

# Sistem Pengukuran pH, Suhu, dan Kelembaban Tanah Pada Tanaman Jagung Menggunakan Metode Proportional-Integral-Derivative Berbasis *Internet of things*

Mira\*, Kusnanto, Oscarito

Teknologi Informasi, Institut Shanti Bhuna, Bengkayang, Indonesia

Email: <sup>1,\*</sup>mira@shantibhuana.ac.id, <sup>2</sup>kusnanto@shantibhuana.ac.id, <sup>3</sup>oskar@shantibhuana.ac.id

Email Penulis Korespondensi: mira@shantibhuana.ac.id

Submitted: 29/09/2024; Accepted: 01/12/2024 Published: 03/12/2024

**Abstrak**—Provinsi Kalimantan Barat mengalami penurunan luas panen dan produktivitas jagung dengan luas 16,371,14 pada tahun 2022 dengan produktivitas 43,81 dan produksi 71,717,14 ton. Sedangkan pada 2023 dengan luas 15,625,22 dengan produktivitas 43,54 dan produksi 68,028,76 ton. Penurunan hasil produksi jagung serta kebutuhan konsumsi yang terus meningkat disetiap tahunnya menjadi tantangan pemerintah dan usaha pertanian jagung untuk menjawab dan memenuhi ketersediaan jagung. Berkenaan dengan permasalahan ini, perlu adanya manajemen lahan tanaman jagung, agar dapat meningkatkan nilai produksi jagung untuk memenuhi kebutuhan konsumsi dan pakan ternak di Kalimantan Barat. Pengukuran pH, suhu dan kelembaban tanah sangat penting untuk memahami kondisi tanah yang tepat untuk berbagai jenis tanaman. Penelitian ini menggunakan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu tanah, capaltive soil moisture untuk mengukur kadar air dalam tanah, dan sensor pH untuk mengetahui tingkat keasaman. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pengendali utama yang terhubung dengan ketiga sensor dengan teknologi IoT dan metode PID sebagai sistem kendali. Nilai konstanta PID ditentukan menggunakan metode Ziegler-Nichols, dengan nilai Kp 4.31, Ki 0.85, dan Kd 4.33 dengan set poin ph 6.0, suhu 26°C dan kelembaban 70%. Hasil penelitian menunjukkan Nilai pH berada pada rentang nilai 3.03-3.45 masuk dalam kategori asam. Selanjutnya nilai suhu berada pada 24.69-28.66 masuk dalam kategori sedang hingga tinggi. Sedangkan nilai kelembaban berada antara 43-80 masuk dalam kategori rendah hingga tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur suhu, kelembaban, dan pH tanah secara real-time dengan tingkat akurasi yang baik. Hal ini didukung dengan nilai keakurasian dari sensor pH tanah sebesar 60.6%, sensor suhu sebesar 98.65%, dan sensor kelembaban tanah sebesar 98,57%. Nilai keakurasian didapat dari 100% dikurangi rata-rata nilai error pada setiap pengukuran.

**Kata Kunci:** pH; Suhu; Kelembaban; IoT; PID

**Abstract**—West Kalimantan Province experienced a decrease in the harvested area and productivity of corn with an area of 16,371.14 in 2022 with a productivity of 43.81 and a production of 71,717.14 tons. While in 2023 with an area of 15,625.22 with a productivity of 43.54 and a production of 68,028.76 tons. The decline in corn production and the increasing consumption needs every year are challenges for the government and corn farming businesses to answer and meet the availability of corn. Regarding this problem, it is necessary to manage corn plantation land, in order to increase the value of corn production to meet consumption and animal feed needs in West Kalimantan. Measuring pH, temperature and soil moisture is very important to understand the right soil conditions for various types of plants. This study uses a DS18B20 sensor to measure soil temperature, capaltive soil moisture to measure air content in the soil, and a pH sensor to determine the acidity level. The ESP32 microcontroller is used as the main controller connected to the third sensor with IoT technology and the PID method as a control system. The PID constant value was determined using the Ziegler-Nichols method, with a Kp value of 4.31, Ki 0.85, and Kd 4.33 with a setpoint of ph 6.0, a temperature of 26°C and a humidity of 70%. The results showed that the pH value was in the range of 3.03-3.45, falling into the acidic category. Furthermore, the temperature value was at 24.69-28.66, falling into the medium to high category. While the humidity value was between 43-80, falling into the low to high category. The test results showed that the system was able to measure temperature, humidity, and soil pH in real-time with a good level of accuracy. This is supported by the accuracy value of the soil pH sensor of 60.6%, the temperature sensor of 98.65%, and the soil moisture sensor of 98.57%. The accuracy value is obtained from 100% minus the average error value for each measurement.

**Keywords:** pH; Temperature; Humidity; IoT; PID

## 1. PENDAHULUAN

Pertanian jagung merupakan komoditas tanaman pangan yang memiliki peranan dalam pembangunan perekonomian Indonesia, serta mendukung ketahanan pangan. Tanaman jagung dapat diolah sebagai pangan (*food*), bahan (*feed*), dan industri serta sebagai bahan bakar alternatif (Biofuel) [1]. Selain itu tanaman jagung telah banyak diolah menjadi makanan yang bernilai tinggi dan kerajinan tangan [2] [3]. Data komoditas produk unggulan tanaman pangan mengacu pada Keputusan Menteri Pertanian republik Indonesia Nomor 830/Kpts/Rc.040/12/2016, yaitu ubi kayu, jagung, kedelai, dan padi. Melihat jumlah konsumsi dalam negeri tinggi, Presiden Jokowi menjelaskan untuk mewujudkan kedaulatan pangan ke jantung persoalannya dengan menargetkan swasemba pangan pada empat komoditas yang terdiri dari beras, gula, jagung dan kedelai. Menurut Kartiasih dkk, jumlah produksi jagung di Indonesia cukup tinggi, tetapi belum dapat memenuhi permintaan jagung di Indonesia. Sehingga untuk memenuhi permintaan tersebut dilakukan impor jagung dari luar negeri ke Indonesia seperti negara Argentina, Brazil, Thailand, Amerika Serikat (USA), dan India [4]. Argentina menjadi negara asal jagung impor terbanyak di Indonesia pada tahun 2021, yaitu sebesar 610.928.045 kilogram [4]. Berdasarkan data BPS luas panen dan produksi jagung di Indonesia 2023 mencapai 2,48 juta hektare mengalami penurunan sebanyak 0,29 juta hektare atau 10,43 persen dibanding luas panen 2022 sebanyak 2,76 hektare. Luas panen, produksi dan produktivitas juga mengalami punurunan disetiap Provinsi [5][6].

Provinsi Kalimantan Barat mengalami penurunan luas panen dan produktivitas dengan luas 16,371,14 pada tahun 2022 dengan produktivitas 43,81 dan produksi 71,717,14 ton. Sedangkan pada 2023 dengan luas 15,625,22 dengan produktivitas 43,54 dan produksi 68,028,76 ton. Kepala Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Kalimantan Barat, Florentinus Anun menyatakan bahwa kebutuhan jagung baik untuk konsumsi maupun pakan ternak di Kalimantan Barat masih kekurangan 130.000 ton. Bupati Bengkayang Sebastianus Darwis dan perwakilan Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kabupaten I Gede Megantara menyatakan, Pemerintah Kabupaten Bengkayang saat ini konsen dalam mengembangkan potensi komoditas pertanian pangan lokal sebagai wujud untuk mendukung ekonomi lokal [7] serta menjadi salah satu Kabupaten penyumbang kebutuhan jagung terbanyak sekitar 60% kebutuhan jagung di Kalimantan Barat. Penurunan hasil produksi jagung serta kebutuhan konsumsi yang terus meningkat disetiap tahunnya [8] [9], menjadi tantangan pemerintah dan usaha pertanian jagung untuk menjawab dan memenuhi ketersediaan jagung.

Permasalahan mendasar yang dihadapi saat ini merupakan turunnya jumlah produktivitas jagung yang tidak seimbang dengan jumlah permintaan akan kebutuhan konsumsi dan pakan ternak. Hal ini disebabkan kondisi lahan yang kurang optimal, termasuk tinggi keasaman (pH), suhu dan kelembaban tanah yang tidak dikendalikan dengan baik. Pengendalian atau manajemen tanah yang efektif sangat membantu masyarakat untuk meningkatkan produktivitas. Pengelolaan lahan pada tanaman jagung oleh petani terkhusus petani jagung di Bengkayang masih menggunakan cara yang konvensional dan kurang memanfaatkan dan melibatkan peran teknologi modern yang dapat menjawab kebutuhan petani jagung. Manajemen tanah berfungsi untuk mendeteksi kondisi awal tanah dan mencegah degradasi serta dapat mengoptimalkan penggunaan lahan secara berkesinambungan menggunakan variabel seperti temperature, ketersediaan air (curah hujan), ketersediaan oksigen, tekstur tanah, kelerengan dan bahaya banjir. Pengukuran dan pengendalian kondisi tanah merupakan landasan penting dan tidak dapat diabaikan untuk mendapatkan pertumbuhan tanaman jagung yang sehat dan produktif.

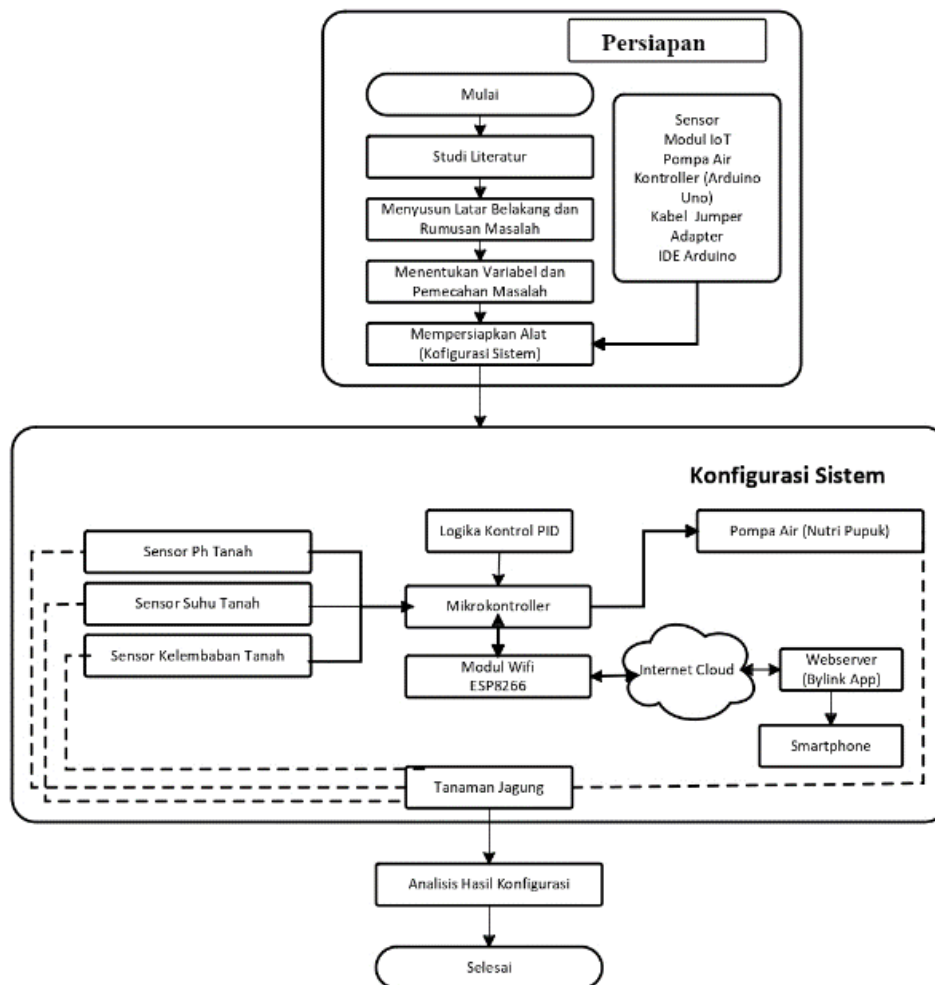
Dengan mengetahui kondisi tanah faktor seperti pH tanah yang ideal, suhu yang sesuai, dan kelembaban tanah yang optimal petani dapat menghasilkan lingkungan yang mendukung pertumbuhan tanam jagung. Pengukuran dan pengendalian kondisi tanah secara otomatis dapat dilakukan dengan menerapkan teknologi yang memungkinkan pengukuran kondisi tanah secara otomatis. Hal ini dapat memungkinkan petani untuk mengambil Tindakan yang tepat waktu untuk memaksimalkan produktivitas tanaman. Sehingga memungkinkan pertumbuhan tanaman jagung yang lebih baik dan hasil produksi lebih tinggi. Sistem pengukuran otomatis dapat membantu proses manajemen tanah dapat merespon dengan cepat terhadap perubahan kondisi tanah. Dalam penelitian ini menerapkan teknologi *Internet of things* (IoT) dan metode Proportional-Integral-Derivative (PID) sebagai sistem kendali [10]. Konfigurasi IoT telah banyak digunakan dalam bidang pertanian begitupun dengan PID. Seperti sistem control dengan hasil implementasi keseluruhan sistem didapatkan hasil tuning PID yang terbaik dengan nilai  $k_p=30$ ,  $k_i=100$  dan  $k_d=80$  [11]. Menganalisis kalibrasi sensor pH dengan pH meter pada larutan buffer dengan hasil sensor PH bekerja dengan baik dan akurat pada  $k_p=2$ ,  $k_i=0,05$  dan  $k_d=0,003$  [12]. Analisis dan simulasi sistem pengendalian derivative proportional dan integral menggunakan Xcos Scilab menghasilkan parameter terbaik saat nilai gain proporsional ( $k_p$ ) sebesar 3,994 detik dan waktu penelitian 2,36 detik [13]. Penerapan PID dalam mengontrol suhu memiliki error steady state rata-rata sebesar 1.52% dan nilai *overshoot* 75%. Kontrol PI memiliki error steady state rata-rata 2.26% dan nilai *overshoot* 0.02%. Kontroller on-off memiliki error steady state rata-rata sebesar 13.72% dan nilai *overshoot* 86% [14].

Beberapa penelitian yang melakukan konversi vegetasi xeromorfik ekstrim menjadi lahan pertanian dengan faktor-faktor yang mempengaruhi seperti kadar air tanah, salinitas tanah, mikroba, suhu tanah, biomassa, suhu udara, pH, dan kelembaban. Hasil penelitian menunjukkan adanya respirasi tanah sepanjang tahun budidaya ( $p<0,05$ ) dengan kadar air dan salinitas tanah sebanyak 75% dihasilkan melalui faktor abiotik dan biotik. Efek tidak langsung dari salinitas tanah dan kadar air melalui mikroba, suhu dan biomassa [10]. Memperkirakan kekeringan meteorologis dan pertanian di wilayah Pernabuco, Brasil menggunakan data kelembaban tanah, Soil Moisture and Salinity (SMOS) untuk produktivitas dan luas panen jagung dan sorgum, hasil penelitian Soil Moisture Agricultural Drought Index (SMADI) menunjukkan periode kekeringan, korelasi produksi jagung dan tingkat keparahan SMADI lebih berpengaruh dibanding sorgum [15].

Penelitian terkait penerapan IoT dan kontrol PID dalam pertanian jagung khususnya di Kabupaten Bengkayang belum banyak dilakukan. Pada penelitian menawarkan pendekatan manajemen tanah menggunakan IoT dan PID dengan variabel pengukuran seperti pH, suhu, dan kelembaban tanah untuk melakukan penyiraman dan pemberian nutri atau pupuk pada tanah berdasarkan hasil pengukuran. Sehingga sistem yang dihasilkan dapat mengumpulkan data tanah dan mengirim data ke kontroller untuk diteruskan ke sistem sebagai informasi untuk menentukan pengambilan keputusan dan rekomendasi yang tepat guna. Penerapan IoT telah banyak dilakukan pada bidang pertanian [14] dan telah membawa dampak positif dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian. *Internet of things* merupakan koneksi benda fisik ke internet [16] untuk mengakses data sensor jarak jauh [17] dan mengendalikan dunia fisik dari jarak jauh. Sedangkan Proportional-Integral-Derivative merupakan metode control [18] [19] [13].

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini membahas tentang sistem pengukuran pH, suhu dan kelembaban tanah menggunakan teknologi *internet of things*(IoT) dengan metode *Proportional Integral Derivative* (PID). Adapun desain penelitian yang dilakukan penelitian ini digambarkan dengan diagram alir dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Alur Pelaksanaan Penelitian

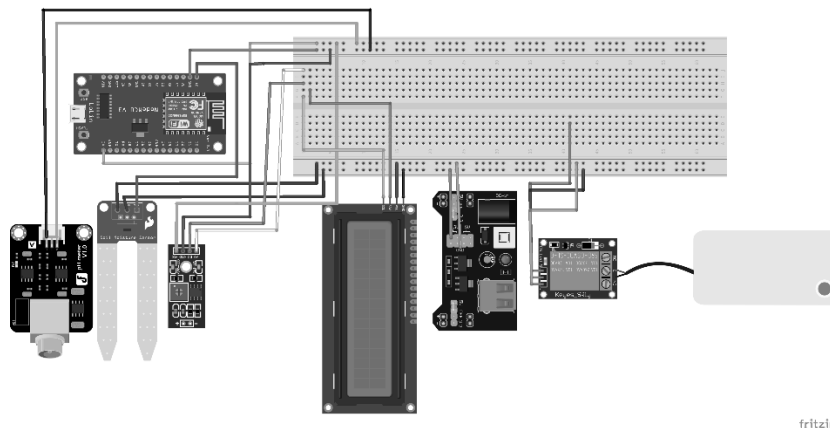
Gambar 1 merupakan flowchart yang menggambarkan alur pelaksanaan penelitian yang dilakukan dengan uraian sebagai berikut :

### 2.1 Persiapan

Pertama persiapan, langkah awal ini dilakukan untuk menyusun latar belakang dan perumusan masalah berdasarkan studi literatur. Studi literatur dilakukan tidak hanya untuk menemukan referensi melainkan mencari data pendukung seperti data dari BPS terkait penurunan jumlah produksi jagung serta teori penunjang untuk memperkuat landasan dan gagasan dalam menjawab tantangan permasalahan yang berhasil teridentifikasi. Kemudian melakukan studi literatur mendalam untuk menentukan metode dan teknologi yang dapat mendukung komponen penelitian, dalam menjawab permasalahan yakni proses pemantauan melalui pengukuran pH, suhu, dan kelembaban tanah yang mendukung pertumbuhan tanaman jagung serta memastikan proses pertumbuhan tanaman baik dengan pemberian pupuk dan nutrisi yang sesuai dengan kondisi tanah. Adapun peralatan yang diperlukan, seperti sensor pH tanah dengan *data measurement system* (DMS), DS18B20, Capaltive Soil Moisture, mikrokontroler (Arduino Uno), modul WIFI (ESP8266), ESP32, pompa air, kabel jumper, USB, dan IDE Arduino.

### 2.2 Implementasi Konfigurasi Sistem

proses konfigurasi sistem menggunakan hasil hardware yang telah disiapkan mulai dari menghubungkan sensor pH, suhu dan kelembaban tanah ke dalam mikrokontroler serta rangkaian IoT lainnya. Adapun skema rangkaian IoT untuk mengukur pH, suhu dan kelembaban tanah terdapat pada gambar 2.



Gambar 2. Skema Desain Sistem

Berdasarkan pada gambar 2, setelah rangkaian IoT selesai dibangun, selanjutnya melakukan pengujian sistem. Proses pengujian sistem melibatkan nilai PID yang terdiri dari  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  serta nilai setpoint dari masing-masing sensor.

### 2.3 Tuning PID dan Implementasi Nilai $K_p$ , $K_i$ , dan $K_d$ .

Adapun langkah-langkah dalam melakukan tuning PID adalah sebagai berikut :

- Mengumpulkan data dari masing-masing sensor sebagai dataset awal untuk memodelkan respon dari masing-masing data yang dihasilkan sensor.
- Analisis data : analisis untuk menghasilkan nilai waktu tunda, waktu respon, konstanta waktu dan identifikasi orde.
- Transfer Function: proses *transfer function* dari sistem yang dirumuskan berdasarkan data awal. Kemudian *transfer function* diimplementasikan kedalam persamaan diferensial untuk menghasilkan nilai max output, waktu settling dan persentase error sehingga didapat persamaan diferensial sebagai berikut :

$$K_p = 0.6 \times K_u, K_i = \frac{2xK_p}{T_u}, K_d = \frac{K_p \times T_u}{8} \tag{1}$$

- Orde dua dengan persamaan :

$$H(s) = \frac{K}{T^2s^2 + 2\zeta Ts + 1} \tag{2}$$

Dimana :  $K$  adalah gain sistem,  $T$  adalah waktu waktu respons (*time constant*),  $\zeta$  adalah rasio redaman (*damping ratio*),  $K_u$  adalah ultimate gain dan  $T_u$  adalah ultimate period yang diperoleh dari eksperimen.

- Menghitung waktu tunda ( $L$ ) dan waktu respon ( $Tr$ ) dengan pendekatan Ziegler Nichols.

$$T = \frac{Tr-L}{2} = T = \frac{Tr-L}{2} \tag{3}$$

$$\zeta \approx \frac{L}{T} = \zeta \approx \frac{L}{T} \tag{4}$$

$$\omega_n \approx \frac{4}{Tr} \tag{5}$$

### 2.4 Pengujian dan Analisis

Pengujian sistem dilakukan untuk melihat respon sistem terhadap setpoint dari masing-masing sensor dengan membandingkan data dari pengukuran dilapangan. Pengujian ini melibatkan variabel *overshoot*, waktu settling dan persentase error. Pengujian ini juga sebagai bahan evaluasi untuk melihat kemampuan sistem terhadap kondisi optimal berdasarkan setpoint yang ditentukan. Hasil pengujian kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui akurasi sensor dalam menangani kondisi tanah pada tanaman jagung. Untuk pengujian sensor pH, pengukuran dikonversi menggunakan persamaan analog

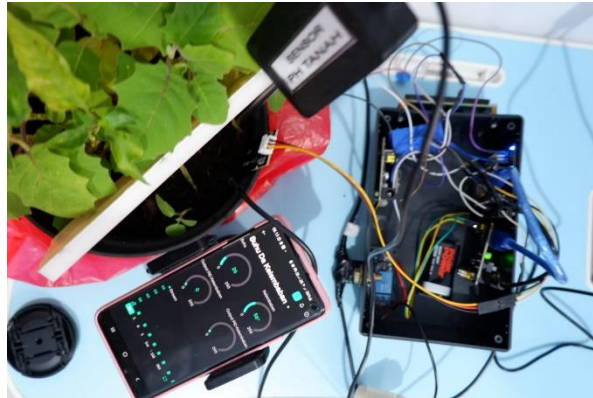
$$\text{Value} \times \left( \frac{3.3}{4096.0} \right) \tag{6}$$

Kemudian, kalibrasi sensor pH dilakukan menggunakan persamaan

$$\text{pH} = 3.5 \times \text{voltage} + 0.1 \tag{7}$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa hal yang menjadi hasil penelitian ini antara lain pengumpulan dataset awal dari masing-masing sensor untuk menghasilkan pola data, pengamatan pada sensor PH, suhu dan kelembaban dengan metode PID serta data hasil pengukuran pada salah satu kebun jagung. Untuk mengetahui kinerja hasil rangkaian IoT, sistem dilakukan pengujian pada tahap persiapan tanah sebelum dilakukan pada lokasi penanaman jagung. Pengujian pada tahap persiapan tanah menggunakan sampel tanah yang didapat dari salah satu lokasi kebun jagung. Adapun rangkaian IoT keseluruhan alat yang telah dirangkai dan diuji sebagaimana terdapat pada gambar 3.



**Gambar 3.** Rangkaian IoT Pengukuran pH, Suhu dan Kelembaban

Berdasarkan gambar 3. Rangkaian IoT yang terdiri dari sensor pH, suhu, dan kelembaban tanah telah berhasil dirangkai dan diuji untuk memastikan sistem serta proses dapat berfungsi dengan baik. Pengujian sistem pada tahap awal ini menggunakan sampel tanah sebelum diterapkan pada tanaman jagung. Rangkaian IoT yang dihasilkan telah berhasil dihubungkan dengan dashboard bylink sebagai antarmuka untuk menampilkan informasi nilai sensor dalam pemantauan kondisi tanah. Informasi awal kemudian dikumpulkan sebagai dataset awal yang kemudian dianalisis untuk melihat pola data. Adapun dataset awal yang dihasilkan sebagaimana terdapat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Data Awal Sensor

Suhu	Kelembaban	pH
32.00°C	56.7%	3.56
31.94°C	56.8	3.89
31.94°C	56.9%	4.62
...	...	...
33.81°C	34.5%	4.10
33.88°C	34,5%	4.06
33.88°C	32.7%	4.08

Kemudian dilakukan analisis untuk menghasilkan nilai waktu tunda dan waktu respon dengan menggunakan library signal.dlti dan dstep. Hasil analisis ini berfungsi untuk memahami karakteristik respon sensor terhadap perubahan nilai sensor pada lingkungan pengujian. Adapun hasil analisis disajikan pada tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai Waktu Tunda dan Waktu Respon

<b>Waktu Tunda:</b>	<b>2.16</b>
<b>Waktu respon</b>	<b>3.97</b>

Dari data waktu tunda dan waktu respon, didapatkan jenis orde yakni dengan orde dua, maka digunakan pendekatan *transfer function* dalam bentuk standar orde kedua menggunakan persamaan 2. Kemudian, setelah mendapatkan persamaan, dilanjutkan dengan menghitung parameter sistem dengan konstanta waktu dan frekuensi alami ( $\omega_n$  dan faktor redaman  $\zeta$  dihitung dari waktu tunda dan waktu respon. Dikarenakan penulis menggunakan orde kedua, sehingga penulis menggunakan variabel waktu tunda (L) dan waktu respon (Tr) dengan pendekatan Ziegler Nichols dengan persamaan 3,4, dan 5.

$$T = \frac{3.98 - 2.16}{2} = 0.91 \text{ Detik}$$

$$\zeta = \frac{2.16}{0.91} \approx 2.37$$

$$\omega_n = \frac{4}{3.98} \approx 1.01 \text{ rad/s}$$

Berdasarkan hasil perhitungan konstanta waktu, faktor redaman dan frekuensi alami, selanjutnya diimplementasikan dalam persamaan Ziegler-Nichols sebagai berikut :

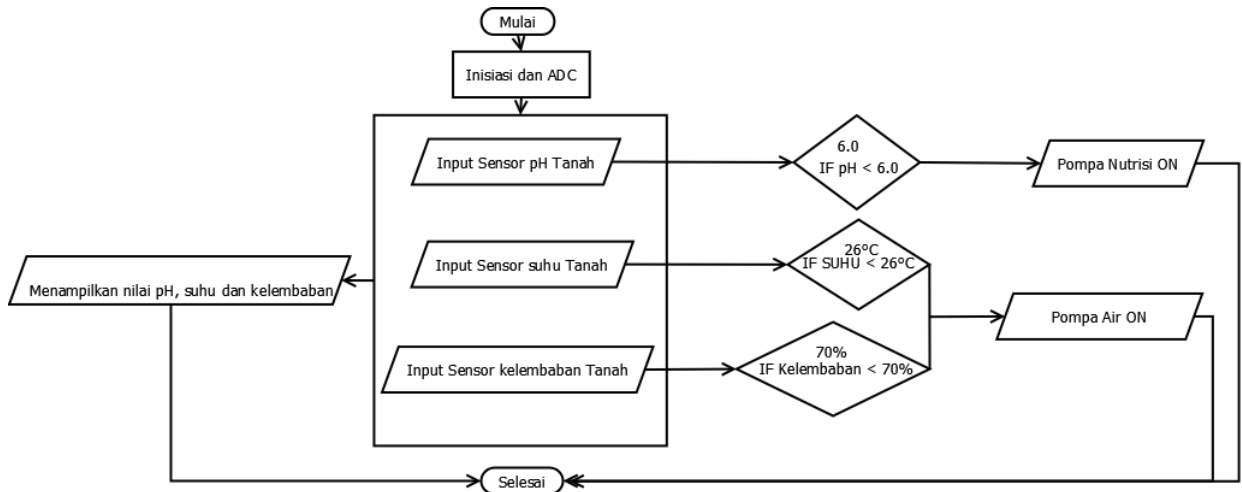
$$K_p = \frac{2\zeta\omega_n T}{K} = \frac{2 \times 2.37 \times 1.01 \times 0.91}{1} \approx 4.31$$

$$K_i = \frac{\omega_n^2 T^2}{K} = \frac{1.01^2 \times 0.91^2}{1} \approx 0.85$$

$$K_d = \frac{2\zeta T}{K} = \frac{2 \times 2.37 \times 0.91}{1} \approx 4.33$$



Berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan ziegler-Nichols didapatkan nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yakni, 4.31, 0.85 dan 4.33. kemudian setiap sensor dalam sistem memiliki nilai setpoint untuk mengontrol pompa secara otomatis. Adapun flowchart logika kerja dari masing-masing variabel sensor terdapat pada gambar 5.



Gambar 5. Logika Kerja Sensor

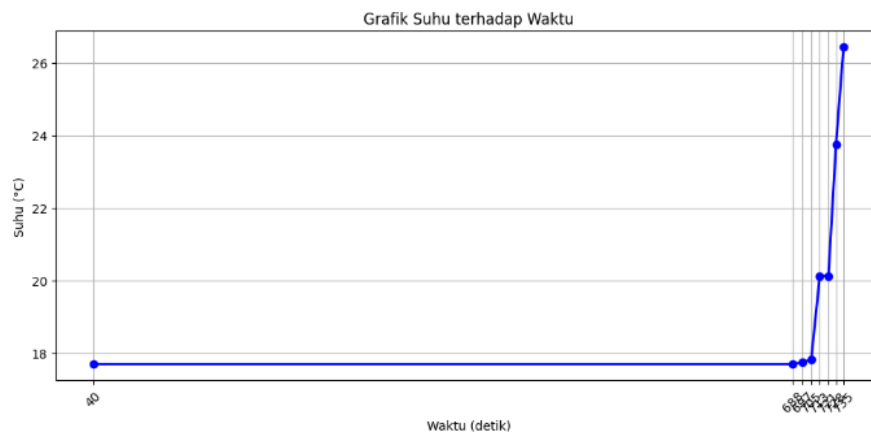
Adapun uraian dari logika kerja sensor sebagai berikut :

- Sensor pH tanah dengan nilai setpoint 6.0 [20] , jika nilai pH kurang dari nilai setpoint, maka pompa akan aktif untuk memberikan nutrisi pada tanah sehingga keseimbangan kondisi tanah dapat teratasi.
- sensor suhu dengan nilai setpoint 26°C, jika nilai suhu berada diatas nilai setpoint maka pompa akan aktif untuk melakukan penyiraman sehingga suhu tetap berada pada kategori normal.
- sensor kelembaban tanah dengan nilai setpoint 70%. Jika nilai kelembaban berada diatas nilai setpoint maka pompa akan aktif untuk melakukan penyiraman agar kelembaban tanah tetap terjaga.

Selanjutnya, dilakukan pengujian pada masing-masing sensor menggunakan nilai setpoint yang disesuaikan dengan fungsi sensor sebagai berikut :

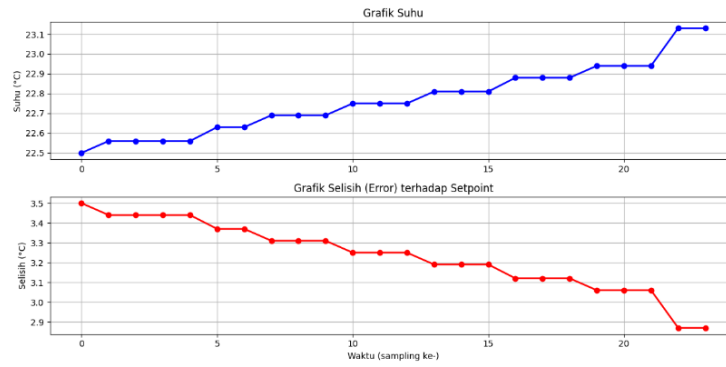
- Pengujian sensor suhu dengan PID

Pengujian sensor terhadap sistem kendali suhu menggunakan setpoint 26°C dengan penentuan nilai setpoint disesuaikan berdasarkan kebutuhan suhu tanah pada tanaman jagung yakni Suhu yang ideal untuk tanaman jagung berkisar antara 21°C–30°C, dengan suhu optimum di sekitar 23°C–27°C. pengujian dilakukan sebagai upaya untuk mengetahui kondisi suhu tanah. Pengujian dilakukan dengan sampling waktu, dengan nilai  $K_p=4.31$   $K_i$  0.85 dan  $K_d=4.33$  dihasilkan nilai awal suhu tanah 17.69°C hingga mencapai nilai setpoint ke 26.44°C dalam waktu 15 detik, menunjukkan settling time 12 dan 15 , rise time 7, nilai error 0 dan overshoot 0.



Gambar 5. Respon Sistem kontrol PID Suhu

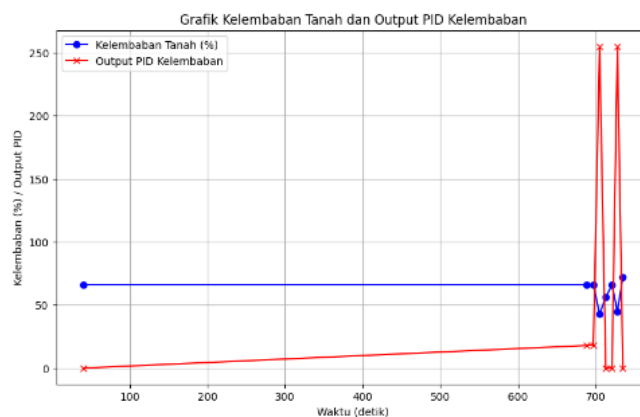
Berdasarkan hasil respon sistem pada gambar 5, pengujian kontrol sistem dilakukan dengan memberikan pengaruh pemanas dari *hair dryer* menunjukkan bahwa kontrol PID mampu mencapai luaran suhu yang mendekati nilai setpoint dengan nilai awal 22.88°C hingga 25.88°C dengan waktu 46 detik. Waktu yang dibutuhkan oleh controller untuk mencapai nilai setpoint adalah 46-50 detik. Dengan menggunakan persamaan mean absolute error (MAE), didapatkan nilai error steady state error sebesar 2.69% dengan overshoot -11.04%. sebagaimana terdapat pada gambar 6, dan menghasilkan pompa air menyala. Settling time membutuhkan 33 detik setelah sistem diberikan.



Gambar 6. Respon Sistem kontrol PID Suhu

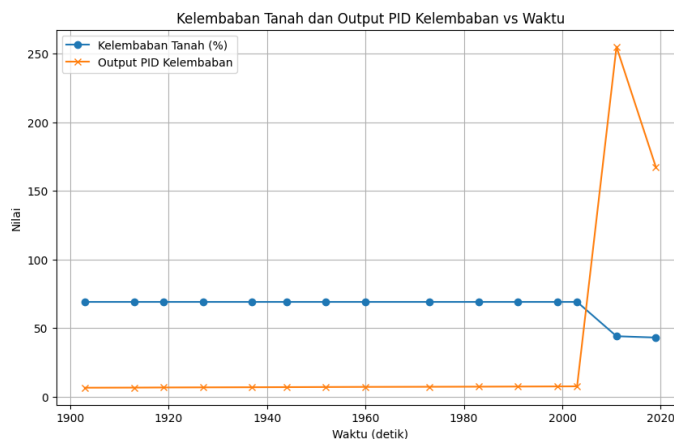
b. Pengujian sensor kelembaban dengan PID

Pengujian sensor terhadap sistem kendali kelembaban tanah dengan setpoint 70% yang disesuaikan berdasarkan kebutuhan kelembaban tanah pada tanaman jagung yakni kelembaban yang ideal untuk tanaman jagung berkisar antara 70% - 80%. pengujian dilakukan sebagai upaya untuk mengetahui kondisi kelembaban tanah. Pengujian dilakukan dengan sampling waktu, dengan nilai  $K_p=4.31$   $K_i$  0.85 dan  $K_d=4.33$  menghasilkan nilai kelembaban awal tanah 43% hingga mencapai nilai setpoint ke 72% dalam waktu 15 detik, menunjukkan settling time detik 53 dan detik 15, rise time 7, nilai error  $-2\%$  dan *overshoot* 2.86%.



Gambar 7. Respon Sistem Kontrol PID Kelembaban

Berdasarkan hasil respon sistem pada gambar 7, pengujian kontrol sistem dilakukan dengan memberikan pengaruh pemanas dari *hair dryer* menunjukkan bahwa kontrol PID mampu mencapai luaran kelembaban yang mendekati nilai setpoint dengan nilai awal 43.00% hingga 69.00% dengan waktu 33 detik. Waktu yang dibutuhkan oleh controller untuk mencapai nilai setpoint adalah 33 detik. Dengan menggunakan persamaan mean absolute error (MAE), didapatkan nilai error steady state error sebesar 1.00% dengan *overshoot* 0%. sebagaimana terdapat pada gambar 8, dan menghasilkan pompa air menyala. Settling time membutuhkan 43 detik setelah sistem diberikan pengaruh.

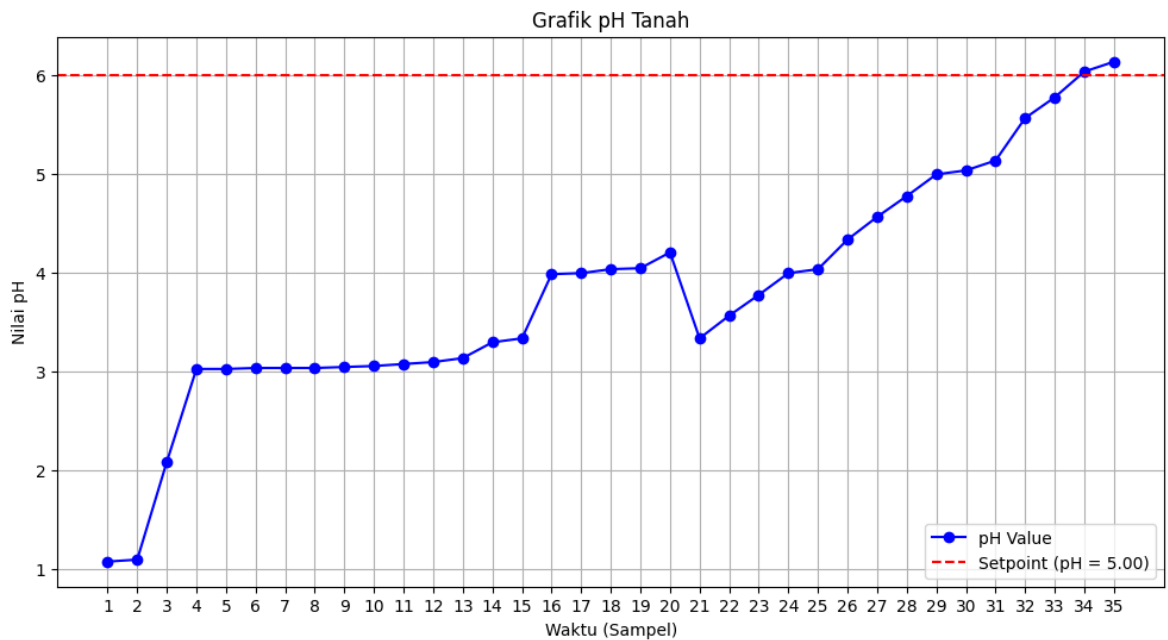


Gambar 8. Respon Sistem Kontrol PID Kelembaban

c. Pengujian sensor pH dengan PID

Pengujian sensor terhadap sistem kendali pH dilakukan dengan setpoint 6.0 yang disesuaikan dengan kebutuhan nutrisi pH pada tanaman jagung. Menurut BBP Palembang <https://bbppalembang.bppsdp.pertanian.go.id/> Kondisi pH yang baik untuk pertumbuhan jagung hibrida berkisar antara 5,5 - 7,0 dan pH optimal 6,8 terutama pada saat berbunga dan pengisian biji. Pengujian sensor pH dikonversi menggunakan persamaan analog value dengan kalibrasi pada persamaan 6 dan 7.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kondisi pH tanah secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali PID dengan nilai  $K_p = 4.33$ ,  $K_i = 0.85$ , dan  $K_d = 4.33$  dapat mencapai setpoint pH 6.0 dengan waktu 31 detik, menunjukkan settling time 33 detik, rise time 31 detik dengan nilai error steady state 0.13% dan overshoot 0.13 %.



Gambar 9. Respon Sistem Kontrol PID Kelembaban

Berdasarkan Gambar 9, nilai pH 1.07 berada dalam kategori tanah asam. Maka, untuk meningkatkan pH mendekati 6.0, diperlukan pemberian kapur untuk mencapai nilai setpoint dalam waktu 33 detik. Selisih antara pH tanah aktual dan pH yang diinginkan adalah 4.93 (6.0 – 1.07). Berdasarkan hasil respon sistem, menunjukkan bahwa kontrol PID mampu mencapai luaran pH yang bernilai awal 1.07 hingga 6.13 dengan waktu 33 detik. Waktu yang dibutuhkan oleh kontroller untuk mencapai nilai setpoint adalah 33 detik. Dengan menggunakan persamaan *mean absolute error* (MAE), didapatkan nilai error steady state error sebesar -0.13 dengan overshoot 2.17%.

Setelah didapatkan hasil penelitian dan pengujian sistem kontrol PID pada masing-masing sensor, selanjutnya dilakukan pengukuran pada salah satu kebun jagung sebagai sampel untuk melihat kondisi tanah pada tanaman jagung. Pengujian pada tanah setelah ditanami jagung dilaksanakan pada salah satu kebun jagung yang berada di sebalu, Jl Bukit Tinggi, Bengkayang, Kalimantan Barat. Pengujian dilakukan pada dua titik sampel. Adapun hasil pengukuran sebagaimana terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Data Pengujian Pada Tanah Setelah Tanaman Jagung

Jam	pH Tanah	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Notifikasi
09.00	3.03	24.69	43.00	pH: Sangat Asam, Suhu: Sedang, Kelembaban: Rendah
10.00	3.45	26.75	80.00	pH: Asam, Suhu: Tinggi, Kelembaban: Tinggi
12.00	3.45	28.13	76.00	pH: Asam, Suhu: Tinggi, Kelembaban: Tinggi
14.00	4.31	28.13	70.00	pH: Asam, Suhu: Tinggi, Kelembaban: Sedang
16.00	3.44	28.66	69.00	pH: Asam, Suhu: Tinggi, Kelembaban: Sedang
17.00	3.02	28.94	44.00	pH: Sangat Asam, Suhu: Tinggi, Kelembaban: Rendah
18.00	3.01	25.13	43.00	pH: Sangat Asam, Suhu: Sedang, Kelembaban: Rendah

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada tanah yang telah ditanami jagung dapat dilihat bahwa kondisi tanah seperti pH, suhu dan kelembaban memiliki nilai yang bervariasi. Nilai pH berada pada rentang nilai antara 3.03-3.45 masuk dalam kategori asam. Selanjutnya nilai suhu berada pada 24.69-28.66 masuk dalam kategori sedang hingga tinggi. Sedangkan nilai kelembaban berada antara 43-80 masuk dalam kategori rendah hingga tinggi, menyesuaikan kondisi lingkungan waktu pelaksanaan pengujian. Kelembaban dan suhu tanah 76% dan 80% dipengaruhi oleh curah hujan sehingga kadar air dalam tanah dapat mendukung pertumbuhan tanaman dengan baik.



Kondisi pH, suhu dan kelembaban tanah pada tanaman jagung menyesuaikan kondisi lingkungan dari faktor alam. Berdasarkan data hasil pengujian, sensor pH tanah, suhu, dan kelembaban tanah mampu mengukur dengan baik. Hal ini didukung dengan nilai keakurasian dari sensor pH tanah sebesar 60.6%, sensor suhu sebesar 98.65%, dan sensor kelembaban tanah sebesar 98,57%. Nilai keakurasian didapat dari 100% dikurangi rata-rata nilai error pada setiap pengukuran.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rangkaian, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan pada sistem pengukuran pH, suhu, dan kelembaban tanah pada tanaman jagung berbasis IoT dengan metode PID, diperoleh beberapa kesimpulan yang menunjukkan efektivitas sistem ini. Alat berhasil dirangkai dan mampu mengukur kondisi pH, suhu, dan kelembaban tanah dengan baik. Dari analisis, waktu tunda yang diperoleh adalah 2,16 detik, dan waktu respon sebesar 3,97 detik, yang selanjutnya diimplementasikan dalam metode tuning PID menggunakan pendekatan Ziegler-Nichols. Metode PID terbukti mendukung proses kontrol sistem dengan nilai parameter  $K_p = 4,33$ ,  $K_i = 0,85$ , dan  $K_d = 4,33$ , yang memungkinkan pompa untuk menyesuaikan kondisi tanah sesuai dengan nilai setpoint yang telah ditentukan. Tingkat akurasi sensor menunjukkan hasil yang baik, dengan sensor pH tanah sebesar 60,6%, sensor suhu 98,65%, dan sensor kelembaban tanah 98,57%. Pengujian menunjukkan bahwa pada suhu setpoint 26°C, sistem PID berhasil mencapai nilai tersebut dengan settling time yang cepat dan overshoot yang minim, menjaga suhu tanah dalam rentang optimal untuk pertumbuhan jagung. Selain itu, sistem mampu mempertahankan kelembaban tanah mendekati 70%, sesuai dengan kebutuhan optimal tanaman jagung. Pengujian sensor pH juga menunjukkan kemampuan sistem dalam mengendalikan pH tanah dalam rentang yang diinginkan untuk menjaga nutrisi tanaman. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa metode PID secara signifikan meningkatkan stabilitas dan akurasi dalam pengendalian kondisi tanah, yang sangat bermanfaat untuk budidaya tanaman jagung.

#### REFERENCES

- [1] Mujiadi, D. R. Hatmoko, and A. Fahmi, "Penanganan Pasca Panen Komoditas Jagung di Kecamatan Trowulan Kabupaten Mojokerto," *J. Ilmu Pertan. dan Perkeb.*, vol. 5, no. 1, pp. 01–06, 2023.
- [2] Rizal, A. I. B.D., L. O. Muh. Yamin, S. Riskiani, A. Syahrin, and M. Syaiful, "Inovasi Pemanfaatan Limbah Kulit Jagung dalam Pembuatan Kerajinan Tangan Pada Masyarakat," *J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 1, pp. 101–107, 2023.
- [3] Usman, V. R. Hapsari, and R. Ayustia, "Pemberdayaan Kelompok Wanita Tani Dalam Pemanfaatan Limbah Rambut Jagung," *J. Pengabd. Pada Masy.*, vol. 4, no. 2, pp. 33–43, 2020.
- [4] F. Kartiasih, A. Rizky Ramadhani, K. Anisya Fitri, and P. Aselnino, "Faktor-faktor yang mempengaruhi volume impor jagung Indonesia dari lima negara eksportir terbesar tahun 2009-2021," *Inov. J. Ekon. Keuang. dan Manaj.*, vol. 18, no. 4, pp. 936–946, 2022.
- [5] L. R. E. Malau, K. R. Rambe, N. A. Ulya, and A. G. Purba, "Dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan di Indonesia," *J. Penelit. Pertan. Terap.*, vol. 23, no. 1, pp. 34–46, 2023, doi: 10.25181/jppt.v23i1.2418.
- [6] A. B. Santoso, T. Supriana, and M. A. Girsang, "Pengaruh Curah Hujan terhadap Produksi Ubi Kayu di Indonesia," *Agro Bali Agric. J.*, vol. 5, no. 3, pp. 520–528, 2022, doi: 10.37637/ab.v5i3.1051.
- [7] C. Gudiato, "Improving the Effectiveness of Training for the Creation of Simple and Effective Corn Fertilizer Tools Through the Use of Innovative Video Tutorials," vol. 4, no. 3, pp. 194–204, 2023.
- [8] M. L. F. S. Thomas., "Deteksi Jenis Penyakit Dan Hama Pada Tanaman Jagung Menggunakan Arsitektur Spatial Pyramid Pooling Pada YOLOv5s," *J. Ris. Sist. Inf. Dan Tek. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 452–459, 2023, [Online]. Available: <https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jurasik>
- [9] Mira., C. Gudiato., and B. C. S. Bryan Chan, *Computer Vision dan YOLO Menggali Potensi Computer Vision dan Implementasi YOLO untuk Pertanian Pintar*. Uwais Inspirasi Indonesia, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=TVXpEAAAQBAJ>
- [10] Oktamia Anggraini Putri, "Teknologi Smart Biosoil dam untuk Analisa EC & PH Tanah sebagai Usaha Peningkatan Daya Dukung Lahan," *J. Pendidik. dan Konseling*, vol. 4, no. 20, pp. 1349–1358, 2022.
- [11] R. Sirait, "Sistem Kontrol Kelembaban Tanah Pada Tanaman Tomat Menggunakan PID," *Techno.Com*, vol. 19, no. 3, pp. 262–273, 2020, doi: 10.33633/tc.v19i3.3668.
- [12] R. Putri, A. Khainur, and A. Andasuryani, "Pengembangan Sistem Otomatisasi pH Larutan Nutrisi pada Hidroponik Sistem DFT (Deep Flow Technique) Berbasis IOT," *agriTECH*, vol. 43, p. 259, Sep. 2023, doi: 10.22146/agritech.71305.
- [13] P. Integral, D. Control, and U. X. Scilab, "Analysis and Simulation of Proportional Derivative and Proportional Integral Derivative Control Systems Using Xcos Scilab," vol. 3, no. 1, pp. 36–44, 2021.
- [14] P. Megantara, A. Triwiyatno, and H. Afrisal, "Pengontrol Suhu, Kelembaban Tanah Dan Intesitas Cahaya Pada Prototype Smart Greenhouse," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.14710/transient.v10i1.1-8.
- [15] A. G. S. S. Souza, A. Ribeiro Neto, and L. L. de Souza, "Soil moisture-based index for agricultural drought assessment: SMADI application in Pernambuco State-Brazil," *Remote Sens. Environ.*, vol. 252, no. March 2020, p. 112124, 2021, doi: 10.1016/j.rse.2020.112124.
- [16] P. Guo, K. Xiao, X. Wang, and D. Li, "Multi-source heterogeneous data access management framework and key technologies for electric power Internet of Things," *Glob. Energy Interconnect.*, vol. 7, no. 1, pp. 94–105, 2024, doi: 10.1016/j.gloi.2024.01.009.
- [17] N. Yurong, "Measurement : Sensors Research on the remote monitoring system for falls in the elderly based on the internet of things and six axis acceleration sensors," *Meas. Sensors*, vol. 32, no. October 2023, p. 101085, 2024, doi: 10.1016/j.measen.2024.101085.



- [18] T. Pistochini, M. Ellis, F. Meyers, A. Frasier, C. Cappa, and D. Bennett, “Method of test for CO<sub>2</sub>-based demand control ventilation systems: Benchmarking the state-of-the-art and the undervalued potential of proportional-integral control,” *Energy Build.*, vol. 301, no. October, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113717.
- [19] M. J. Mahmoodabadi and N. Nejadkourki, “Adaptive proportional-integral-derivative control for surgical plane cable-driven robots,” *Informatics Med. Unlocked*, vol. 31, no. March, 2022, doi: 10.1016/j.imu.2022.100992.
- [20] D. Rahmawati, K. D. Ariyanto, H. Sukri, and D. N. Purnamasari, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Untuk Penyediaan Kualitas Air Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani,” *Semin. Nas. Fortei7-6*, vol. 6, no. 1, pp. 94–102, 2024.