

Perancangan Sistem Hidroponik Dengan Pemberian Nutrisi Elektrolisis Menggunakan Energi Hibrida PLN dan Modul Surya

1st Abd. Mutaali Wildan
S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
alywildan@telkomuniversity.ac.id

2nd Rico Cesar Ardy
S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
ricocesarardy@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Pertanian hidroponik menawarkan solusi efisien untuk budidaya di lahan terbatas, namun menghadapi tantangan utama pada ketersediaan listrik yang stabil, khususnya saat cuaca buruk. Penelitian ini memperkenalkan sistem hidroponik cerdas berbasis IoT yang menggabungkan sumber energi hibrida dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan PLN. Sistem ini dilengkapi dengan Automatic Transfer Switch (ATS) yang secara otomatis mengalihkan sumber daya listrik untuk memastikan pasokan daya yang berkelanjutan. Selain itu, sistem ini juga mengintegrasikan pemantauan IoT, memungkinkan pengguna mengawasi parameter penting seperti pH, konsentrasi nutrisi (PPM), dan debit air secara real-time. Pengujian pada budidaya bayam merah menunjukkan sistem mampu beralih otomatis dari baterai ke PLN saat tegangan di bawah 12,3 V atau melebihi 15,7 V, menjaga stabilitas operasional. Meskipun biaya energi sistem hibrida (Rp2.544,07 per kWh) lebih tinggi dari tarif PLN (Rp1.352 per kWh), sistem ini berhasil meningkatkan efisiensi waktu dan pengawasan budidaya. Hasil pengujian juga mengidentifikasi bahwa fluktuasi pH dan PPM dapat memengaruhi kesehatan tanaman, menekankan pentingnya pemantauan yang akurat.

Kata kunci—Hidroponik, Nutrisi Elektrolisis, Energi Hibrida, PLTS, PLN, Blynk.

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, dan sektor pertanian menjadi tumpuan utama untuk memenuhi kebutuhan pangan. Namun, keterbatasan lahan di perkotaan akibat pembangunan telah mendorong masyarakat untuk mengadopsi urban farming [1]. Komoditas pertanian yang tinggi, sebagian Masyarakat bermata pencaharian sebagai petani dengan berbagai jenis komoditas [2]. Masyarakat perkotaan meninggalkan Bertani karena keterbatasan lahan hijau [3], dan mulai untuk Gerakan urban farming [4]. Gerakan ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi pangan bergizi di lahan terbatas, dengan beragam metode seperti hidroponik, vertikultur, dan memanfaatkan rooftop [5].

Salah satu tanaman yang cocok untuk budidaya hidroponik adalah bayam merah, yang kaya vitamin, serat, dan memiliki nilai ekonomis tinggi [6]. Meskipun bayam merah mengandung kalsium (Ca) lebih tinggi dari bayam hijau, kandungan zat besinya (Fe) lebih rendah [7]. Untuk mengatasi hal ini, penelitian ini menggunakan air elektrolisis sebagai nutrisi tambahan guna meningkatkan kadar zat besi pada bayam merah [8].

Proses elektrolisis air menguraikan air menjadi ion hidrogen dan oksigen, yang memfasilitasi penyerapan unsur hara besi oleh akar tanaman [9]. Penelitian ini juga mengembangkan sistem hidroponik sebelumnya yang menggunakan *Internet of Things* (IoT) dan nutrisi dari cahaya matahari [10]. Untuk mengurangi konsumsi listrik PLN yang besar, sistem ini ditingkatkan dengan menambahkan panel surya (PLTS). Sistem hibrida ini mengombinasikan energi dari PLN dan PLTS untuk menyalakan pompa air hidroponik, sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menggabungkan metode hidroponik dengan penambahan nutrisi elektrolisis dan sistem energi hibrida (PLN dan PLTS) untuk membudidayakan bayam merah [11].

Dalam budidaya hidroponik, terdapat dua metode populer: Nutrient Film Technique (NFT) dan Deep Flow Technique (DFT). NFT menggunakan aliran nutrisi tipis, ideal untuk tanaman kecil, sementara DFT merendam akar dalam lapisan air yang lebih dalam, cocok untuk tanaman berakar panjang dan lebih andal. Untuk meningkatkan efisiensi, proses elektrolisis digunakan untuk mengurai senyawa nutrisi menjadi ion-ion yang mudah diserap oleh tanaman, membantu mengontrol pH, dan mempercepat pertumbuhan.

Sistem hidroponik yang bergantung pada listrik PLN untuk pompa air seringkali tidak efisien dari segi biaya. Oleh karena itu, penelitian oleh Nugroho dan Jamaaluddin mengusulkan sistem Automatic Transfer Switch (ATS) Hibrida. Sistem ini menggabungkan daya dari Panel Surya (PLTS) dan PLN untuk memastikan pompa tetap menyala. ATS akan secara otomatis beralih dari PLTS ke PLN saat tegangan surya melemah (<10V) dan kembali ke PLTS setelah daya pulih. Seluruh proses ini dimonitor secara real-time melalui *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan notifikasi kondisi sistem kepada pengguna. *Internet of Things* (IoT) merupakan sebuah konsep teknologi yang memungkinkan untuk menghubungkan perangkat apapun dengan internet sehingga dapat dikendalikan dan dapat di pantau dari manapun pengguna berada [12].

II. SPESIFIKASI DAN VERIFIKASI

2.1 Spesifikasi Produk

TABEL 1		
Pemetaan Kebutuhan dan Kaitannya terhadap Spesifikasi		
No	Kebutuhan	Spesifikasi
1	Menerapkan sistem hidroponik DFT (<i>Deep</i>)	Spesifikasi 1: kerangka hidroponik

	<i>Flow Technique</i>) dengan memenuhi nutrisi seperti nitrogen, fosfor, dan kalium dan menggunakan sistem elektrolisis dengan elektroda dan sumber listrik untuk memecah senyawa nutrisi menjadi ion-ion yang lebih mudah diserap oleh tanaman.	dengan sistem DFT, wadah nutrisi beserta nutrisinya dan proses elektrolisis
2	Menerapkan Sistem ATS (<i>Automatic Transfer Switch</i>) Hibrida dengan menggunakan Daya PLTS dan Daya PLN untuk beban Pompa yang mengalirkan air terus menerus dengan menggunakan teknologi <i>Internet Of Things</i> supaya bisa <i>memonitoring</i> setiap waktu.	Spesifikasi 2: Perangkat dengan sistem ATS (<i>Automatic Transfer Switch</i>) hibrida dengan menggunakan daya PLTS dan daya PLN menggunakan <i>Internet Of Things</i> (IoT)

1. Spesifikasi 1: Sistem budidaya hidroponik ini menggunakan delapan pipa, dengan setiap pipa memiliki panjang 1-meter dan dilengkapi enam lubang tanam. Aliran air yang telah diproses secara elektrolisis disirkulasikan menggunakan pompa dari bak penampung. Untuk memantau kondisi air, sistem ini dilengkapi sensor debit air untuk mengukur volume aliran, serta sensor pH untuk membaca tingkat keasaman larutan elektrolisis di dalam bak penampung.
2. Spesifikasi 2: Sistem kendali dirancang sebagai Automatic Transfer Switch (ATS) Hibrida yang memanfaatkan daya utama dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan cadangan dari adaptor PLN. Mikrokontroler NodeMCU memproses data dari sensor INA219 untuk memantau arus dan tegangan DC. Seluruh data ini dapat dimonitor secara daring melalui antarmuka Blynk. Selain itu, sebuah relay dikontrol oleh mikrokontroler untuk mengaktifkan dan menonaktifkan pompa secara otomatis. Sensor TDS juga terpasang untuk mengukur kualitas nutrisi (PPM) pada air yang dialirkan ke tanaman.

2.2 Verifikasi

Verifikasi Spesifikasi 1: kerangka hidroponik dengan sistem DFT

TABEL 2
Verifikasi Spesifikasi 1

Spesifikasi	Teknik <i>Deep Flow Technique</i> (DFT), teknik genangan atau rakit apung (<i>floating hydroponic</i>), aeroponik, dan hidroponik tetes.
Metode Pengukuran	Terdiri dari 8 pipa dengan panjang masing-masing pipa 1 meter dan memiliki 6 lubang pada setiap pipa. Lubang-lubang ini ditanami tanaman. Setelah tanaman ditanam, aliran air elektrolisis dialirkan menggunakan pompa yang terhubung dengan bak penampung menggunakan 2 batang besi yang diberi tegangan.
Prosedur Pengujian	1. Menyediakan 8 pipa dengan panjang 1 meter 2. Melubangi 6 lubang pada setiap pipa 3. Menanam tanaman di setiap lubang 4. Aliran air elektrolisis

Verifikasi Spesifikasi 2: Perangkat dengan sistem ATS (Automatic Transfer Switch) Hibrida dengan menggunakan Daya PLTS dan Daya PLN menggunakan *Internet Of Things* (IoT).

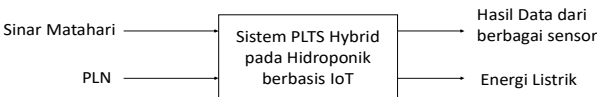
TABEL 3
Verifikasi Spesifikasi 1

Spesifikasi	Perangkat dengan sistem ATS (<i>Automatic Transfer Switch</i>) Hibrida dengan menggunakan Daya PLTS dan Daya PLN menggunakan teknologi <i>Internet Of Things</i>
Metode Pengukuran	rangkum ini untuk jurnal 'Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) arus listrik hibrida daya PLTS dengan backup daya dari PLN adaptor yang bertegangan DC dimana keluarannya di baca oleh Sensor INA219 nantinya dikontrol oleh relay yang akan diproses oleh Mikrokontroler NodeMCU dan akan menampilkan interface blynk untuk monitoring tegangan dengan internet dan menghidupkan/mematikan pompa secara otomatis, pompa yang digunakan untuk Hidroponik adalah Pompa Submersible dan NonSubmersible bertegangan 12VDC beserta menggunakan Sensor TDS untuk mengetahui kualitas PPM pada air yang mengalir pada bak air ke Tanaman Hidroponik.
Prosedur Pengujian	1. pembuatan rancangan catu daya dengan menggunakan panel surya dan PLN 2. perancangan sistem elektrolisis untuk hidroponik 3. sistem <i>monitoring</i> hidroponik dengan <i>Internet of Things</i> (IoT)

III. PERANCANGAN SISTEM

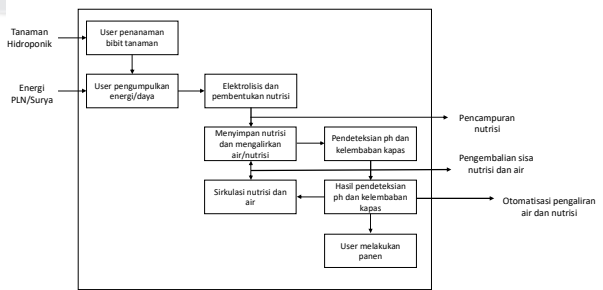
3.1. Konsep Solusi

Penelitian ini merancang sebuah sistem energi hibrida yang mengintegrasikan energi surya dan listrik dari PLN. Cara kerja sistem dimulai dengan sel surya yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Arus dan tegangan yang dihasilkan kemudian dideteksi oleh sensor dan ditampilkan pada layar LCD. Energi listrik ini disimpan dalam baterai sebagai cadangan. Apabila energi dari panel surya tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban, sistem akan secara otomatis mengambil tambahan energi listrik dari PLN.



GAMBAR 1
(Diagram Fungsi Overall Function)

Pada Gambar 1 merupakan diagram fungsi keseluruhan dari sistem PLTS Hibrida yang terintegrasi dalam sistem hidroponik berbasis IoT.



GAMBAR 2
(*Function tree*)

Pada Gambar 2, pertanian hidroponik ini beroperasi secara otomatis dengan mengandalkan sumber energi hibrida dari PLN atau tenaga surya. Proses utamanya dimulai dengan penanaman bibit, diikuti oleh penggunaan elektrolisis untuk menghasilkan nutrisi yang kemudian disirkulasikan bersama air ke tanaman. Untuk memastikan kondisi pertumbuhan optimal, sistem ini dilengkapi dengan detektor pH dan kelembaban. Sisa nutrisi dan air secara otomatis dikembalikan ke sistem untuk didaur ulang. Aliran air dan nutrisi diatur secara otomatis, memungkinkan pengguna untuk hanya melakukan panen saat tanaman telah siap.

3.1.1 Karakteristik Fungsi

1. Fitur Utama

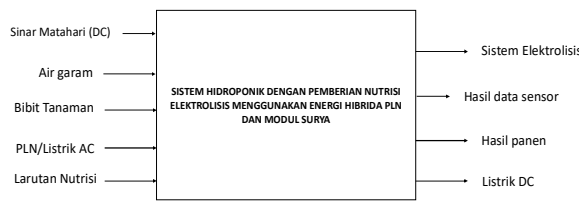
- Hidroponik memiliki teknik *Deep Flow Technique* (DFT) untuk pemberian nutrisi elektrolisis pada tanaman melalui akar.
- Hidroponik memiliki sistem *monitoring* dengan *Internet of Things* (IoT)
- Menerapkan sistem (*Automatic Transfer Switch*) ATS Hibrida dengan menggunakan daya PLTS dan daya PLN.

2. Fungsi Dasar

- Sistem mengontrol penggunaan PLTS dan PLN secara otomatis ketika salah satu sumber tidak tersedia.
- Mengalirkan larutan nutrisi melalui sistem hidroponik sehingga dapat memberikan nutrisi secara merata.
- Sistem memantau faktor-faktor pH dan kandungan PPM air untuk menumbuhkan tanaman berkualitas tinggi.

3.2. Rencana Desain dari Konsep Solusi Sistem

Berikut ada rencana perancangan desain dari konsep solusi yang terbagi dari diagram blok level 0-2 dan flowchart.

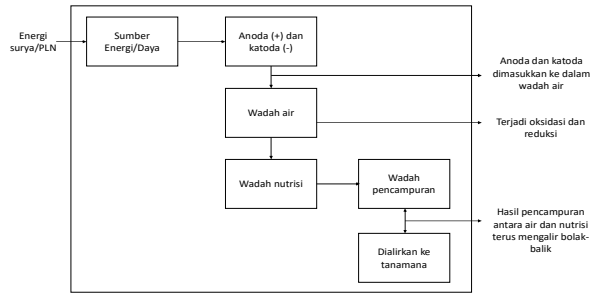


GAMBAR 3
(Diagram Blok Level 0)

Berdasarkan Diagram Blok Level 0 yang disajikan, struktur sistem ini dijelaskan melalui tiga komponen utama: input, proses, dan output. Input sistem mencakup sumber energi utama seperti energi matahari dan energi PLN, serta elemen terkait hidroponik yaitu tanaman, air garam, dan larutan nutrisi. Pada tahap proses, energi matahari dikonversi menjadi energi listrik oleh sel surya.

Berbagai sensor digunakan untuk mendeteksi dan mengukur parameter krusial seperti arus, tegangan, pH, dan kadar larutan nutrisi. Data yang dikumpulkan kemudian ditampilkan pada layar LCD. Selain itu, sistem ini juga memproses air garam melalui sistem elektrolisis untuk kebutuhan penyiraman tanaman. Output yang dihasilkan adalah energi listrik yang disimpan dalam baterai. Energi PLN berfungsi sebagai sumber daya cadangan, yang akan aktif saat energi dari PLTS tidak mencukupi.

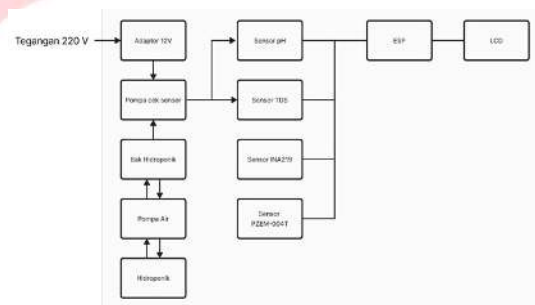
Pada diagram blok level 1, terdapat komponen, proses dan tabel rincian.



GAMBAR 4
(Diagram Blok Level 1)

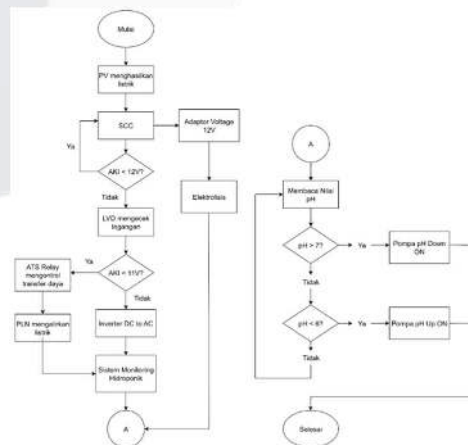
Pada gambar 4 terdapat blok diagram level 1 menjelaskan cara kerja elektrolisis, energi surya/PLN berfungsi sebagai pembangkit listrik yang akan memasok keseluruhan sistem perancangan hidroponik dengan air elektrolisis. Tegangan mengalir menuju elektroda karbon dan terjadi proses elektrolisis. Hasil pencampuran antara air dan nutrisi terus mengalir bolak-balik menuju ke tanaman.

Pada diagram blok level 2, terdapat komponen, proses dan tabel rincian.



GAMBAR 5
(Diagram Blok Level 2)

Pada gambar 5 terdapat blok diagram blok level 2 yang merujuk pada sistem sensor dalam yang akan berfungsi sebagai *monitoring* sistem berbasis IoT. Terdiri dari sensor pH, sensor TDS, sensor INA29, sensor PZEM-004T yang akan dikontrol oleh ESP dan akan menampilkan hasil pembacaan sensor pada LCD.



GAMBAR 6
(Flowchart System)

Flowchart tersebut menguraikan algoritma manajemen dan pemantauan otomatis pada sistem hidroponik hibrida yang didukung oleh PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dan PLN.

Proses dimulai dengan verifikasi ketersediaan daya dari PLTS melalui Solar Charge Controller (SCC). Jika tegangan yang dihasilkan oleh SCC kurang dari 12V, sistem secara otomatis akan mengaktifkan inverter untuk mengonversi daya DC menjadi AC dan beralih menggunakan pasokan listrik dari PLN. Namun, jika tegangan SCC mencukupi, daya akan langsung dialihkan untuk mendukung proses elektrolisis.

Selanjutnya, sistem akan melakukan kontrol pH pada larutan nutrisi. Sensor membaca nilai pH, dan berdasarkan ambang batas yang ditentukan, sistem akan mengambil tindakan korektif:

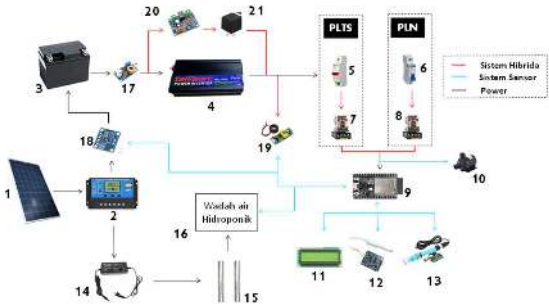
- 1. Jika pH lebih dari 7, pompa "pH Down" akan diaktifkan.
- 2. Jika pH kurang dari 6, pompa "pH Up" akan diaktifkan.
- 3. Jika pH berada dalam rentang optimal 6-7, tidak ada tindakan yang diperlukan.

Seluruh proses transfer daya dan pemantauan ini dikelola secara otomatis oleh relay ATS (Automatic Transfer Switch) untuk memastikan operasional sistem hidroponik yang stabil dan efisien.

3.3 Desain Sistem Terpilih dan Cara Pengunaannya

Sistem hidroponik yang dikembangkan dalam proyek tugas akhir ini mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT), memungkinkan pemantauan dan kontrol dari jarak jauh. Sistem ini memanfaatkan teknologi elektrolisis untuk mendukung operasionalnya.

- 1. Secara keseluruhan, sistem ini dirancang dengan dua komponen utama: Sistem Pemantauan: Memungkinkan pengguna untuk mengakses dan memonitor data operasional melalui aplikasi yang terhubung.
- 2. Sistem Pembangkit Listrik Hibrida: Dilengkapi dengan kontrol dan monitoring Automatic Transfer Switch (ATS) untuk memastikan pasokan daya yang stabil dan andal ke seluruh sistem hidroponik.



GAMBAR 7
(Skema Alur Komponen)

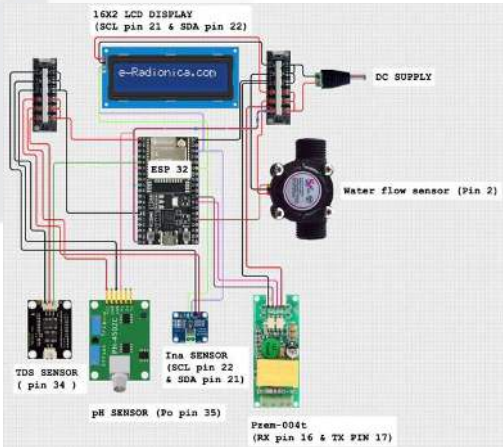
Pada gambar 7, merupakan skema alur tiap komponen, mulai dari PV sebagai sumber daya utama dan PLN sebagai sumber daya cadangan hingga ke mikrokontroler sebagai pusat kontrol dari semua sistem. Setiap komponen memiliki peran dan fungsi berbeda-beda seperti yang tertera pada tabel 4.

TABEL 4
Keterangan Komponen

No.	Komponen	Fungsi
1	PV	Mengubah energi matahari menjadi energi listrik
2	SCC	Mengatur <i>Input</i> dan <i>Output</i> baterai

3	Baterai	Sebagai media penyimpan energi dari PV
4	<i>Inverter</i>	Mengubah arus dari DC menjadi arus AC
5	MCB PLTS	Sebagai saklar <i>on</i> dan <i>off</i> aliran listrik pada PLTS
6	MCB PLN	Sebagai saklar <i>on</i> dan <i>off</i> aliran listrik pada PLN
7	<i>Relay</i> PLTS	Mengontrol perpindahan sumber energi antara PLN dan Panel Surya
8	<i>Relay</i> PLN	Mengontrol perpindahan sumber energi antara PLN dan Panel Surya
9	ESP32	Sebagai modul mikrokontroler yang mengolah dan membaca data
10	Pompa air	Mengalirkan air untuk tanaman Hidroponik
11	LCD	Sebagai media untuk menampilkan hasil data dari ESP32
12	Sensor TDS	Mengukur kadar <i>parts per million</i> (PPM) dalam kandungan air
13	Sensor pH	Mengukur kadar asam dan basa dalam kandungan air
14	<i>Adaptor Voltage</i>	Mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC dengan nilai yang sesuai dengan kebutuhan
15	Tabung Elektroda	Sebagai tabung anoda dan katoda pada elektrolisis
16	Wadah air hidroponik	Merupakan wadah tempat penampungan air nutrisi dan sumber air dari sistem hidroponik
17	<i>Step Down</i>	Menurunkan tegangan listrik agar sesuai kebutuhan
18	Sensor INA219	Mengukur arus dan tegangan DC dari baterai
19	Sensor PZEM-004T	Mengukur arus dan tegangan AC dari <i>inverter</i>
20	LVD	Memutus tegangan baterai ketika mencapai titik minimum dan maksimum dari yang ditentukan
21	<i>Relay</i>	Menjadi saklar dan pengaman pada <i>inverter</i>

3.3.1 Desain Sistem *Wiring* Sensor



GAMBAR 8
(Desain Skema *Wiring* Sensor)

Berdasarkan skema pengkabelan yang disajikan pada Gambar 8, sistem ini menunjukkan interkoneksi antara Mikrokontroler ESP32 dengan berbagai sensor dan perangkat tampilan. Sistem ini terhubung dengan beberapa sensor utama, yaitu INA219, PZEM-004T, sensor pH, sensor TDS, dan sensor waterflow. Semua komponen ini saling terhubung ke pin-pin pada ESP32. Fungsi utama dari konfigurasi ini adalah untuk mengumpulkan data dari semua sensor yang terpasang, di mana hasilnya kemudian akan ditampilkan secara real-time melalui LCD I2C.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian

4.1.1 Sensor Tegangan dan Arus DC (Sensor INA219)

Pengambilan data dari sensor INA219 dilakukan dengan interval 15 menit selama periode 90 menit, kemudian hasilnya dibandingkan dengan pengukuran menggunakan multimeter.

TABEL 5
(Kalibrasi Sensor INA219)

Jam	Sensor INA219(V)	Multimeter (V)	Error rate (%)	Akurasi (%)
12:00	23.95	24.2	1,03	98,97
12:15	23.3	23.8	2,1	98,75
12:30	23	23.5	2,13	98,74
12:45	22.87	23.1	1,48	98,52
13:00	22.41	22.9	2,14	98,29
13:15	20.93	22.6	7,39	98,49
Rata-rata			2,71	98,63

Berdasarkan dari Tabel 5, data rata-rata dari akurasi sebesar 98,63% dengan *error rate* sebesar 2,71%. Data tersebut menunjukkan bahwa kalibrasi sensor INA219 berhasil dilakukan dengan cukup baik.

4.1.2 Sensor Tegangan dan Arus AC (Sensor PZEM-004T)

Pengambilan data dari sensor PZEM-004T dilakukan dengan interval 15 menit selama periode 90 menit, kemudian hasilnya dibandingkan dengan pengukuran menggunakan multimeter.

TABEL 6
(Kalibrasi Sensor PZEM-004T)

Jam	Sensor PZEM-004T(V)	Multimeter (V)	Error rate (%)	Akurasi (%)
12:00	21,85	22,1	1,13	98,87
12:15	21,39	21,7	1,43	98,57
12:30	20,94	21,3	1,69	98,31
12:45	20,63	21	1,76	98,24
13:00	20,28	20,7	2,03	97,97
13:15	19,81	20,4	2,89	97,11
Rata-rata			1,82	98,18

Berdasarkan dari Tabel 6, data rata-rata dari akurasi sebesar 98,18% dengan *error rate* sebesar 1,82%. Data tersebut menunjukkan bahwa kalibrasi sensor PZEM-004T berhasil dilakukan dengan cukup baik.

4.1.3 Sensor pH

Pengambilan data dari sensor pH dilakukan dengan mengambil data dari 4 sampel *buffer* dengan kadar *buffer* yang berbeda.

TABEL 7
(Kalibrasi Sensor pH *buffer* 4,01)

pH <i>buffer</i> 4,01				
No.	Sensor pH	pH Meter	Akurasi (%)	Error (%)
1	3,30	3,31	99,70	0,30
2	3,30	3,31	99,70	0,30
3	3,30	3,31	99,70	0,30
4	3,31	3,31	100,00	0,00
5	3,31	3,31	100,00	0,00
6	3,31	3,31	100,00	0,00
7	3,31	3,30	99,70	0,30
8	3,30	3,30	100,00	0,00
9	3,30	3,30	100,00	0,00
10	3,30	3,30	100,00	0,00
11	3,30	3,30	100,00	0,00
12	3,30	3,30	100,00	0,00
13	3,30	3,30	100,00	0,00
14	3,30	3,29	100,00	0,00
15	3,29	3,29	100,00	0,00
16	3,29	3,29	100,00	0,00
17	3,29	3,28	99,69	0,31
18	3,28	3,28	100,00	0,00
19	3,28	3,28	100,00	0,00
20	3,28	3,28	100,00	0,00
21	3,28	3,27	100,00	0,00
22	3,27	3,27	100,00	0,00
23	3,27	3,27	100,00	0,00
24	3,27	3,27	100,00	0,00
25	3,27	3,27	100,00	0,00
26	3,27	3,27	100,00	0,00
27	3,27	3,27	100,00	0,00
28	3,27	3,27	100,00	0,00
Rata-rata	3,29	3,29	99,95	0,05

Berdasarkan dari Tabel 7 data rata-rata dari akurasi sebesar 99,95% dengan *error rate* sebesar 0,05%. Data tersebut menunjukkan bahwa kalibrasi sensor pH dengan *buffer* 4,01 berhasil dilakukan dengan cukup baik.

TABEL 8
(Kalibrasi Sensor pH *buffer* 6,86)

pH <i>buffer</i> 6,86				
No.	Sensor pH	pH Meter	Akurasi (%)	Error (%)

1	6,30	6,26	99,36	0,64
2	6,27	6,26	99,84	0,16
3	6,23	6,26	99,52	0,48
4	6,20	6,26	99,04	0,96
5	6,17	6,26	98,56	1,44
6	6,20	6,26	99,04	0,96
7	6,18	6,26	98,72	1,28
8	6,21	6,26	99,20	0,80
9	6,20	6,26	99,04	0,96
10	6,21	6,26	99,20	0,80
11	6,19	6,25	99,04	0,96
12	6,18	6,25	98,88	1,12
13	6,18	6,25	98,88	1,12
14	6,18	6,25	98,88	1,12
15	6,18	6,25	98,88	1,12
16	6,18	6,25	98,88	1,12
17	6,19	6,25	99,04	0,96
18	6,18	6,25	98,88	1,12
19	6,14	6,24	98,40	1,60
20	6,14	6,24	98,40	1,60
21	6,17	6,24	98,88	1,12
22	6,17	6,24	98,88	1,12
23	6,17	6,24	98,88	1,12
24	6,16	6,24	98,72	1,28
25	6,16	6,24	98,72	1,28
26	6,16	6,24	98,72	1,28
27	6,14	6,24	98,40	1,60
28	6,17	6,25	98,72	1,28
Rata-rata	6,19	6,25	98,91	1,09

Berdasarkan dari Tabel 8, data rata-rata dari akurasi sebesar 98,91% dengan *error rate* sebesar 1,09%. Data tersebut menunjukkan bahwa kalibrasi sensor pH dengan *buffer* 6,86 berhasil dilakukan dengan cukup baik.

TABEL 9
(Kalibrasi Sensor pH buffer 9,18)

pH buffer 9,18				
No.	Sensor pH	pH Meter	Akurasi (%)	Error (%)
1	8,30	8,54	97,19	2,81
2	8,30	8,54	97,19	2,81
3	8,30	8,54	97,19	2,81
4	8,33	8,57	97,20	2,80
5	8,33	8,57	97,20	2,80
6	8,33	8,56	97,31	2,69
7	8,32	8,56	97,20	2,80

8	8,32	8,55	97,31	2,69
9	8,31	8,55	97,19	2,81
10	8,31	8,55	97,19	2,81
11	8,31	8,54	97,31	2,69
12	8,29	8,53	97,19	2,81
13	8,29	8,52	97,30	2,70
14	8,27	8,52	97,07	2,93
15	8,27	8,52	97,07	2,93
16	8,27	8,53	96,95	3,05
17	8,29	8,53	97,19	2,81
18	8,29	8,53	97,19	2,81
19	8,29	8,53	97,19	2,81
20	8,29	8,53	97,19	2,81
21	8,29	8,53	97,19	2,81
22	8,29	8,53	97,19	2,81
23	8,29	8,53	97,19	2,81
24	8,29	8,53	97,19	2,81
25	8,29	8,53	97,19	2,81
26	8,29	8,53	97,19	2,81
27	8,29	8,53	97,19	2,81
28	8,29	8,53	97,19	2,81
Rata-rata	8,30	8,54	97,19	2,81

Berdasarkan dari Tabel 9, data rata-rata dari akurasi sebesar 97,19% dengan *error rate* sebesar 2,81%. Data tersebut menunjukkan bahwa kalibrasi sensor pH dengan *buffer* 9,18 berhasil dilakukan dengan cukup baik.

4.1.4 Sensor TDS

Pengambilan data dari sensor pH dilakukan dengan mengambil data dari 5 sampel *buffer* dengan kadar *buffer* yang berbeda yaitu 226, 443, 671, 928, dan 1100.

TABEL 10
(Hasil kalibrasi Sensor TDS PPM 226)

No	TDS Meter	Sensor TDS	Tegangan (V)
1	226	148	0,388
2	226	146	0,384
3	226	143	0,378
4	226	147	0,386
5	226	148	0,387
6	226	143	0,376
7	226	141	0,374
8	226	136	0,363
9	226	138	0,366
10	226	129	0,348
11	226	132	0,353

12	226	134	0,359
13	226	135	0,359
14	226	135	0,359
15	226	137	0,365
16	226	141	0,372
17	226	139	0,369
18	226	142	0,375
19	226	143	0,378
20	226	138	0,367
21	226	142	0,376
22	226	135	0,361
23	226	138	0,367
Rata-rata		139,565	0,37

Berdasarkan pada tabel 10, dari 23 kali percobaan pada air dengan PPM 226 didapatkan data rata-rata PPM dari sensor TDS sebesar 139,565 dan rata-rata tegangan yaitu 0,37 *Volt*.

TABEL 11
(Hasil kalibrasi Sensor TDS PPM 443)

No	TDS Meter	Sensor TDS	Tegangan (V)
1	443	345	0,803
2	443	347	0,808
3	443	355	0,824
4	443	331	0,774
5	443	313	0,736
6	443	315	0,74
7	443	304	0,716
8	443	303	0,715
9	443	307	0,724
10	443	313	0,737
11	443	307	0,724
12	443	307	0,724
13	443	315	0,741
14	443	316	0,742
15	443	324	0,76
16	443	316	0,742
17	443	325	0,761
18	443	327	0,766
19	443	325	0,761
20	443	329	0,77
21	443	325	0,762
22	443	299	0,707
23	443	298	0,705
Rata-rata		319,391	0,75

Berdasarkan pada tabel 11, dari 23 kali percobaan pada air dengan PPM 443 didapatkan data rata-rata PPM dari sensor TDS sebesar 319,391 dan rata-rata tegangan yaitu 0,75 *Volt*.

TABEL 12
(Hasil kalibrasi Sensor TDS PPM 671)

No	TDS Meter	Sensor TDS	Tegangan (V)
1	671	398	0,915
2	671	457	1,04
3	671	469	1,065
4	671	477	1,083
5	671	471	1,07
6	671	480	1,089
7	671	486	1,102
8	671	477	1,082
9	671	481	1,091
10	671	489	1,107
11	671	483	1,094
12	671	491	1,111
13	671	486	1,102
14	671	483	1,196
15	671	485	1,1
16	671	490	1,11
17	671	483	1,196
18	671	474	1,076
19	671	471	1,07
20	671	471	1,07
21	671	471	1,069
22	671	462	1,05
23	671	455	1,037
Rata-rata		473,478	1,084

Berdasarkan pada tabel 12, dari 23 kali percobaan pada air dengan PPM 671 didapatkan data rata-rata PPM dari sensor TDS sebesar 473,478 dan rata-rata tegangan yaitu 1,084 *Volt*.

TABEL 13
(Hasil kalibrasi Sensor TDS PPM 928)

No	TDS Meter	Sensor TDS	Tegangan (V)
1	928	496	1,123
2	928	538	1,212
3	928	523	1,179
4	928	512	1,156
5	928	512	1,157
6	928	516	1,166
7	928	512	1,156

8	928	493	1,116
9	928	511	1,155
10	928	513	1,158
11	928	533	1,2
12	928	540	1,216
13	928	540	1,215
14	928	539	1,214
15	928	544	1,223
16	928	534	1,204
17	928	535	1,205
18	928	550	1,237
19	928	549	1,235
20	928	520	1,173
21	928	540	1,216
22	928	526	1,186
23	928	508	1,148
Rata-rata		525,391	1,185

Berdasarkan pada tabel 13, dari 23 kali percobaan pada air dengan PPM 928 didapatkan data rata-rata PPM dari sensor TDS sebesar 525,391 dan rata-rata tegangan yaitu 1,185 Volt.

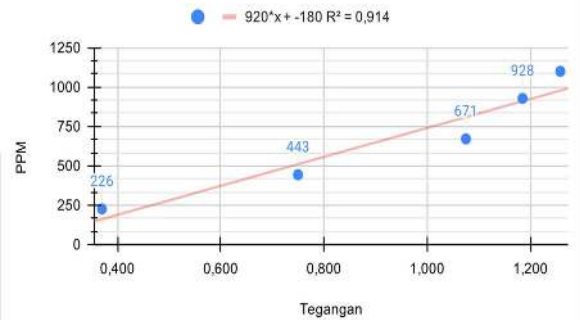
TABEL 14
(Hasil kalibrasi Sensor TDS PPM 1100)

No	TDS Meter	Sensor TDS	Tegangan (V)
1	1100	454	1,227
2	1100	547	1,231
3	1100	564	1,266
4	1100	562	1,262
5	1100	567	1,272
6	1100	563	1,264
7	1100	569	1,277
8	1100	565	1,268
9	1100	570	1,279
10	1100	562	1,263
11	1100	540	1,216
12	1100	546	1,229
13	1100	562	1,162
14	1100	563	1,264
15	1100	550	1,237
16	1100	549	1,235
17	1100	573	1,285
18	1100	550	1,237
19	1100	570	1,28
20	1100	573	1,286
21	1100	562	1,263

22	1100	563	1,264
23	1100	563	1,265
Rata-rata		555,956	1,253

Berdasarkan pada tabel 14 dari 23 kali percobaan pada air dengan PPM 1100 didapatkan data rata-rata PPM dari sensor TDS sebesar 555,956 dan rata-rata tegangan yaitu 1,253 Volt.

Kalibrasi TDS



GAMBAR 10

(Grafik hasil kalibrasi sensor TDS)

Setelah melakukan kalibrasi pada sensor TDS didapatkan grafik dari hasil kalibrasi seperti yang tertera pada gambar 10 dengan sumbu (x,y) yaitu (PPM,tegangan).

4.1.5 Sensor Flowmeter

Data dari sensor *flowmeter* diperoleh dengan mencatat rata-rata aliran hingga bak berkapasitas 35 liter terisi penuh. Proses pengisian membutuhkan waktu 2 menit 46 detik (atau 166 detik), dan hasilnya digunakan dalam perhitungan melalui rumus berikut:

TABEL 15
(Hasil kalibrasi Sensor TDS PPM 1100)

$\frac{\text{Debit}}{\text{Volume}}$	(4.3)
$= \frac{\text{Waktu}}{35 \text{ Liter}}$	
$= \frac{2,46 \text{ menit}}{166 \text{ detik}}$	
$= 14,2 \text{ L /menit}$	

Hasil yang diperoleh dari rumus menunjukkan bahwa sudah didapatkan *datasheet* sebagai pembandingan agar hasil data kalibrasi sensor *flowmeter* yang lebih akurat.

4.1.6 Internet of Things

4.1.6.1 Pengujian/Kalibrasi

Penilaian ini berfokus pada tiga parameter utama: laju data (throughput), kehilangan paket (packet loss), dan keterlambatan transmisi (delay). Evaluasi dilakukan dalam tiga sesi pengujian untuk memastikan representativitas data. Hasil pengujian ini kemudian dapat dibandingkan dengan standar yang ditetapkan oleh TIPHON untuk menilai efektivitas transmisi data.

TABEL 16
(Standar Throughput)

Kategori	Throughput	Indeks
Sangat Bagus	> 1 Mbps	4
Bagus	100 kbps - 1 Mbps	3
Sedang	10 kbps - 100 kbps	2
Jelek	1 kbps - 10 kbps	1
Sangat Jelek	< 1 kbps	0

TABEL 17
(Standar Packet Loss)

Kategori	Packet Loss	Indeks
Sangat Bagus	0 – 2%	4
Bagus	3 – 14%	3
Sedang	15 – 24%	2
Jelek	> 25%	1

TABEL 18
(Standar Delay)

Kategori	Delay	Indeks
Sangat Bagus	< 150ms	4
Bagus	150 – 300ms	3
Sedang	300 – 450 ms	2
Jelek	> 450ms	1

Penelitian ini menggunakan wireshark sebagai media analisis data dari protokol blynk karena wireshark memiliki fitur analisis paket data yang terbilang cukup detail dan efektif untuk pengambilan data seperti *Quality of Service* (QoS).

Statistics	Packets	Bytes	Packets/Second
Packets	2061	64,732	24.5
Bytes	492 (21.4%)	64,867	1.3
Average packet size, B	154	73	1.0
Packets	157508	50864 (70.8%)	1.0
Average packet size, B	2767	385	1.0
Average bytes/s	29	5086	1.0

GAMBAR 11
(Hasil pengujian *Internet of Things* (IoT) 1)

Berdasarkan gambar 11, data dari *wireshark* untuk *packet loss* menunjukkan 0% *Dropped packets*.

Statistics	Packets	Bytes	Packets/Second
Packets	2061	64,732	24.5
Bytes	492 (21.4%)	64,867	1.3
Average packet size, B	154	73	1.0
Packets	157508	50864 (70.8%)	1.0
Average packet size, B	2767	385	1.0
Average bytes/s	29	5086	1.0

GAMBAR 12
(Hasil pengujian *Internet of Things* (IoT) 2)

Berdasarkan gambar 12, data yang didapatkan perlu dihitung untuk mendapatkan data *throughput* dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Jumlah Data yang Dikirim}}{\text{Waktu Pengiriman}} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{32664 \text{ byte}}{84.667s} \\ &= 385,793 \text{ byte} \\ &= 385,793 \times 8 \\ &= 3.086,36 \text{ bit} \\ &= 3,01 \text{ kbps} \end{aligned}$$

4.1.6.2 Analisis pengujian

Hasil pengujian menunjukkan jaringan berfungsi dengan baik, dengan 0% *packet loss*, yang berarti semua data berhasil diterima tanpa gangguan. Setelah dilakukan perhitungan *Throughput* menggunakan persamaan (4.4) tercatat hasilnya sebesar 3,01 kbps, menunjukkan kecepatan transfer yang stabil dan bisa dikategorikan bagus. Rata-rata ukuran paket adalah 24,3-byte, yang mendukung pengiriman data efisien. Meskipun 22,4% paket tidak berhasil ditampilkan, performa jaringan tetap stabil dengan ruang untuk pengoptimalan lebih lanjut.

V. PENGUJIAN SISTEM

5.1. Pengujian Sistem

5.1.1 Sistem *Monitoring Sensor* Berbasis IoT

Sistem ini diuji melalui serangkaian tahapan yang dimulai dengan kalibrasi sensor menggunakan alat pembanding. Setelah kalibrasi, mikrokontroler ESP32 mengirimkan data dari sensor ke platform Blynk untuk pemantauan real-time. Hasil pengujian menunjukkan sistem pemantauan berbasis IoT ini berhasil mengumpulkan dan menampilkan data dari empat sensor, yaitu INA219, PZEM-004T, pH, dan TDS. Data dari semua sensor ditampilkan pada LCD dan juga dikirimkan ke aplikasi atau web. Secara spesifik, pengujian terhadap Sensor INA219 menunjukkan fungsionalitas yang baik, meskipun ditemukan sedikit perbedaan tegangan. Nilai tegangan yang terbaca pada multimeter adalah 24,3V, sementara aplikasi/LCD menampilkan nilai 25V, yang mengindikasikan adanya selisih sebesar 0,7V.

5.2. Saran

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan diantaranya:

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan studi budidaya hidroponik dengan variasi metode dan jenis tanaman, serta menggunakan nutrisi elektrolisis. Selain itu, penelitian dapat dieksplorasi dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan yang berbeda, seperti PLTA atau PLTU. Mengingat penelitian ini hanya berfokus pada monitoring, perlu ditambahkan sistem kendali yang lebih kompleks, misalnya dengan integrasi sensor suhu, guna mendapatkan hasil yang lebih optimal dan komprehensif.

REFERENSI

- [1] M. Noer, "Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan Dan Perencanaan Lahan," PERSPEKTIF PERTANIAN TROPIKA BASAH: POTENSI DAN TANTANGANNYA DALAM RANGKA PERTANIAN BERKELANJUTAN, p. 441.
- [2] S. N. Utami, "Mata Pencarian Penduduk Berdasarkan Letak Geografisnya," Kompas.com. Accessed: Apr. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.kompas.com/skola/read/2022/09/02/150000569/mata-pencarian-penduduk-berdasarkan-letak-geografisnya>.
- [3] F. R. Harahap, "DAMPAK URBANISASI BAGI PERKEMBANGAN KOTA DI INDONESIA," Society,

- vol. 1, no. 1, pp. 35–45, Jun. 2013, doi: 10.33019/society.v1i1.40.
- [4] A. Danugroho, "Urgensi Peran Masyarakat Perkotaan dalam Program 'Urban Farming' Sebagai Daya Dukung Ketahanan Pangan di Masa Pandemi," *Jurnal Paradigma: Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia*, vol. 3, no. 1, 2022, doi: <https://doi.org/10.22146/jpmmi.v3i1.73906>.
 - [5] N. Khasanah, "Urban Farming Sebagai Upaya Peningkatan Ekonomi Sulampua," *Medikonis*, vol. 12, no. 2, pp. 10–19, Sep. 2021, doi: 10.52659/medikonis.v12i2.39.
 - [6] B. D. E. M. Ansar, sukrawaty, Guyup Mahardian Dwi Putra, "Variasi Bentuk Penampang Saluran yang Sesuai untuk Pertumbuhan Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus Tricolor L.*) pada Hidroponik," vol. 8, no. 2, pp. 143-152, 2020.
 - [7] T. Solomon et al., "Analisis Kadar Besi (Fe) Pada Bayam Merah (*Iresine herbstii hook*) Dan Bayam Hijau (*Amaranthus tricolor sp*) Yang Dikonsumsi Masyarakat," *Int. J. Trop. Insect Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 104-110, 2004.
 - [8] S. D. W. I. Utari, F. Tarbiyah, D. A. N. Keguruan, U. I. Negeri, and R. I. Lampung, "Pengaruh Waktu Elektrolisis Air Menggunakan Produksi Tanaman Hidroponik Kangkung (*Ipomoea reptans poir*)," 2018.
 - [9] S. D. W. I. Utari, F. Tarbiyah, D. A. N. Keguruan, U. I. Negeri, and R. I. Lampung, "PENGARUH WAKTU ELEKTROLISIS AIR MENGGUNAKAN PRODUKSI TANAMAN HIDROPONIK KANGKUNG (*Ipomoea reptans poir*) PRODUKSI TANAMAN HIDROPONIK KANGKUNG (*Ipomoea reptans poir*)," 2018.
 - [10] Mufida, Elly, et al. "Perancangan Alat Pengontrol pH Air Untuk Tanaman Hidroponik Berbasis Arduino Uno." *INSANTEK-Jurnal Inovasi dan Sains Teknik Elektro* 1.1 (2020): 13-19.
 - [11] "Pemanfaatan Pompa Air-PLTS UNTUK Pemenuhan Ketersediaan Air Penyiram Tanaman pada Program Ecogarden SDIT Al Uswah."
 - [12] M. A. F. Rigoursyah, E. Kurniawan, S. Yuwono, "Perancangan UPS Berbasis Sumber Energi Listrik Terbarukan dan PLN Termonitor Perangkat IOT", *e-Proceeding of Engineering.*, vol 7, no. 3.