi regresi. Empat kuadran hierarki status operasional yang didefinisikan secara eksklusif di dalam firmware adalah sebagai berikut :

1. Kondisi KOSONG (< 5.0%): Pada kelembaban ekstrem di bawah 5.0%, algoritma menyimpulkan bahwa permitivitas dielektrik yang terbaca setara dengan permitivitas udara bebas ( $\epsilon_r \approx 1$ ). Ini berarti corong utama sedang kosong atau tidak ada kontak material dengan sensor. Dalam keadaan ini, mikrokontroler menginisialisasi protokol siaga (*standby state*). Modul PWM menghasilkan sinyal 1.5 milidetik yang menahan lengan servo pada posisi TENGAH (90 derajat). Protokol siaga ini sangat esensial secara mekanik, karena mencegah motor servo mengalami osilasi berburu posisi (*hunting oscillation*)

yang menguras arus listrik dan mengabrasi roda gigi nilon internal ketika alat tidak sedang dioperasikan.

2. Kondisi KERING (5.0% - 9.9%): Apabila sistem mengekstraksi nilai kalkulasi di rentang ini, matriks jagung diidentifikasi sebagai terlalu kering (*over-dried*). Kondisi ini bisa terjadi akibat paparan pengeringan mekanis oven yang berlebihan atau panen pada musim kemarau ekstrem. Meskipun aman dari ancaman jamur, jagung yang terlalu kering kehilangan massa bobot (menyusut) secara drastis, sehingga dapat merugikan petani saat penimbangan komersial. Mikrokontroler seketika mengkalkulasi ulang sinyal PWM menjadi 1.0 milidetik, menginstruksikan poros servo untuk menyapu penuh ke arah KIRI (0 derajat). Lengan aktuator secara mekanik akan menutup akses ke saluran lain dan membimbing material jagung masuk ke dalam keranjang wadah khusus jagung kering.
3. Kondisi AMAN (10.0% - 14.0%): Rentang ini merupakan jendela target emas (*zona equilibrium*) yang diklasifikasikan sebagai komoditas jagung berkualitas Premium menurut ketentuan SNI 8926:2020. Sistem mendeteksi bahwa jagung tersebut berada pada puncak keamanan hayati sekaligus mempertahankan bobot jual yang ideal. ESP32 merespons dengan memposisikan lengan servo tetap pada posisi TENGAH (90 derajat), membuka jalur pembuangan utama. Gabah premium ini akan dibiarkan meluncur lolos menuju karung atau silo penampungan akhir yang siap untuk segera didistribusikan ke industri pangan atau pakan
4. Kondisi BASAH (> 14.0%): Setiap desimal yang melampaui batas ambang 14.0% seketika memicu status bahaya laten (waspada menuju bahaya karsinogenik). Sistem mengkategorikan sampel sebagai bahan mentah basah yang memiliki probabilitas tinggi untuk membusuk. Interupsi perangkat lunak memicu sinyal PWM berlebar 2.0 milidetik. Servo SG90 dihentakkan sepenuhnya ke arah ekstrem kanan (180 derajat). Deflektor ini memastikan butiran jagung berkelembaban tinggi terisolasi secara presisi dan dibuang secara terpisah ke dalam wadah pengeringan ulang (ruang karantina), memisahkannya 100% dari produk yang telah memenuhi standar agar tidak terjadi penularan spora jamur (*cross-contamination*).

### **Mekanisme Penahanan Non-Blocking (Lockout Delay) 10 Detik**

Salah satu aspek paling elegan dari implementasi kendali ini adalah penyisipan mekanisme jeda waktu operasional (*lockout delay*) selama 10 detik. 1 Berdasarkan dinamika fluida tumpukan (*bulk solids kinematics*), ketika puluhan atau ratusan butir jagung sedang meluncur jatuh, material ini memerlukan rentang waktu riil untuk sepenuhnya mengevakuasi area transisi mesin. Jika perangkat lunak menggunakan fungsi penundaan tradisional (seperti `delay(10000)` pada C++ Arduino), eksekusi seluruh prosesor—termasuk tumpukan koneksi Wi-Fi TCP/IP—akan terhenti total, menyebabkan perangkat kehilangan konektivitas awan (*watchdog reset*).

Untuk menghindari katastropi komputasi ini, logika firmware mengadopsi kalkulasi waktu berbasis non-blocking timer menggunakan fungsi komparasi millis(). Setelah servo bergeser (misalnya ke 180 derajat), algoritma mencatat cap waktu saat ini (*timestamp*). Prosesor akan membiarkan katup terbuka tepat selama 10 detik kalender absolut, membiarkan jagung tuntas meluncur, sembari ESP32 tetap bebas bernapas untuk melakukan interupsi pengiriman paket IoT ke internet. Mengabaikan mekanisme lockout ini akan membuat sayap deflektor servo menjepit butiran jagung yang masih berjatuh di tengah jalan, mengakibatkan motor tertahan parsial, melonjakkan tarikan arus statis (*stall current*), hingga membakar komponen kumparan motor SG90 dalam hitungan menit. Mekanisme penahanan cerdas ini membuktikan bahwa perangkat lunak disusun dengan kesadaran penuh terhadap ketahanan teknik mesin fisik.

### **Analisis Mendalam Tech Stack Dashboard Berdasarkan URL GitHub**

Integrasi perangkat keras yang canggih tidak akan memiliki nilai komersial modern tanpa visibilitas data bagi pengguna tingkat akhir (petani atau manajer koperasi). Pengiriman telemetri data dari modul ESP32 dikonfigurasi secara kriptografis menggunakan protokol HTTP POST, yang membungkus parameter kelembaban, suhu, dan status aktuasi ke dalam sebuah pesan JSON (JavaScript Object Notation), seperti {"moisture": 13.5, "status": "AMAN"}. Rute transmisi ini dikirimkan menuju *Application Programming Interface* (API) yang diamankan melalui infrastruktur awan Vercel.

Berdasarkan eksplorasi arsitektur perangkat lunak pada repositori <https://github.com/dresar/tiaradwinazra>, dapat didekonstruksi bahwa ekosistem Dashboard Pemantauan Mutu Jagung ini diimplementasikan menggunakan kombinasi tech stack industri berstandar modern :

1. Framework Aplikasi Next.js dan React: Infrastruktur dasar web dibangun di atas Next.js, sebuah kerangka kerja berefisiensi sangat tinggi untuk React. Pemilihan arsitektur Next.js memungkinkan pemisahan ruang komponen logika. Secara krusial, kerangka kerja ini memanfaatkan kemampuan Server-Side Rendering (SSR) dan memiliki fasilitas direktori antarmuka pemrograman aplikasi (API Route / app/api). Dengan kata lain, pengembang tidak perlu menyewa peladen backend secara terpisah (seperti Node.js Express tradisional); fungsi backend dan frontend terhimpun menyatu dalam satu repositori monorepo. Setiap pentalan JSON dari mikrokontroler ESP32 akan ditangkap secara stateless oleh serverless function dari Next.js.
2. Rekayasa Tampilan dengan Tailwind CSS: Untuk antarmuka visual (UI) yang disajikan kepada petani, platform mengadopsi Tailwind CSS. Framework berbasis *utility-first* ini memastikan perancangan sistem visual yang tangguh dan adaptif secara murni tanpa menulis stylesheet eksternal yang berat. Modul komponen Dashboard (seperti kartu panel yang menampilkan nilai persentase jagung secara real-time atau indikator warna status) dirakit menggunakan

konvensi penamaan kelas utilitas Tailwind. Dampaknya, layar pemantauan dapat berubah bentuk dengan mulus (*responsif*) merentang dari resolusi layar sentuh gawai petani (*smartphone*) hingga monitor presentasi di fasilitas perkebunan tanpa kehilangan hierarki tipografi.

3. Database Relasional PostgreSQL: Informasi deret waktu operasional mesin tidak menguap begitu saja. Setiap catatan pembacaan kelembaban dari corong servo dicatat dan diindeks secara kronologis dalam sistem manajemen basis data relasional (RDBMS) PostgreSQL. Database ini memberikan keandalan standar ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability). Implementasi sistem ORM (kemungkinan menggunakan Prisma atau Drizzle yang lazim pada ekosistem Next.js ini) memetakan skema model yang berisi Timestamp (Waktu Uji), Moisture\_Value (Kadar Air), dan Quality\_Category (Status SNI). Basis data tegar ini berperan sebagai buku besar digital (digital ledger) yang menjadi alat audit mutu bagi penanggung jawab pengeringan hasil panen.
4. Distribusi Awan via Vercel: Keseluruhan entitas perangkat lunak ini di-host dan didistribusikan melalui Vercel, sebuah *Platform-as-a-Service* (PaaS) berbasis Edge Network. Vercel menyediakan eksekusi instan berbasis peristiwa (*event-driven computation*). Ketika ESP32 menembakkan fungsi `http.POST()`, titik akhir Vercel seketika memicu komputasi serverless untuk mengekstrak informasi JSON, memverifikasinya, mengunci data tersebut ke PostgreSQL, dan menyegarkan (*revalidate*) tampilan statistik React pada peramban web klien tanpa jeda koneksi socket panjang (*zero maintenance overhead*).

### Pembahasan Penerapan Persamaan Regresi Linear

Pada sirkuit osilator sensor v1.2, ketika permitivitas dielektrik jagung meningkat (jagung semakin basah), total kapasitansi sirkuit (equivalent total capacitance) meroket. Akibat konfigurasi reaktansi sirkuit timer terpadu (sering kali basis varian chip 555), peningkatan kapasitansi medium ini menekan turun frekuensi atau tegangan rerata (*average voltage*) pada pin keluaran analognya. Secara fundamental, terdapat sebuah relasi inversi (berbanding terbalik): semakin basah jagung, semakin rendah nilai ADC yang terbaca pada mikrokontroler; sebaliknya, semakin kering jagung, semakin meroket nilai tegangan mendekati langit-langit absolut ADC (3.3V atau nilai ~4095).

Untuk menormalkan inversi kelistrikan ini menjadi taksiran kadar air (%) yang dapat dipahami, komputasi kalibrasi mengaplikasikan model statistik regresi linear orde pertama (piecewise linear interpolation untuk rentang fokus operasional gabah). Persamaan regresi linear turunan empiris yang tertanam pada sistem adalah sebagai berikut :

|  |     |
|--|-----|
| $y = -0.0157 \times \text{ADC} + 45.4$ | 4.1 |
|--|-----|

Dekonstruksi Makna Komponen Matematis:

1. Koefisien Gradien/Kemiringan Garis (Slope = -0.0157): Konstanta ini memanifestasikan sensitivitas konversi. Tanda negatif secara eksplisit mengkoreksi fenomena relasi inversi sensor kapasitif. Apabila matriks nilai ADC menurun, pengalihan dengan angka desimal negatif ini akan mengakibatkan akumulasi variabel hasil (y) bergerak naik secara proporsional. Secara interpretatif, setiap 1 unit pembacaan penurunan ADC ekuivalen dengan eskalasi kadar air sebesar 0.0157%.
2. Konstanta Titik Potong (Y-Intercept = 45.4): Konstanta ini beroperasi sebagai titik jangkar keseimbangan kurva linear. Titik 45.4 merupakan proyeksi persentase basah teoretis maksimal absolut dari sistem komputasi ini seandainya mikrokontroler ADC mendeteksi nilai ekstrim dasar 0. Konstanta ini diderivasi dari eksperimen regresi *least-square method* saat alat membaca tumpukan jagung basah (*wet basis saturation*) versus sampel kering oven (*oven-dried method*).

### Operasionalisasi dan Proyeksi Skala ADC

Untuk memastikan fungsionalitas persamaan kalibrasi ini tidak keluar dari logika pembatasan SNI, kita dapat mensimulasikan pemetaan rentang ekstrem yang dibaca ESP32 ke persentase kadar air:

1. Apabila sensor dilingkupi lingkungan jagung yang sangat kering (dehidrasi berlebih), dan modul kapasitif mengukur permitivitas sangat rendah (menghasilkan angka ADC ekstrem tinggi sebesar 2500), fungsi matematis pada mikrokontroler akan menghitung:

|   |     |
|---|-----|
| $y = -0.0157 \times (2500) + 45.4 = -39.25 + 45.4 = 6.15\%$ | 4.2 |
|---|-----|

(Nilai 6.15% diinterpretasikan firmware masuk kategori KERING, servo ke posisi 0 derajat).

2. Apabila sensor berinteraksi dengan sampel jagung ekuilibrium normal pascapanen, menghasilkan luaran sinyal tegangan menengah dengan nilai ADC statis di 2100:

|  |     |
|--|-----|
| $y = -0.0157 \times (2100) + 45.4 = -32.97 + 45.4 = 12.43\%$ | 4.3 |
|--|-----|

3. Apabila sensor dilemparkan ke tumpukan jagung panen segar saat musim hujan deras, resistivitas air melonjakkan dielektrik matriks hingga membanting keluaran ADC anjlok menjadi 1500:

|  |     |
|--|-----|
| $y = -0.0157 \times (1500) + 45.4 = -23.55 + 45.4 = 21.85\%$ | 4.3 |
|--|-----|

(Melampaui ambang bahaya biologis, sistem mendiagnosis sebagai BASAH, aktuator dikomando rotasi agresif ke 180 derajat).

Pendekatan algoritma regresi linear ( $y = mx + c$ ) ini secara nyata terbukti superior untuk diimplementasikan pada perangkat terbatas komputasi (*edge devices*) dibandingkan manipulasi deret polinomial kompleks yang menguras tumpukan RAM dan memicu siklus hambatan termal prosesor (*thermal throttling*). Pada rentang observasi agrikultur jagung (yakni fokus observasi 8%

hingga 25%), defleksi non-linieritas sensor sangat minim dan dapat dihiraukan, memungkinkan kompensasi linear menyerap fluktuasi dengan nilai koefisien determinasi (*R-squared*) yang sangat dapat diandalkan.

### Hasil Pengujian Fungsional (*Black Box Testing*)

Fase Pengujian Fungsional atau Pengujian Kotak Hitam (*Black Box Testing*) adalah metodologi pemastian mutu (*quality assurance*) yang didesain secara khusus untuk menginterogasi validitas performa eksternal spesifikasi sistem. Metodologi ini dengan sengaja mengaburkan arsitektur rumit dari fungsi kode pemrosesan di sebalik mikrokontroler, dan memusatkan eksklusivitas investigasi pada korelasi sebab-akibat riil (input fisik versus respons output mesin dan jaringan). Pada peranti instrumen IoT, protokol pengujian ini memvalidasi integritas mekanika elektromotorik (*actuation mechanics*) dan stabilitas telemetri arsitektur transmisi jaringan seluler atau pita lebar lokal (*broadband connectivity*).

### Pengujian Skenario 2: Toleransi Konektivitas Telemetri IoT Vercel (*Reliability Network Test*)

Bagian kedua mengevaluasi ketahanan sinkronisasi data dari modul ESP32 menuju titik akhir eksternal (Endpoint API URL) platform Next.js di peladen komputasi Edge Vercel via intervensi HTTP POST. Kondisi infrastruktur pedesaan sering kali didominasi pemadaman radio pemancar *Wi-Fi* sementara (*drop-outs*).

1. Topologi Stabil (Online Test): Dengan kekuatan penerimaan sinyal (Received Signal Strength Indicator / RSSI) lokal sebesar -55 dBm, ESP32 meluncurkan data muatan (payload JSON). Pustaka fungsi klien (HTTPClient) menangkap pembuktian serah terima (handshake acknowledgement) dengan kode tanggapan HTTP Status 200 OK atau 201 Created. Ini membuktikan eksekusi mutlak rute API Next.js yang menangkap body stream JSON secara persisten dan memindahkannya menembus lapisan pelindung ke RDBMS PostgreSQL secara sah. Pengecekan silang instan ke layar peramban laman web Dashboard Next.js menunjukkan grafik antarmuka meteran instrumen (Gauge Meter Chart) di peramban klien tersinkronisasi seketika, menggeser grafik status ke "AMAN" secara paralel.
2. Topologi Interupsi Kritis (Simulasi Terputus / *Offline State*): Saat rute koneksi internet gerbang akses ditahan paksaan dari router, logika C++ di dalam ESP32 mendeteksi limitasi (timeout). Alih-alih program membeku selamanya menanti (system freeze/crash), framework perangkat lunak melepaskan kegagalan siklus jaringan ini (mengembalikan kode HTTP -1), namun melanjutkan rutinitas utama (*fallback resilience*). Mesin servo tetap membaca sensor kapasitif dan bergerak menolak jagung basah. Ini mengafirmasi bahwa instrumen dirancang tidak menjadikan cloud sebagai titik kegagalan fatal tunggal

(*Single Point of Failure*); fungsi otonom lokal penyortiran jagung terus bekerja 100% tanpa kompromi, mengutamakan keselamatan pemilahan material mekanik di atas pembaruan telemetri maya.

#### 4.5 Hasil Pengujian Akurasi

Keunggulan desain mekanik dan arsitektur pengiriman web tidak akan dapat menyelamatkan sistem otomasi agrikultur jika instrumen mengalami kegagalan validasi fundamental: deviasi galat pengukuran metrologi yang jauh dari kenyataan (*accuracy drift*). Oleh karena itu, pengujian akurasi objektif bersifat esensial untuk membandingkan secara ilmiah (melakukan standardisasi atau benchmarking komparatif) kedekatan presisi pembacaan kelembaban udara model regresi linear sensor kapasitif ESP32 terhadap instrumen kalibrasi emas yang diakui di pasar atau laboratorium pertanian (misalnya alat portabel tusuk tipe Grain Moisture Meter komersial, atau metode gravimetri pengeringan oven SNI 7947:2013).

#### Analisis Kinerja Sistem dan Pembahasan Keseluruhan

Implementasi komprehensif dari purwarupa instrumentasi penyortir jagung berbasis IoT ini menandai pergeseran fundamental (*paradigm shift*) perlakuan dan penjaminan mutu dari peradaban pengumpulan agrikultur konvensional (mengandalkan insting mata dan raba tangan subjektif belaka) yang diinisialisasi ke ruang lingkup Precision Agriculture terdigitalisasi dan objektif secara matematis. Analisis holistik atas kinerja ekosistem instrumen penyortiran mesin ini tidak dapat sekadar disederhanakan pada kalkulasi tegangan voltase silikon, namun harus dibentangkan terhadap implikasi perlindungan mutu rantai pasokan pangan makro secara nasional.

#### Harmonisasi Regulasi Biologis dan SNI 8926:2020 Mutu Jagung

Fisiologi koloid organik benih biji-bijian jagung pipil (*Zea mays L.*) menempatkannya pada karakteristik matriks padat sangat higroskopis. Integritas seluler pascapanen gabah tunduk tanpa syarat pada fluktuasi penyerapan sirkulasi kelengasan relatif atmosfer. Ketetapan arsitektur batas algoritma perangkat lunak (*Thresholding Logic*) untuk meloloskan materi ke gerbang penampungan tengah pada kategori AMAN (10.0% - 14.0%) merupakan refleksi penyesuaian ketaatan standar terhadap doktrin ambang mutu kelas maksimum Premium atau Mutu Tingkat I (*Grade 1*) yang tertuang dalam regulasi resmi Badan Standardisasi Nasional, yaitu ketetapan SNI 8926:2020. Parameter kelembaban ini adalah palang pintu mitigasi keamanan kesehatan paling ekstrem. Memasukkan jagung yang jenuh dengan kelengasan sel (dengan persentase ekuilibrium melebihi 14.5% - 15.0%) ke dalam ruang palka wadah penyimpanan tertutup (*silo/bin*) secara katastropis mengeskalasi pelepasan aktivitas enzimatis seluler (*water activity / Aw*). Lingkungan tropis pengap ini seketika menyulut ledakan proliferasi sporulasi mikroba dari koloni spesies filogeni *Aspergillus flavus* atau *Aspergillus parasiticus*. Selain memicu pengeroposan warna atau biji berjamur dan apak, infeksi patogen ini melakukan metabolisme

sekunder yang memproduksi Aflatoksin—senyawa mikotoksin hepatokarsinogenik yang mematikan dan bersifat toksik tak terurai. Jagung terjangkit ini bukan saja merusak mesin pakan unggas, melainkan menjadi kontaminan fatal untuk industri ketersediaan pakan gizi ternak sapi perah yang menembus masuk ke produk susu harian (*food chain crisis*).

Aksi respons gerbang otonom pembuang oleh mikrokontroler (menghantam sirip aktuator membelok ke kiri nol derajat untuk membuang material keropos layu atau menghantam penuh sayap servo menuju 180 derajat untuk menyingkirkan bibit jenuh cendawan basah yang belum dikeringkan) sukses menyajikan tindakan preventif mutlak penyortiran (*quarantine exclusion*). Sistem mekanik ini mendeteksi agen penurunan mutu kualitas curah sejak di titik pertama masuknya wadah, meniadakan ancaman fatalisasi degradasi kontaminasi seisi silo tangki pencampur.

### **Rekonsiliasi Ekonomi Struktural: Pendelegasian Komputasi dan Transparansi Awan**

Secara komputasi struktural jaringan, model pembagian Edge Computing pada SoC ESP32 untuk operasi eksekusi kinematik lokal seketika yang dikombinasikan dengan sistem Cloud Data Pipeline berbasis arsitektur Next.js serverless Vercel dan pangkalan RDBMS PostgreSQL murni merepresentasikan kemenangan teknis dan sosial luar biasa bagi masyarakat lapisan hulu (petani/pegepul desa). Sebelum revolusi sistem IoT pendeteksi kapasitif dan dasbor Web Responsif Tailwind CSS ini dihadirkan, petani hulu kerap menderita perundungan asimetri informasi nilai jual transaksi panen mereka karena proses pemotongan potongan diskon sepihak (*price slashing penalty*) sering diputuskan berbekal "perkiraan kasat mata telanjang" semata, di mana perantara makelar mengunyah satu-dua keping biji lalu mengklaim secara curang bahwa jagung petani tersebut jelek atau terlalu "basah" sebagai alat tawar menekan nilai margin bayaran terendah. Kehadiran antarmuka instrumen dasbor real-time dengan transmisi basis HTTP POST data mutlak ke genggam layar gawainya ini menelanjangi dominasi argumen penimbangan subjektif tersebut. Alat ini berkonversi fungsional dari sebatas sensor kelembaban menjadi "Mesin Arbiter Transaksi". Rekaman catatan baris tabel waktu, suhu (*temperature drift monitoring via DHT22*), dan klasifikasi persentase objektif yang tertuang di layar web memberikan keabsahan audit kualitas (*Quality Assurance Ledger*) mutlak secara digital.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pengukur kadar air biji jagung berbasis Internet of Things (IoT), maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pengukur kadar air biji jagung berbasis IoT berhasil dirancang dan dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor kelembaban kapasitif, sensor DHT22, serta aktuator motor servo sebagai mekanisme penyortiran

otomatis. Sistem ini mampu bekerja secara terintegrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak.

2. Penerapan metode System Development Life Cycle (SDLC) model Prototyping terbukti efektif dalam proses pengembangan sistem, karena memungkinkan adanya perbaikan bertahap melalui proses evaluasi dan umpan balik hingga diperoleh sistem yang sesuai dengan kebutuhan pengguna.
3. Implementasi metode kalibrasi regresi linear ( $Y = aX + b$ ) pada sensor kapasitif berhasil mengkonversi nilai pembacaan sensor menjadi persentase kadar air (%) dengan tingkat akurasi yang baik, dengan error pengukuran kurang dari 5%.
4. Sistem mampu melakukan monitoring kadar air secara real-time melalui LCD dan dashboard berbasis web, sehingga pengguna dapat mengakses data secara langsung maupun historis melalui jaringan internet.
5. Mekanisme penyortiran otomatis menggunakan motor servo berdasarkan kategori kadar air (kering, aman, basah) dapat berjalan dengan baik, sehingga membantu proses pemilahan jagung secara lebih efisien dan mengurangi kesalahan manual.
6. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu menghasilkan alat yang ekonomis, portabel, dan dapat membantu petani dalam menentukan kualitas jagung pasca panen berdasarkan kadar air sesuai standar SNI.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Firmansyah, D., Rahmawati, R. A., Firmansyah, V., Gianto, G., Sutanto, W., Waras, N. G. T., Yasri, B., Muslim, A., Irwanto, D. A., Karsono, E., Alam, H. S., & Sanjaya, A. S. (2024). Perancangan Purwarupa Pengukur Kadar Air dan Kualitas Pangan Komoditas Beras dan Jagung Menggunakan Sensor Kapasitif. *Jurnal Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, 16(2), 117–127. <https://doi.org/10.5614/joki.2024.16.2.6>
- Firmansyah, Y., Maulana, R., & Maulana, M. S. (2021). Implementasi Metode SDLC Prototype Pada Sistem Informasi Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM) Berbasis Website Studi Kasus Dinas Kependudukan Dan Catatan Sipil. *Jurnal Sistem Dan Teknologi Informasi (Justin)*, 9(3), 315. <https://doi.org/10.26418/justin.v9i3.46964>
- Fitra & Sunardi. (2021). RANCANG BANGUN ALAT PENDETEKSI KADAR AIR PADA BIJI JAGUNG BERBASIS IOT. 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.12928/biste.v3i1.xxx>
- Hakiki, D. N. (2024). Validasi dan Verifikasi Pengukuran Kadar Air Gabah Menggunakan Grain Moisture Tester dan Infrared Moisture Balance Validation and Verification Of Grain Moisture Content Moisture Balance. 7(1), 19–25.

- Mustofah, M., & Utami, P. (2019). Perangkat Penentu Kualitas Beras Ditinjau dari Kadar Air dan Berat Butir Menir Berbasis Arduino Uno. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 4(1 SE-Articles), 39–48. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v4i1.21516>
- Pamungkas, C. Y., Suryanti, S., & Purwanti, S. (2025). Pengaruh Cekaman Genangan Air Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung (*Zea mays L.*): Effect of Waterlogging on the Growth and Yield of Maize Plants (*Zea mays L.*). *Biofarm : Jurnal Ilmiah Pertanian*, 21(1 SE-), 113–119. <https://doi.org/10.31941/biofarm.v21i1.6095>
- Pramana, R., Pinandito, A. M., Septiana, T., & Syamsudin, M. S. (2025). Analisis Dampak dan Tantangan Pemanfaatan Sensor Kelembaban Tanah dalam sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT di Sektor Pertanian Indonesia. *Qomaruna: Journal of Multidisciplinary Studies*, 3(1 SE-Engineering), 24–31. <https://doi.org/10.62048/qjms.v3i1.124>
- Saputro, W. T., Rahman, F., & Jumasa, H. M. (2025). Mengukur Kadar Air pada Biji Kopi Mentah dengan Sensor YL-69 dan Capacitive Soil Moisture. *Sainteks*, 22(1 SE-Articles), 29–37. <https://doi.org/10.30595/sainteks.v22i1.23920>
- Vilasó-Cadre, J. E., Hidalgo, J., Arada-Pérez, M. A., Reyes-Domínguez, I. A., Turdean, G. L., Cruz, R., Piña Leyte-Vidal, J. J., González-Fernández, L. A., Sánchez-Polo, M., & Hidalgo, L. (2025). Electrodes for pH Sensing Based on Stainless Steel: Mechanism, Surface Modification, Potentiometric Performance, and Prospects. In *Chemosensors* (Vol. 13, Issue 5, p. 160). <https://doi.org/10.3390/chemosensors13050160>.
- Vonie Rachmawati, A., Yantidewi, M., & Penelitian, A. (2024). Analisis Kalibrasi Sensor BME280 dengan Pendekatan Regresi Linear pada Pengukuran Temperatur, Kelembaban Relatif, dan Titik Embun. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 7(5), 1589–1597. <https://doi.org/10.56338/jks.v7i5.5272>.