

## PENERAPAN SMART INDOOR FARMING HIDROPIK (SISTEM HIPOI VERSI 2.0) PADA TANAMAN SELADA

Musayyanah<sup>1\*)</sup>, Harianto<sup>2</sup>, Weny Indah Kusumawati<sup>2</sup>, Rizal Rahmat Maulana<sup>2</sup>  
dan Fahrul Teddy Pradana<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Telekomunikasi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya,

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Komputer, Universitas Dinamika, Surabaya, Indonesia

<sup>\*)</sup>Penulis korespondensi, E-mail: musayyanah@pens.ac.id

### Abstrak

*Smart Indoor Farming* adalah salah satu solusi pada pertanian konvensional di era *Agriculture 4.0*. Salah satu penerapan teknologi Internet of Things (IoT) mampu mempermudah penerapan hidroponik *indoor*. Sistem HIPOI versi 2.0 merupakan pengembangan inovatif pada metode hidroponik indoor berbasis teknologi IoT. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sensor nutrisi menggunakan metode tapis median, meningkatkan akurasi pencahayaan dengan *growlight* putih, serta menerapkan otomatisasi pemberian nutrisi melalui pompa pengaduk dan nutrisi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan filter median secara signifikan meningkatkan akurasi sensor nutrisi hingga 13,66% pada larutan air mineral dan 1,06% pada larutan campuran nutrisi. Lampu *growlight* putih memberikan hasil pertumbuhan tanaman selada terbaik dibandingkan spektrum lainnya, dengan daun yang lebih lebat dan lebar. Implementasi pompa nutrisi otomatis yang didukung pompa pengaduk berhasil mencampur nutrisi secara efisien, dengan nilai *error* sensor di bawah 5%. Sistem HIPOI versi 2.0 juga berhasil diterapkan untuk menumbuhkan tanaman selada dengan hasil yang sehat dan stabil. Temuan ini membuktikan bahwa teknologi ini memberikan solusi praktis dan efektif untuk pertanian cerdas di era *Agriculture 4.0*.

*Kata kunci:* Agriculture 4.0, Hidroponik, Indoor, IoT, Tapis Median, Selada.

### Abstract

*Smart indoor farming is one of the solutions for conventional agriculture in the agriculture 4.0 era. The application of Internet of Things (IoT) technology facilitates the implementation of indoor hydroponics. The HIPOI System Version 2.0 is an innovative development of the indoor hydroponic method based on IoT technology. This research aims to optimize the performance of nutrient sensors using the median filter method, improve lighting accuracy with white grow lights, and implement automated nutrient delivery through mixing and nutrient pumps. The test results show that the use of the median filter significantly improves the accuracy of nutrient sensors by up to 13.66% in mineral water solutions and 1.06% in nutrient-mixed solutions. White grow lights provide the best growth results for lettuce plants compared to other light spectrums, with wider and denser leaves. The implementation of automated nutrient pumps supported by mixing pumps successfully mixed nutrients efficiently, with sensor error values below 5%. The HIPOI System Version 2.0 has also been successfully applied to grow lettuce plants with healthy and stable results. These findings demonstrate that this technology offers a practical and effective solution for smart agriculture in the agriculture 4.0 era.*

*Keywords:* Agriculture 4.0, Hydroponics, Indoor, IoT, Filter Median, Selada.

### 1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi yang signifikan mengubah cara kerja, sistem, praktik dan metode dalam industri pertanian. *Agriculture 4.0* membangun ekosistem pertanian yang terintegrasi, otomatis dan cerdas. Teknologi yang muncul pada *Agriculture 4.0* adalah IoT, robotika, kecerdasan buatan, *big data* dan *block chain*. Integrasi kelima teknologi tersebut bermanfaat untuk pengoptimalan sumber daya dan produksi hasil pertanian [1]-[2]. Sistem pertanian konvensional membutuhkan banyak sumber daya lahan, irigasi, dan tenaga kerja.

*Smart indoor farming (Sif)* merupakan salah satu solusi untuk mengatasi kekurangan dari pertanian konvensional. Karakteristik pertanian cerdas dalam ruang adalah *soilless framing* (pertanian tanpa tanah), *energy harvesting* (pemanfaatan energi), dan *smart technologies* (teknologi pintar). Pertanian dalam ruang dapat menjawab potensi kebutuhan revolusi pertanian pada era *Agriculture 4.0* [3]. *Sif* merupakan teknologi inovasi yang baru dan menjadi sasaran industri yang bernilai jutaan dolar [4]. Teknologi inovasi tersebut dikenal dengan *Internet of Things (IoT)*. IoT merevolusi sektor pertanian dengan berbagai solusi

inovatif untuk pemantauan, pengendalian dan pelacakan, dengan beberapa tantangan yang harus dihadapi seperti biaya penerapannya, standar dan keandalan teknologi yang digunakan [5]. Pengembangan *Sif* dalam bentuk prototipe *Indoor Farming Support a as Service* (IFSaaS) pada [6], mengerjakan integrasi perangkat keras dengan *cloud* untuk mengendalikan kondisi lingkungan. Aspek yang diperhatikan pada *Sif* adalah pencahayaan, pemberian nutrisi dan iklim/suhu. Pencahayaan sebaiknya disesuaikan dengan jenis tanaman yang ditanam, termasuk intensitas dan spektrum cahaya yang optimal untuk proses fotosintesis. Pemberian nutrisi harus disesuaikan dengan masa pertumbuhan tanaman agar tanaman memperoleh unsur hara yang cukup dan seimbang. Iklim dan suhu disesuaikan untuk menciptakan kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan tanaman, seperti kelembapan dan ventilasi, sehingga tanaman dapat tumbuh sehat tanpa risiko.

Intensitas cahaya harus dioptimalkan untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi tingkat stres dari tanaman. Penelitian yang berfokus terhadap pencahayaan pada tanaman hidroponik selada dilakukan oleh [7]. Cahaya putih dengan intensitas 300watt memberikan hasil yang baik untuk tanaman selada. Selain itu, durasi penyinaran untuk tanaman hidroponik sekitar 18-20 jam [8]. Parameter cahaya perlu dikendalikan sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Instalasi pemberi nutrisi pada tanaman hidroponik telah diklaimkan pada paten [9], dimana instalasi tersebut menyebutkan terdapat dua wadah untuk nutrisi A dan B. Parameter nutrisi yang terlarut pada air, dibaca oleh sensor TDS. Optimalisasi pembacaan nilai ppm oleh sensor TDS tidak dibahas pada paten ini. Sama halnya pada [10] melakukan pengendalian nutrisi dengan batasan nilai kurang dari 600 ppm pompa akan mengalirkan nutrisi sampai batasan mencapai 800 ppm. Penerapan sensor TDS yang lain adalah mendeteksi jumlah zat yang terlarut untuk memantau kualitas air [11]. Dosis kadar nutrisi berpengaruh pada hasil tinggi tanaman [4], sehingga perlu dilakukan pemantauan dan kendali dari kadar nutrisi yang ditunjukkan.

Hasil luaran sensor TDS dipengaruhi oleh gangguan lingkungan, seperti perubahan suhu, arus listrik dan interferensi elektromagnetik. Agar hasil pembacaan nutrisi lebih akurat, maka ditambahkan metode tambahan tapis/filter, untuk menyaring data yang tidak relevan atau data yang tidak stabil. Selain itu, peningkatan kerja sensor TDS dapat ditingkatkan dengan penerapan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) seperti pada [12]. Penerapan JST membutuhkan perangkat spek yang tinggi sehingga membutuhkan biaya yang lebih tinggi untuk penerapannya.

Penerapan filter Median pada perangkat sensor memberikan hasil yang lebih baik. Pada [13] menentukan intensitas sensor cahaya menggunakan algoritma filter

median, berhasil meningkatkan akurasi dan mengurangi kesalahan. Filter Median juga diterapkan pada sensor tekanan [14] dan sensor garis pada Robot [15]. Filter median dapat meningkatkan akurasi pembacaan sensor, sehingga pada artikel ini menerapkan filter median yang sangat sederhana untuk mengoptimalkan kerja sensor nutrisi.

Artikel ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya pada [16]. Sistem HIPOI 1.0 adalah produk inovasi dari hasil penelitian, yang terdiri dari parameter nutrisi, pencahayaan, dan suhu. Sistem HIPOI 1.0 terus dikembangkan sampai versi terbarunya dibahas pada artikel ini yakni Sistem HIPOI 2.0. Kebaruan dari sistem HIPOI 2.0 ini terletak pada integrasi algoritma pompa pengaduk dan pompa nutrisi yang bekerja secara simultan untuk mengatasi masalah pengendapan nutrisi dalam tandon. Berbeda dengan sistem konvensional sebelumnya yang hanya melakukan penambahan nutrisi secara statis, HIPOI 2.0 memastikan homogenitas larutan dengan siklus pengadukan 0,5 detik sebelum sensor TDS melakukan pembacaan ulang.

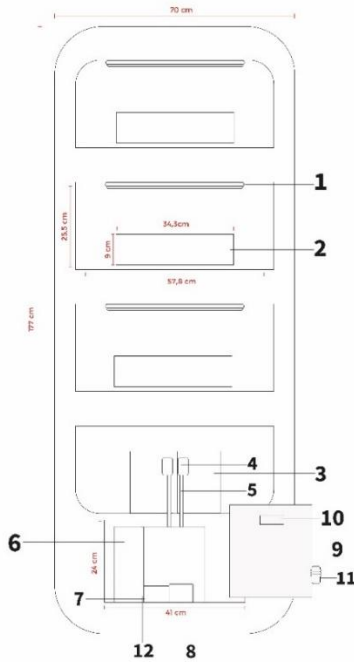
Penelitian mengenai otomatisasi hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) telah banyak dilakukan, namun sebagian besar sistem terdahulu masih memiliki keterbatasan dalam akurasi pembacaan sensor akibat gangguan elektrik (*noise*) dan masalah ketidakmerataan campuran nutrisi atau pemisahan lapisan nutrisi dalam tandon [17][18]. HIPOI 2.0 hadir untuk mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan algoritma filter median untuk menstabilkan data sensor, pompa pengaduk otomatis untuk menjamin larutan tercampur merata sebelum data diambil, serta sistem kontrol IoT yang adaptif. Perbedaan utama HIPOI 2.0 dibanding sistem IoT lainnya terletak pada kombinasi sinkronisasi pengadukan mekanis dan logika ambang batas yang secara eksplisit mengatasi kesalahan pembacaan sensor (dengan *error* di bawah 10%), sehingga posisi sistem ini tidak hanya sebagai alat pemantau, tetapi sebagai sistem kendali presisi yang mampu mendukung fase pertumbuhan daun (vegetatif) tanaman secara optimal hingga target 1000 ppm.

## 2. Metode

Instalasi wadah sistem HIPOI 2.0 terlihat pada Gambar 1. Perangkat IoT terdiri dari mikrokontroler ESP 32, sensor nutrisi, modul pewaktu (RTC), lampu *growlight* yang terhubung dengan relay, dan tiga jenis pompa. Pompa1 digunakan untuk sistem sirkulasi vertikal pada peraian hidroponik. Pompa2 berjumlah dua yang terpasang pada wadah nutrisi A dan wadah nutrisi B. Pompa3 terpasang pada wadah pencampuran nutrisi, sebagai pengaduk nutrisi pada air. Keseluruhan dari instalasi perangkat sistem HIPOI 2.0 ditunjukkan pada Gambar 1.

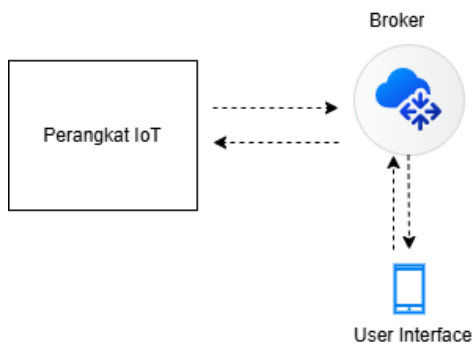
Keterangan pada Gambar 1 menunjukkan instalasi perangkat pada wadah hidroponik indoor. Wadah

hidroponik indoor terdiri dari tiga rak wadah tanaman dan dua rak terakhir untuk wadah nutrisi dan wadah pencampuran nutrisi. 1 merupakan lampu *growlight*. 2 merupakan wadah tanaman. 3 adalah wadah kedua nutrisi AB Mix. 4 pompa nutrisi yang disalurkan lewat selang 5, yang terhubung juga pada wadah pencampuran pada 6. Sensor Nutrisi 7 ditelakkan pada wadah 6. Kotak kendali terletak pada 9 dengan LCD 10. Di samping kotak kendali 11 dipasang sensor suhu.



Gambar 1. Instalasi perangkat sistem HIPOI 2.0

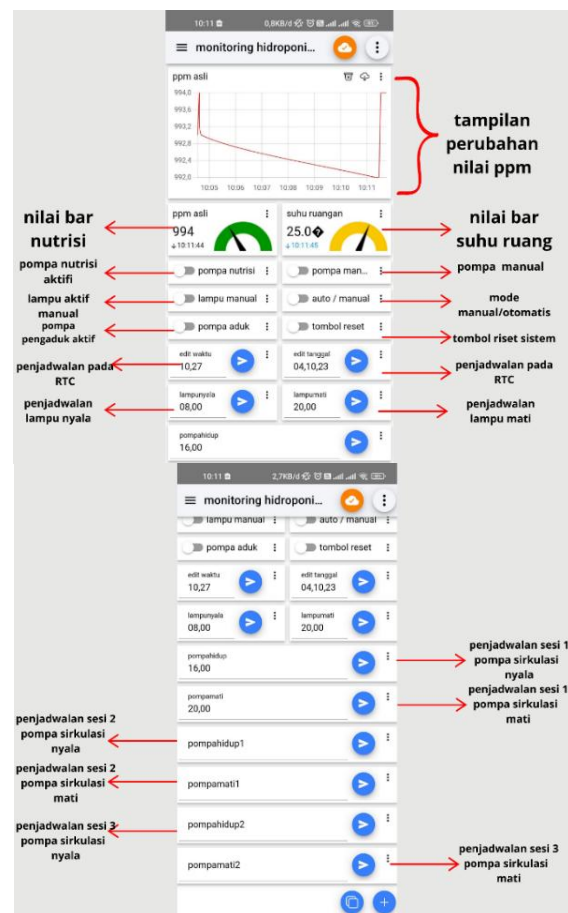
Sedangkan sistem HIPOI 2.0 yang terpasang pada kotak, terlihat pada Gambar 2. Perangkat IoT terhubung dengan aplikasi broker yang dikenal dengan IoT MQTT. Sistem HIPOI 2.0 terdiri dari dua fitur, yakni pemantauan dan kendali. Fitur pemantau terdiri dari kadar nutrisi. Fitur kendali terdiri dari nyala/mati lampu *growlight*, nyala/mati pompa nutrisi otomatis, nyala/mati pompa sirkulasi, nyala/mati pompa pengaduk otomatis.



Gambar 2. Keseluruhan sistem HIPOI 2.0

Gambar 3 merupakan tampilan aplikasi untuk memantau hasil sensor dan melakukan aksi pada fitur pengendalian. Aplikasi ini dikembangkan dari MQTT Panel IoT yang terdapat pada *playstore*. Tampilan dari sensor nutrisi direpresentasikan dalam bentuk grafik dan bar, agar mudah dianalisis dan dipantau perubahan nilai kadar nutrisinya. Nilai dari sensor suhu ditunjukkan dengan nilai bar, digunakan untuk memantau suhu lingkungan sekitar.

Aplikasi ini berfungsi sebagai antarmuka pengguna (*user interface*) utama untuk memantau dan mengendalikan seluruh parameter pada sistem HIPOI 2.0 secara *real-time* melalui protokol IoT. Tampilan pada Gambar 3, fitur-fitur utama aplikasi dibagi menjadi beberapa panel kendali:



Gambar 3. Aplikasi Sistem HIPOI 2.0

**Visualisasi Data Sensor:** Aplikasi menampilkan grafik perubahan nilai TDS (ppm) secara berkala untuk memantau stabilitas nutrisi. Selain itu, terdapat *gauge bar* yang menunjukkan angka aktual nutrisi (misalnya 994 ppm) dan suhu ruangan (25,0°C) untuk memudahkan pembacaan cepat.

**Kendali Aktuator Manual dan Otomatis:** Pengguna dapat mengaktifkan atau menonaktifkan pompa nutrisi, pompa pengaduk, dan lampu secara manual melalui tombol *toggle*. Terdapat pula opsi untuk beralih antara

mode manual dan otomatis guna menjalankan algoritma *closed-loop* yang telah dirancang.

**Penjadwalan Berbasis RTC (*Real-Time Clock*):** Aplikasi terintegrasi dengan modul RTC untuk mengatur jadwal operasional secara presisi. Pengguna dapat mengedit waktu dan tanggal, serta menentukan jadwal lampu menyala (pukul 08.00) dan mati (pukul 20.00).

**Manajemen Sirkulasi Air:** Untuk menjaga ketersediaan oksigen dan pergerakan nutrisi, aplikasi menyediakan tiga sesi penjadwalan pompa sirkulasi dalam sehari. Contohnya, sesi 1 diatur untuk menyala pada pukul 16.00 dan mati pada pukul 20.00.

**Fitur Pemeliharaan:** Tersedia tombol "reset sistem" untuk memulihkan konfigurasi perangkat keras dari jarak jauh jika terjadi kendala pada kontroler.

Integrasi aplikasi ini mendukung pencapaian data pada Tabel 4, di mana monitoring yang presisi memungkinkan nilai nutrisi tetap terjaga pada angka yang diinginkan (1081 ppm) dengan tingkat *error* sensor yang rendah.

### 2.1. Instalasi Sensor Nutrisi

Pemantau kadar nutrisi menggunakan sensor *Total Dissolved Solid* (TDS). Parameter nutrisi merupakan hal krusial pada sistem hidroponik, sehingga ditambahkan Tapis Median untuk hasil luaran yang lebih akurat pada persamaan (1). Sebelum dipasang pada Gambar 1, dilakukan kalibrasi dan analisis terlebih dahulu. Hasil kalibrasi dan analisis dilakukan seperti pada Gambar 4.

$$H_{filtermedian}(x, y) = median(H_{TDS}(x + 1, y + 1)) \quad (1)$$

Dimana:

- $H_{filtermedian}$  : tegangan *output* filter median
- $H_{TDS}$  : tegangan dari TDS setelah dikompensasi
- $x, y$  : data sampel dari proses median



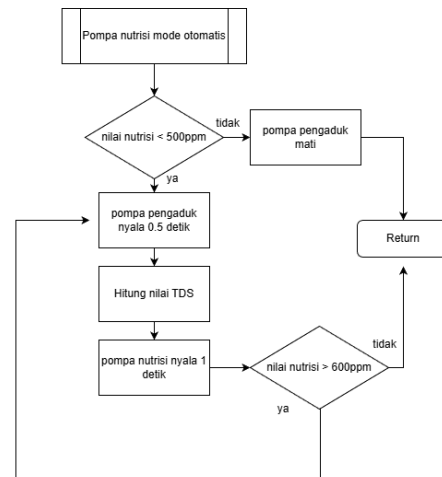
Gambar 4. Pengujian Sensor Nutrisi

Sesuai pada Gambar 4, pin sensor nutrisi terhubung dengan ESP32 melalui pin analog 35. Hasil pengujian membandingkan penerapan tapis median dengan tanpa

tapis pada larutan air mineral dan air campuran nutrisi. Hasil dianalisis dengan *Mean Square Error* (MSE).

### 2.2. Pemberian Nutrisi secara Otomatis

Perangkat yang berperan pada proses otomatis pemberian nutrisi adalah sensor TDS, pompa nutrisi, dan pompa pengaduk. Fitur ini merupakan kelanjutan dari sistem HIPOI 1.0, yang telah dikerjakan oleh penulis [16]. Algoritma pemberian nutrisi terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Algoritma otomatis penyaluran nutrisi

Sistem kontrol otomatis pada HIPOI 2.0, menjaga kestabilan parameter nutrisi. *Setpoint* bawah ditetapkan pada 500 ppm sebagai titik aktivasi pompa (*lower threshold*), sedangkan *setpoint* atas ditetapkan pada 600 ppm sebagai titik henti (*upper threshold*). Mekanisme ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kondisi di mana pompa nutrisi mati dan menyala terlalu sering dalam durasi singkat akibat fluktuasi pembacaan sensor yang sangat kecil di sekitar satu titik nilai saja. Jika sistem baru dinyalakan dan angkanya 550 ppm, pompa tidak akan menyala karena belum menyentuh batas bawah 500 ppm.

Target 600 ppm pada pengujian otomatisasi merupakan tahap pengujian awal sistem, yang nantinya dapat ditingkatkan menjadi 1000 ppm sesuai kebutuhan nutrisi tanaman selada pada fase vegetative.

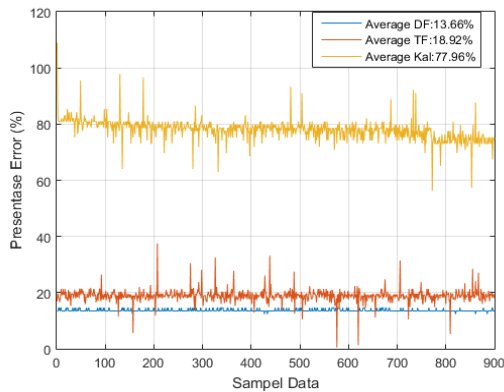
## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan pada sistem HIPOI 2.0 terdiri dari pengujian sensor nutrisi, pengujian lampu growlight, dan pengujian perangkat pompa, dan analisis hasil tanaman Pakcoy.

### 3.1. Pengujian sensor nutrisi

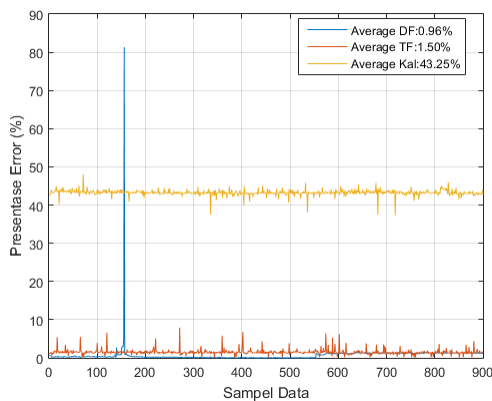
Pada pengujian ini, peneliti telah menerapkan beberapa metode agar kinerja sensor TDS memiliki akurasi yang

tinggi dan stabil. Metode yang diterapkan adalah Filter Median dan Metode Kalibrasi. Kedua metode tersebut dibandingkan dengan hasil pembacaan TDS meter serta pembacaan dari sensor TDS tanpa menggunakan metode. Objek pengujian dilakukan pada larutan air mineral dan campuran nutrisi AB Mix.



Gambar 6. Perbandingan Tingkat kesalahan Filter Median, Tanpa Filter, dan Metode Kalibrasi pada larutan Air Mineral

Analisis penerapan filter Median untuk pembacaan nilai ppm larutan air mineral terlihat pada Gambar 6. Kurva kuning merupakan hasil pengukuran metode kalibrasi dengan rata-rata kesalahan sebesar 77.96%. Kurva orange adalah hasil rata-rata kesalahan tanpa filter dengan rata-rata 18.92%. Penerapan filter Median pada pembacaan nilai ppm lebih efektif dengan nilai rata-rata paling kecil sekitar 13.66%.



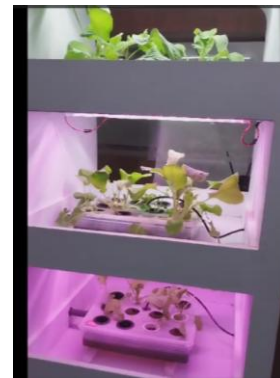
Gambar 7. Perbandingan Tingkat kesalahan Filter Median, Tanpa Filter, dan Metode Kalibrasi pada larutan Campuran Nutrisi

Sesuai Gambar 7, penerapan filter Median tetap menunjukkan performa yang baik dengan tingkat kesalahan terendah pada kurva biru, dengan rata-rata 1.06%. Kurva orange tanpa filter memperlihatkan tingkat kesalahannya mencapai 15.98%. Kurva biru mewaliki tingkat kesalahan metode kalibrasi dengan rata-rata kesalahan sebesar 22.91%.

Metode kalibrasi dan metode tanpa filter menunjukkan tingkat kesalahan yang tinggi dibandingkan dengan filter Median. Kedua metode tersebut menunjukkan variasi tingkat kesalahan yang berbeda pada jenis larutan yang berbeda. Secara analitis, kemampuan filter Median dalam mengeliminasi outlier tanpa mengaburkan tren data utama menjadikannya pendekatan paling reliabel. Hal ini membuktikan bahwa pengolahan sinyal digital jauh lebih efektif meningkatkan presisi pengukuran dibandingkan metode kalibrasi standar. Penerapan filter Median dapat dianggap pendekatan yang terbaik untuk meminimalkan kesalahan dalam pengukuran.

### 3.2. Pengujian Perangkat Lampu Growlight

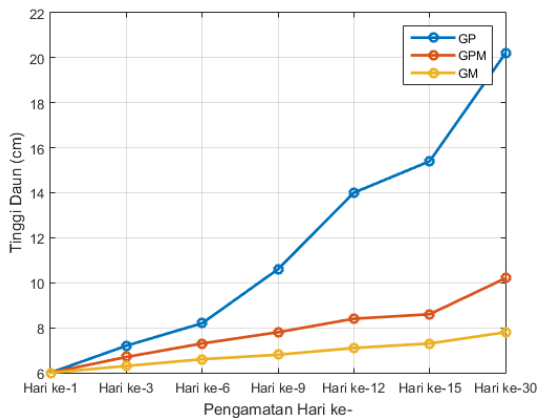
Pengujian perangkat lampu bertujuan menganalisis perbandingan cahaya putih dengan cahaya merah pada tanaman.



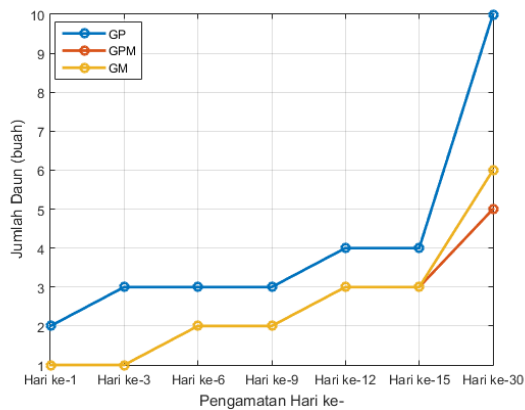
Gambar 8. Pengaruh warna cahaya pada pertumbuhan tanaman

Hasil pengamatan pada Gambar 8, menunjukkan bahwa pengaruh Growlight Putih (GP) mempercepat pertumbuhan tanaman. Gambar 8 menunjukkan bahwa Growlight Putih (GP) membuat tanaman lebih cepat dibandingkan dengan Growlight Putih Merah (GPM) dan Growlight Merah (GM), dengan jumlah daun yang lebih sedikit sebagai hasil dari GM, sedangkan tanaman dengan GP berdaun lebih lebar dan lebat. Penggunaan spektrum putih memicu morfologi daun yang lebih lebar dan lebat, yang mengindikasikan efisiensi penangkapan foton yang lebih tinggi untuk proses fotosintesis pada tanaman berklorofil. Secara analitis, performa superior GP terlihat pada konsistensi peningkatan tinggi tanaman sejak hari pertama hingga akhir pengamatan (Gambar 9), yang jauh melampaui spektrum merah (GM) yang cenderung mengalami hambatan pertumbuhan.

Gambar 9 terlihat bahwa warna cahaya putih memiliki pertumbuhan tinggi daun signifikan dari hari pertama pengamatan sampai pengamatan terakhir. Dampak warna merah putih terlihat tinggi daun meningkat setengah dari warna putih. Pengaruh warna merah terhadap tinggi daun cenderung lebih rendah dibandingkan warna yang lain.



Gambar 9. Pengaruh warna Cahaya pada tinggi daun



Gambar 10. Pengaruh warna Cahaya pada jumlah daun

Kaitan antara luas daun yang lebih besar dan jumlah daun yang lebih banyak pada Gambar 10, membuktikan bahwa keseimbangan spektrum dalam cahaya putih memberikan stimulasi yang lebih komprehensif bagi metabolisme tanaman. Oleh karena itu, sistem HIPOI mengadopsi lampu *Flutrum* (GP) sebagai sumber pencahayaan optimal untuk menjamin produktivitas tanaman.

### 3.3. Pengujian Perangkat Pompa

#### 3.3.1. Pengujian Perangkat Pompa Sirkulasi

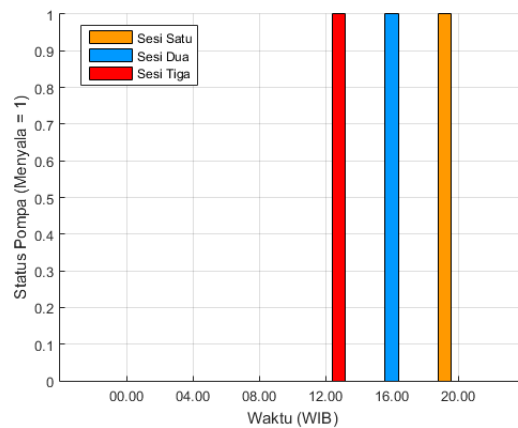
Pengujian pompa meliputi pompa sirkulasi, pompa pengaduk dan pompa nutrisi. Poma sirkulasi dan pompa pengaduk diletakkan pada wadah pencampuran nutrisi seperti pada Gambar 11. Pompa sirkulasi mendistribusikan campuran air pada wadah HIPOI ke masing-masing wadah tanaman. Pompa pengaduk digunakan untuk mencampurkan nutrisi yang tertuang ke wadah. Pompa nutrisi terpasang pada wadah nutrisi seperti pada Gambar 10. Kedua pompa nutrisi menyalurkan nutrisi sampai kadar nutrisi mencapai nilai yang ditentukan.

Pengujian pompa sirkulasi dilakukan dengan memantau mati nyalanya pompa sirkulasi pada sesi atau waktu yang telah diatur pada modul pewaktu RTC. Hasil pengamatan

pada Tabel 2. Pengujian pompa sirkulasi dilakukan pada dua kondisi, yakni kondisi sebelum tercampur nutrisi dan kondisi setelah tercampur nutrisi. Pengujian kondisi pertama sebelum tercampur nutrisi adalah pompa sirkulasi terus menyala dari tandon HIPOI dengan volume air 5000 mL atau 5L, sampai memenuhi wadah HIPOI dari masing-masing rak. Pengujian pompa sirkulasi pada kondisi setelah tercampur nutrisi adalah dengan penjadwalan nyala dan mati pompa sirkulasi. Penjadwalan ini sesuai dengan data dari sensor RTC, yaitu sesi satu pompa mulai menyala pukul 00.00 WIB dan mati 04.00 WIB. Sesi dua pompa mulai menyala pukul 08.00 WIB dan pompa mati pukul 12.00 WIB. Sesi tiga pompa sirkulasi nyala jam 16.00 WIB dan mati pukul 20.00 WIB. Pengujian pompa sirkulasi telah sesuai dengan penjadwalan dari RTC, data pengamatan dapat ditinjau pada Gambar 12.



Gambar 11. Pompa pengaduk dan pompa sirkulasi



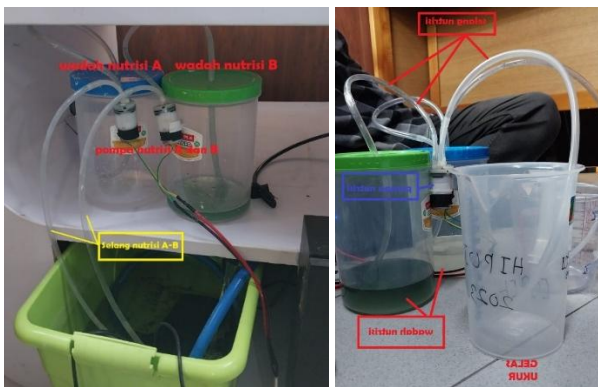
Gambar 12. Pengujian pompa sirkulasi

Implementasi sistem kontrol berbasis IoT ini memungkinkan distribusi nutrisi dilakukan secara presisi melalui sinkronisasi antara perangkat keras pompa dan modul Real-Time Clock (RTC). Berdasarkan data pada Gambar 12, penjadwalan pompa sirkulasi yang terbagi dalam tiga sesi (pukul 00.00, 08.00, dan 16.00 WIB) menunjukkan tingkat akurasi waktu yang konsisten antara instruksi program dan aktivasi fisik pompa. Keteraturan interval sirkulasi ini menjadi faktor krusial dalam sistem hidroponik indoor, karena sirkulasi yang terjadwal tidak hanya menjaga homogenitas larutan nutrisi tetapi juga

meningkatkan laju oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) dalam air. Hal ini sejalan dengan temuan [19] yang menyatakan bahwa pengaturan durasi aktif pompa secara periodik lebih efektif dalam menjaga stabilitas pH dan nutrisi dibandingkan dengan sirkulasi terus-menerus yang cenderung meningkatkan suhu air. Dengan demikian, integrasi sistem IoT dalam penelitian ini berhasil menciptakan yang stabil bagi tanaman selada, yang sangat sensitif terhadap fluktuasi ketersediaan oksigen pada area perakaran.

### 3.3.2. Pengujian Perangkat Pompa Nutrisi

Selanjutnya pengujian pompa nutrisi dan pompa pengaduk. Selama pengujian pompa nutrisi, menggunakan gelas ukur untuk mengukur volume nutrisi dari pompa seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Pengujian pompa nutrisi

Pengujian ini hanya menggunakan cairan nutrisi dan tanpa melibatkan pompa sirkulasi ataupun pompa pengaduk. Pompa nutrisi dijalankan secara mode manual dan mode otomatis, hasil pengujiannya pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian pompa nutrisi secara manual

Nyala 1 detik setiap tiga kali nyala		Nyala 3 detik tiap satu kali nyala	
Nutrisi A	Nutrisi B	Nutrisi A	Nutrisi B
50ml	50ml	40ml	40ml
100ml	100ml	90ml	80ml
150ml	150ml	130ml	130ml
190ml	190ml	180ml	180ml
240ml	240ml	220ml	220ml
280ml	280ml	260ml	260ml
320ml	340ml	310ml	310ml
360ml	380ml	360ml	360ml

Hasil pengujian pompa nutrisi dengan mode manual, dinyalakan selama 1 detik diulangi tiga kali dan 3 detik dilakukan satu kali. Tujuan dari pengujian ini melihat besaran volume yang dihasilkan dari pompa nutrisi serta memastikan ada tidaknya endapan selama proses penyaluran nutrisi oleh pompa nutrisi. Endapan tersebut disebabkan oleh terlalu pekat kadar nutrisi yang dapat menghambat kinerja dari pompa nutrisi di kemudian hari

dan mengganggu pertumbuhan tanaman. Nutrisi mulai mengendap dikarenakan konsentrasi dari kedua nutrisi terlalu pekat dan tidak adanya campuran air pada pengujian mode manual ini. Hasil Tabel 1 menunjukkan bahwa volume yang dihasilkan oleh pompa nyala 1 detik terulang tiga kali tidak beda jauh dengan nyala pompa 3 detik selama satu kali.

Pengujian perangkat pompa nutrisi dilakukan untuk memvalidasi presisi volume serta homogenitas campuran nutrisi dalam tandon. Berdasarkan hasil pengujian manual pada Tabel 1, tidak ditemukan perbedaan volume yang signifikan antara aktivasi pompa 1 detik sebanyak tiga kali dengan aktivasi tunggal selama 3 detik. Namun, pengujian ini mengonfirmasi risiko terbentuknya endapan akibat konsentrasi nutrisi yang tinggi tanpa pengenceran air. Keberadaan endapan ini secara teknis dapat meningkatkan beban kerja motor pompa dan dalam jangka panjang berisiko menyebabkan penyumbatan (*clogging*) pada saluran nutrisi, yang menurut Prasetyo et al. (2022) merupakan kendala utama dalam efisiensi distribusi nutrisi hidroponik.

Data pengujian pompa nutrisi dengan mode otomatis dan tanpa pompa pengaduk pada Tabel 2, dimana pompa nutrisi akan nyala apabila pembacaan nutrisi kurang dari 500 ppm. Pengujian dilakukan pada kondisi awal sebelum pompa nutrisi menyala, kinerja sensor nutrisi sebesar 10,21%. Kondisi akhir setelah pompa nutrisi menyala tanpa pompa pengaduk, kinerja sensor nutrisi sebesar 2,95%.

Tabel 2. Hasil pengujian pompa nutrisi mode otomatis tanpa pengaduk

Kondisi	sensor TDS	TDS meter	error (%)	Keterangan
awal	299	333	10,21	belum tercampur
akhir	1081	1050	2,95	sudah tercampur

Pengujian pada Tabel 2, dinilai kurang efektif untuk mode otomatis pada sistem HIPOI karena nutrisi tidak tercampur dengan baik. Agar nutrisi tercampur dengan baik pada tandon, maka ditambahkan pompa pengaduk dengan data pengujian Tabel 3. Skenarionya dimulai dari pompa pengaduk menyala terlebih dahulu selama dua detik atau 2000milidetik, baru pompa nutrisi menyala selama satu detik atau 1000milidetik. Hasilnya lebih baik dengan penambahan pompa pengaduk dibandingkan pengujian tanpa pompa pengaduk. Kinerja sensor nutrisi lebih baik sekitar 1,51% pada kondisi awal. Kinerja sensor nutrisi lebih baik pada kondisi akhir sebesar 1,81% dengan pompa pengaduk.

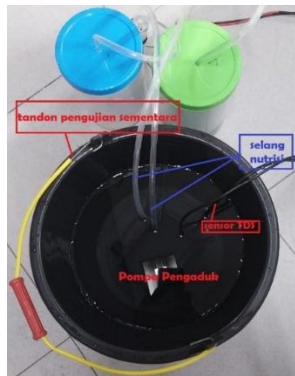
Tabel 3. Pengujian pompa nutrisi mode otomatis dengan pengaduk

Kondisi	sensor TDS	TDS meter	error (%)	Keterangan
awal	326	331	1,51	belum tercampur
akhir	1082	1102	1,81	sudah tercampur

Analisis lebih mendalam terlihat pada efektivitas pencampuran otomatis. Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa tanpa pompa pengaduk, terdapat selisih pembacaan (*error*) yang cukup besar pada kondisi awal (10,21%). Tingginya angka *error* ini mengindikasikan adanya stratifikasi nutrisi, di mana larutan tidak tersebar merata sehingga sensor TDS memberikan pembacaan yang tidak merepresentasikan kondisi riil cairan. Sebaliknya, integrasi pompa pengaduk dalam skenario pengujian Tabel 3 terbukti meningkatkan stabilitas sistem secara signifikan, di mana persentase *error* pada kondisi akhir dapat ditekan hingga 1,81%. Penurunan nilai *error* ini membuktikan bahwa pengadukan selama dua detik sebelum aktivasi pompa nutrisi berhasil menciptakan adukan air yang kuat agar nutrisi tercampur secara merata ke seluruh tandon.

### 3.4. Pengujian Mode Otomatis untuk Pompa Nutrisi dan Pompa Pengaduk

Pengujian subbab ini berbeda dengan pengujian sebelumnya, dimana pengujian ini merupakan *feature* terbaru dari HIPOI 2.0, yaitu otomatisasi nutrisi. Pengujian mode otomatis pada HIPOI 2.0 bertujuan untuk mengintegrasikan pompa nutrisi dan pompa pengaduk secara simultan. Eksperimen dilakukan pada volume air 3000ml dan 5000ml menggunakan gelas ukur sebagai acuan kuantitatif. Algoritma sistem dirancang agar pompa pengaduk aktif selama 0,5 detik saat pembacaan TDS di bawah 500 ppm, diikuti oleh aktivasi pompa nutrisi selama 1 detik secara berulang hingga target nilai TDS tercapai.



Gambar 14. Pengujian mode otomatis pompa nutrisi dan pompa pengaduk

Volume air yang digunakan sebanyak 3000ml dan 5000ml untuk melihat kemampuan sensor TDS dan sensor pengaduk bekerja sesuai dengan algoritma yang dibuat oleh penulis HIPOI. Berdasarkan Tabel 4, sistem mampu meningkatkan kadar nutrisi secara konsisten terlepas dari perbedaan volume air. Meskipun terdapat selisih pembacaan antara sensor nutrisi dan TDS meter, tingkat akurasi tetap terjaga dengan rata-rata *error* di bawah 10%. Penempatan sensor yang berjauhan dengan *output* pompa nutrisi terbukti efektif dalam memberikan pembacaan yang representatif terhadap homogenitas larutan.

Tabel 4. Pengujian pompa nutrisi dengan pompa pengaduk

Kapasitas Air murni	Kondisi	Pembacaan		Error (%)	Keterangan
		Sensor TDS (ppm)	TDS meter (ppm)		
Air Murni 3000ml	sebelum dicampur	308	329	6,82	sensor jauh dari selang nutrisi
	setelah dicampur	1081	1140	5,46	
Air Murni 5000ml	sebelum dicampur	385	381	4,03	
	setelah dicampur	1081	1130	4,53	

Semakin besar volume air (5000ml), pembacaan sensor cenderung memiliki persentase *error* yang lebih kecil dibandingkan pada volume rendah (3000ml). Hal ini menunjukkan stabilitas sensor yang lebih baik pada volume air yang besar. Meskipun target algoritma diatur pada nilai 600 ppm, hasil akhir menunjukkan angka di kisaran 1081 ppm. Hal ini disebabkan oleh adanya jeda waktu (*delay*) antara proses pengadukan dan durasi aktivasi pompa nutrisi selama 1 detik yang bersifat kumulatif, sehingga terjadi *overshoot* nilai TDS. Namun, sistem tetap menunjukkan konsistensi dalam mencapai titik jenuh yang stabil pada kedua variasi volume air.

Secara keseluruhan, fitur otomatisasi pada HIPOI 2.0 telah memenuhi kriteria keberhasilan teknis. Dengan rata-rata *error* sebesar 5,21%, sensor TDS memiliki akurasi yang tinggi untuk penggunaan nutrisi hidroponik. Efektivitas pompa pengaduk juga terbukti dengan tercapainya nilai TDS yang identik (1081 ppm) pada kedua volume air yang berbeda, menandakan bahwa algoritma mampu mengompensasi perbedaan kapasitas tandon secara otomatis.

### 3.5. Integrasi Monitoring IoT pada Pengujian Sistem Otomatisasi

Pengujian fitur otomatisasi nutrisi pada HIPOI 2.0 didukung oleh antarmuka aplikasi monitoring berbasis IoT yang memungkinkan pengawasan parameter secara *real-time*. Data yang ditampilkan pada aplikasi memberikan konfirmasi visual terhadap aktivitas komponen yang sedang diuji, seperti status aktifnya pompa nutrisi dan pompa pengaduk.

Berdasarkan pengujian pada Tabel 4, aplikasi menunjukkan perubahan nilai TDS yang signifikan saat proses pencampuran dilakukan. Sinkronisasi antara aplikasi dan perangkat keras terlihat dari:

- **Visualisasi Grafik:** Perubahan nilai dari kondisi "sebelum dicampur" ke "setelah dicampur" terekam pada panel grafik perubahan nilai ppm di aplikasi.
- **Akurasi Monitoring:** Nilai nutrisi yang terbaca pada *gauge bar* aplikasi menunjukkan angka yang konsisten dengan hasil pengujian, yakni sekitar 994 ppm hingga 1081 ppm, tergantung pada fase pengisian yang sedang berjalan.

- **Kontrol Terjadwal:** Keberhasilan sistem otomatisasi juga didukung oleh pengaturan waktu pada panel penjadwalan RTC di aplikasi, yang memastikan sirkulasi air tetap berjalan tiga kali dalam sehari untuk menjaga kualitas larutan setelah proses pengisian nutrisi selesai.

Penerapan *closed-loop system* yang dipantau melalui aplikasi ini terbukti sangat efektif. Hal ini dibuktikan dengan data kuantitatif pada Tabel 4 yang menunjukkan bahwa meskipun kapasitas air berbeda (3000ml dan 5000ml), sistem mampu mencapai target kepekatan nutrisi yang diinginkan dengan nilai *error* yang rendah (di bawah 10%) berkat umpan balik yang akurat dari sensor ke aplikasi.

### 3.6. Pengamatan Tanaman Selada pada sistem HIPOI 2.0

Pengujian ini bertujuan mengevaluasi kinerja sistem HIPOI 2.0 secara menyeluruh pada tanaman selada. Pemilihan selada didasarkan pada kebutuhan nutrisinya yang selaras dengan batas optimal kinerja sensor TDS sistem, yaitu sekitar 1000 ppm. Pada sistem final, jarak antar lubang tanam diatur sebesar 15 cm. Pencahayaan menggunakan lampu full spectrum (cahaya putih) yang beroperasi selama 12 jam per hari. Kontrol nutrisi dilakukan secara otomatis, sementara sirkulasi air dijadwalkan tiga kali sehari.



Gambar 15. Pembenuhan biji selada pada *rockwool*

Proses diawali dengan pembenuhan pada media *rockwool* yang terjaga kelembapannya. Setiap potongan *rockwool* diisi dengan 2-3 biji selada pada Gambar 15. Setelah bibit mengeluarkan beberapa helai daun sejati, tanaman dipindahkan ke pot hidroponik pada rak sistem HIPOI seperti Gambar 16.

Gambar 17 merupakan pengamatan setelah penyemaian. Pengamatan pertama menunjukkan fase awal adaptasi dengan pertumbuhan daun yang masih terbatas. Pengamatan kedua, tanaman mulai berkembang signifikan dengan daun yang lebih lebar dan jumlah yang bertambah. Pengamatan ketiga dan keempat tanaman menunjukkan pertumbuhan yang sehat dan stabil. Daun semakin rimbun dan lebar dibandingkan tahap sebelumnya. Berdasarkan hasil observasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem HIPOI 2.0 berhasil diaplikasikan untuk mendukung pertumbuhan tanaman selada secara optimal.



Gambar 16. Penyemaian biji ke wadah HIPOI



(a). Pengamatan pertama



(b). Pengamatan kedua



(c) Pengamatan ketiga



(d) Pengamatan keempat

Gambar 17. Dokumentasi pertumbuhan tanaman selada pada sistem HIPOI 2.0

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, menunjukkan bahwa sistem hipo versi 2.0 memberikan solusi inovatif untuk hidroponik indoor dengan penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dan metode tapis Median. Penerapan filter median meningkatkan akurasi sensor nutrisi secara signifikan, dengan rata-rata tingkat kesalahan berkurang menjadi 13,66% pada larutan air mineral dan 1,06% pada larutan campuran nutrisi. Pengujian lampu grow light menunjukkan bahwa spektrum cahaya putih menghasilkan pertumbuhan tanaman selada terbaik, dengan tinggi daun

meningkat secara signifikan dari hari pertama hingga terakhir, serta jumlah daun yang lebih banyak dibandingkan spektrum lainnya. Otomatisasi sistem pemberian nutrisi, dengan tambahan pompa pengaduk, berhasil mencampur nutrisi secara efisien. pengujian menunjukkan nilai error sensor TDS sebesar 1,51% pada kondisi awal dan 1,81% pada kondisi akhir, yang jauh lebih rendah dibandingkan tanpa pompa pengaduk. Hasil ini menunjukkan bahwa pompa pengaduk dan nutrisi bekerja optimal sesuai algoritma, dengan nutrisi tercampur sempurna hingga mencapai konsentrasi 600 ppm. Pengamatan pertumbuhan tanaman selada menunjukkan bahwa sistem HIPOI versi 2.0 berhasil mendukung pertumbuhan tanaman secara sehat dan stabil.

Berdasarkan temuan ini, sistem ini dapat diandalkan untuk aplikasi hidroponik skala lebih besar dengan potensi adaptasi untuk berbagai jenis tanaman. Pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada peningkatan fitur kecerdasan buatan untuk prediksi pertumbuhan tanaman yang lebih presisi.

## Referensi

- [1]. M. Javaid, A. Haleem, R. P. Singh, and R. Suman, "Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies," *Int. J. Intell. Networks*, vol. 3, no. July, pp. 150–164, 2022, doi: 10.1016/j.ijin.2022.09.004.
- [2]. Ye Liu, Xiaoyuan Ma, Lei Shu, Gerhard Petrus Hancke, and A. M. Abu-Mahfouz, "From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 17, no. 6, 2021, doi: 10.1109/TII.2020.3003910.
- [3]. A. J. Hati and R. R. Singh, "Smart Indoor Farms: Leveraging Technological Advancements to Power a Sustainable Agricultural Revolution," *AgriEngineering*, vol. 3, no. 4, pp. 728–767, 2021, doi: 10.3390/agriengineering3040047.
- [4]. L. Sulistyowat and Nurhasanah, "Analisa Dosis AB Mix Terhadap Nilai Tds Dan Pertumbuhan Pakcoy Secara Hidroponik," *Jambura Agrinusiness J.*, vol. 3, no. 1, pp. 28–36, 2015, doi: <https://doi.org/10.37046/jaj.v3i1.11172>.
- [5]. A. A. R. Madushanki *et al.*, "Internet of Things for Smart Agriculture in Nigeria and Africa: A Review," *Sustain.*, vol. 12, no. 9, pp. 1–19, 2020, [Online]. Available: [www.ijltemas.in](http://www.ijltemas.in).
- [6]. C. Gnauer *et al.*, "A recommendation for suitable technologies for an indoor farming framework," *Elektrotechnik und Informationstechnik*, vol. 137, no. 7, pp. 370–374, 2020, doi: 10.1007/s00502-020-00824-7.
- [7]. A. Novinanto and A. W. Setiawan, "Pengaruh Variasi Sumber Cahaya LED terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Selada dengan Sistem Budidaya Hidroponik Rakit Apung," *Agric*, vol. 31, no. 2, pp. 191–204, 2020, doi: 10.24246/agric.2019.v31i2.p191-204.
- [8]. S. Maseva, P. Utama, A. H. Sodiq, and I. Rohmawati, "Pengaruh Lama Penyinaran Lampu LED dan Jenis Media Tanam Terhadap Pertumbuhan Microgreems Bayam Merah," *J. Pertan. Agros*, vol. 26, no. 1, p. 102, 2024, doi: 10.37159/jpa.v26i1.4204.
- [9]. M. ; Yudhana, Anton ; Ramadhani, A. C. Subrata; H. S. Purnama; U. A. Maajid; F. Noviyanto; and R. D. Puriyanto, "Instalasi Pemberi Nutrisi pada Tanaman Hidroponik," 2023.
- [10]. Y. H. ; Putra, D. ; Triyanto, and Suhardi; "Sistem Pemantauan Dan Pengendalian Nutrisi, Suhu, Dan Tinggi Air Pada Pertanian Hidroponik Berbasis Website," *Coding J. Komput. dan Apl.*, vol. 6, no. 3, pp. 128–138, 2018, doi: 10.26418/coding.v6i3.29041.
- [11]. H. Priyatman, S. Supriono, and A. Irwanto, "Aplikasi Teknologi IoT pada WTP (Water Treatment Plant) Sistem Pendingin Air pada Mesin Pembangkit Guna Menjaga Nilai pH dan TDS untuk Kualitas Air," *Transmisi*, vol. 24, no. 3, pp. 106–113, 2022, doi: 10.14710/transmisi.24.3.106-113.
- [12]. M. N. Zul Hazmi and R. Sumiharto, "Implementasi Kontrol Nutrisi Dan pH Pada Hidroponik Cerdas Berbasis Arduino Dan JST," *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.*, vol. 13, no. 2, p. 159, 2023, doi: 10.22146/ijeis.86268.
- [13]. J. Yu, G. ; Wang, and Q. ; Yang, "An improved median filter algorithm based on light sensor," 2012, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6359224>.
- [14]. G.-D. Park and J. Lee, "Performance Improvement of a Pressure Sensor Using Fast Median Algorithm," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, vol. 23, pp. 459–468, 2022.
- [15]. L. ; Mutaurnawa and M. Nleya, "An efficient median filter in a robot sensor soft ip-core," 2013, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6757651>.
- [16]. Musayyanah, Harianto, Y. R. Adrianto, and H. Budiardjo, "Sistem HIPOI 1.0: Hidroponik Indoor Berbasis Internet of Things untuk Tanaman Selada dengan Teknik NFT," *ELECTRON J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 59–68, 2024, doi: 10.33019/electron.v5i1.113.
- [17]. S. Zakiah, A. Bintoro, M. . Muthalib, and M. Ikhwanus, "Alat Pengaturan Pencampuran Nutrisi Pada Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things," *J. Energi Elektr.*, vol. 14, no. 1, pp. 21–30, 2025.
- [18]. C. Lukito, R. B. Lukito, and E. Ernawati, "INNOVATIVE IOT-BASED STRATEGY FOR WATER QUALITY CONTROL IN HYDROPONIC PLANTS USING," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 103, no. 12, pp. 5149–5161, 2025.
- [19]. K. K. Y. Shin, T. P. Ping, M. G. B. Ling, C. Chee Jiun, and N. A. B. Bolhassan, "SMART GROW – Low-cost automated hydroponic system for urban farming," *HardwareX*, vol. 17, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.ohx.2023.e00498.