

**IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING KUALITAS AIR TAMBAK
UDANG VANAME DENGAN MENGGUNAKAN PLTS OFF-GRID
SEBAGAI SUMBER ENERGI**

(SKRIPSI)

Oleh:

MUHAMAD SIDIK ALFANDI

2015031064



**JURUSAN
TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

**IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING KUALITAS AIR TAMBAK
UDANG VANAME DENGAN MENGGUNAKAN PLTS OFF-GRID
SEBAGAI SUMBER ENERGI**

Oleh:

Muhamad Sidik Alfandi

Keberhasilan budidaya udang vaname sangat bergantung pada parameter kualitas air seperti oksigen terlarut (DO), suhu, pH, salinitas, dan ketinggian air. Petambak di Bumi Dipasena masih mengandalkan metode pemantauan manual yang bersifat subjektif, tidak real-time, dan rentan terhadap kesalahan manusia. Selain itu, keterbatasan pasokan listrik PLN menjadi kendala utama dalam penerapan teknologi pemantauan modern. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid menawarkan solusi energi yang berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas air pada tambak udang vaname yang menggunakan sumber energi dari PLTS *off-grid*. Sistem ini mengintegrasikan mikrokontroler dengan beberapa sensor DO, pH, suhu, salinitas, dan ketinggian air serta sensor pemantauan PLTS (*INA219*, *ACS712*, dan sensor tegangan). Data ditampilkan pada layar LCD dan disimpan di Raspberry Pi untuk kebutuhan pemantauan dan analisis secara real-time.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa PLTS *off-grid* mampu menopang sistem secara andal dengan beban harian sebesar 198,768 Wh, didukung oleh baterai yang dapat beroperasi hingga 63 jam tanpa pengisian ulang. Panel surya menghasilkan daya sebesar 369,16 Wh pada kondisi cerah dan 177,61 Wh pada kondisi berawan. Dari segi akurasi, sensor *TDS* terbukti tidak sesuai untuk lingkungan tambak payau dan sebaiknya diganti dengan sensor salinitas khusus, sementara sensor pH disarankan untuk ditingkatkan ke tipe industrial agar lebih tahan untuk penggunaan lapangan jangka panjang.

Secara keseluruhan, implementasi sistem ini terbukti efektif dalam membantu petambak mengoptimalkan manajemen budidaya, sehingga dapat meningkatkan produktivitas budidaya udang vaname.

Kata kunci: Sistem monitoring, PLTS *off-grid*, udang vaname, kualitas air.

ABSTRACT

Implementation of a Water Quality Monitoring System for Vannamei Shrimp Ponds Using Off-Grid Photovoltaic as a Power Source

By:

Muhamad Sidik Alfandi

The success of vannamei shrimp farming is highly dependent on water quality parameters such as dissolved oxygen (DO), temperature, pH, salinity, and water level. Farmers in Bumi Dipasena still rely on manual monitoring methods that are subjective, non-real-time, and prone to human error. Additionally, the limited availability of grid electricity (PLN) remains a major obstacle to adopting modern monitoring technologies. To address this issue, an off-grid photovoltaic (PLTS) system offers a sustainable energy solution.

This study aims to design and implement a water quality monitoring system for vannamei shrimp ponds powered by an off-grid PLTS. The system integrates a microcontroller with several sensors DO, pH, temperature, salinity, and water level alongside PLTS monitoring sensors (INA219, ACS712, and a voltage sensor). Data are displayed on an LCD and stored on a Raspberry Pi for real-time monitoring and analysis.

Experimental results show that the off-grid PLTS can reliably sustain the system, which has a daily load of 198.768 Wh, supported by a battery capable of operating for up to 63 hours without recharging. The solar panel generated 369.16 Wh under clear weather and 177.61 Wh under cloudy conditions. Regarding accuracy, the TDS sensor was found unsuitable for brackish pond environments and should be replaced with a dedicated salinity sensor, while the pH sensor would benefit from an upgrade to an industrial-grade type for long-term field deployment.

Overall, the implementation of this system has proven effective in assisting farmers in optimizing cultivation management, thereby enhancing productivity in vannamei shrimp farming.

Keywords: Monitoring system, off-grid photovoltaic, vannamei shrimp, water quality.

**IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING KUALITAS AIR TAMBAK
UDANG VANAME DENGAN MENGGUNAKAN PLTS OFF-GRID
SEBAGAI SUMBER ENERGI**

Oleh:

MUHAMAD SIDIK ALFANDI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN
TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING
KUALITAS AIR TAMBAK UDANG VANAME
DENGAN MENGGUNAKAN PLTS OFF-GRID
SEBAGAI SUMBER ENERGI**

Nama Mahasiswa : **Muhamad Sidik Alfandi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031064

Jurusan : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP. 197404222000122001

Ing. Melvi, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197301182000032001

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 197103141999032001

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 197311042000031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.**



Sekretaris

: **Ing. Melvi, S.T., M.T., Ph.D.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 September 2025

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi saya ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi akademik sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 06 Oktober 2025



Muhamad Sidik Alfandi
NPM. 2015031064

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bangun Rejo pada tanggal 06 Oktober 2001. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Subagyo dan Ibu Haryani. Penulis memulai pendidikan di TK Dharma Wanita Dipasena Jaya pada tahun 2007 hingga 2008, SD Negeri 01 Bumi Dipasena Jaya pada tahun 2008 hingga 2014, SMP Negeri 1 Rawajitu Timur pada tahun 2014 hingga 2017, dan SMKN 1 Gading Rejo yakni pada tahun 2017 hingga 2020.

Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjalani studi, penulis mempelajari berbagai hal terkait bidang ketenagalistrikan dan energi terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penulis juga mengikuti Program KKN Tematik dengan merancang sistem keamanan kandang kambing, serta melaksanakan magang dan kerja praktik di PT PLN Enjiniring dengan laporan berjudul “Studi Optimasi Potensi dan Desain PLTS Serui 5 MW Menggunakan Software PVSyst 7.2.” Sebagai tugas akhir, penulis mengembangkan sistem monitoring kualitas air tambak udang vaname menggunakan PLTS off-grid sebagai sumber energi. Selain itu, pada tahun 2021 hingga 2022 penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Elektro sebagai anggota Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri, divisi Sosial dan Kewirausahaan.



PERSEMBAHAN



Dengan Ridho Allah SWT

Teriring shalawat kepada Nabi Muhammad SAW Karya Tulis ini ku

persembahkan untuk:

Ayah dan Ibuku Tercinta

Subagyo dan Haryani

Serta Kakak dan Adikku Tersayang

Bondan Irawan

Anisa Sulis Tiani

Danuri Mahfud

Terimakasih untuk semua dukungan dan doa selama ini Sehingga aku dapat

menyelesaikan hasil karyaku ini



MOTTO

**“Jika kau menungguku untuk MENYERAH, maka kau akan
menungguku SELAMANYA”.**

(Uzumaki Naruto)

**“Manusia tidak akan pernah saling memahami jika tidak
merasakan penderitaan yang sama.”**

(Pain)

**“Dan Bahwa Manusia Hanya Memperoleh Apa Yang Telah
Diusahakannya.”**

(Q.S An-Najm: 39)

SANWACANA

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Vaname Dengan Menggunakan Plts Off-Grid Sebagai Sumber Energi” Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tuaku tercinta Bapak Subagyo dan Ibu Haryani, terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, perhatian, dukungan, ridho dan doa pada setiap jalan perjuangan selama ini yang tiada hentinya.
2. Saudaraku-saudaraku tersayang Kak Bondan, Anisa, dan Danu yang menjadi penyemangat dan memberikan doa untuk penulis, semoga kelak kita menjadi orang yang sukses agar dapat membahagiakan dan membanggakan Orang tua kita.
3. Wiwin Handayani yang selalu menemani dan menyemangati serta selalu mendoakan kelancaran dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A. IPM., ASEAN.Eng., selaku Rektor Universitas Lampung
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
6. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung
7. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung

8. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T, selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi kepada penulis dalam penyusunan Skripsi ini.
9. Ibu Ing. Melvi, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, nasihat dan motivasi kepada penulis dalam penyusunan Skripsi ini.
10. Bapak Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing lapangan yang telah memberikan bimbingan, nasihat, arahan dan motivasi kepada penulis dalam penyusunan Skripsi ini.
11. Ibu Dr. Eng. Endah Komalasari., S.T., M.T., selaku dosen penguji dan pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, kritik, masukan, dan saran bimbingan dengan baik dan tulus kepada penulis selama perkuliahan.
12. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran dan pandangan hidup selama perkuliahan.
13. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
14. Sahabat-sahabat keqing tercinta: Fadhil, Affan, Dian, Gusti, Irham, Sandro, dan Noval. Terima kasih atas segala pengalaman yang telah kita lalui bersama dan dukungan yang tak pernah putus. Keberadaan kalian selalu menjadi sumber inspirasi dan semangat bagi penulis.
15. Penghuni Squad Rawajitu: Kelvin-kun, Affan-kun, Bintang-kun, Habib-kun, Adit-kun, Fajar-kun, dan Bang Iham-kun. Terima kasih karena telah menemani dan menghibur penulis disaat penulis merasa Lelah dan kehilangan semangat.
16. Segenap Keluarga Besar Angkatan HELLIOS 2020, dan teman-teman yang telah menjadi rekan skripsi selama di lab.
17. Rekan-rekan HIMATRO UNILA serta kakak-kakak dan adik-adik tingkat di Jurusan Teknik Elektro.
18. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dan kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak demi perbaikan dan kemajuan bersama. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi bagi semua pihak.

Bandar Lampung, 06 Oktober 2025

Penulis,

Muhamad Sidik Alfandi

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
SANWACANA	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Penelitian Terdahulu	6
2.2. Udang Vaname	7
2.3. Kualitas Air Tambak Udang Vaname.....	8
2.4. Perangkat Keras Sistem Monitoring Kualitas Air.....	9
2.4.1. <i>Raspberry Pi</i>	10
2.4.2. Arduino Nano.....	11
2.4.3. <i>Sensor Dissolved Oxygen (DO)</i>	12
2.4.4. Sensor PH Meter	13

2.4.5. Sensor Temperatur.....	14
2.4.6. Sensor <i>TDS</i>	15
2.4.7. Sensor Level Air.....	16
2.4.8. LCD 2004.....	17
2.5. Perangkat Lunak Sistem Monitoring Kualitas Air.....	17
2.5.1. Arduino IDE.....	17
2.5.2. <i>Node-Red</i>	18
2.6. PLTS Off Grid.....	18
2.6.1. Modul PV.....	18
2.6.2. <i>Maximum Power Point Tracking (MPPT)</i>	19
2.6.3. Baterai <i>LivePo4</i>	20
2.7. Perancangan PLTS <i>Off-Grid</i>	21
2.7.1. Menghitung Total Beban Daya Sistem.....	21
2.7.2. Menghitung Kebutuhan Harian.....	21
2.7.3. Menghitung Kapasitas Baterai.....	22
2.7.4. Menghitung Kebutuhan Panel Surya.....	22
2.7.5. Menghitung Kapasitas <i>Solar Charge Controller (SCC)</i>	23
2.8. Kalibrasi Sensor.....	23
III. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
3.2. Alat dan Bahan.....	24
3.3. Tahapan Penelitian.....	26
3.4. Desain Sistem.....	27
3.4.1. Diagram Blok Sistem Monitoring Kualitas Air.....	28
3.4.2. Perhitungan Perancangan PLTS <i>Off-grid</i>	29
3.4.3. Diagram Blok PLTS <i>Off-Grid</i>	31
3.4.4. Perancangan Wiring Sistem.....	32
3.4.5. Perancangan Alur Kerja Perangkat Berbasis <i>Node-Red</i>	34
3.5. Metode Pengujian.....	35

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Implementasi Sistem Dilapangan	36
4.1.1. Implementasi Sistem Monitoring Kualitas Air	36
4.1.2. Implementasi PLTS <i>Off-Grid</i>	40
4.2. Implementasi Perangkat Lunak	41
4.2.1. Arsitektur Alur Data	41
4.2.2. Konfigurasi <i>Node-Red</i>	42
4.2.3. Penyimpanan Data	43
4.3. Hasil Pengujian Sistem	43
4.3.1. Kalibrasi Sensor	44
4.3.2. Pengujian PLTS <i>Off-Grid</i>	47
4.3.3. Hasil Pengujian Aktuator Kincir Otomatis	56
4.4. Visualisasi Data Sensor	59
4.4.1. Visualisasi Data Sensor <i>Dissolved Oxygen (DO)</i>	59
4.4.2. Visualisasi Data Sensor pH	60
4.4.3. Visualisasi Data Sensor <i>Total Dissolved Solid (TDS)</i>	61
4.4.4. Visualisasi Sensor Suhu	62
4.4.5. Visualisasi Sensor Level Air	63
4.5. Hasil Panen Setelah Budidaya Dengan Sistem Monitoring	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1. Kesimpulan	69
5.2. Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Udang Vaname	8
Gambar 2. 2	Raspberry Pi 4 Model B	10
Gambar 2. 3	Arduino Nano V3 Type C	11
Gambar 2. 4	Sensor <i>Dissolved Oxygen (DO)</i>	12
Gambar 2. 5	Sensor pH	13
Gambar 2. 6	Sensor DS18B20	14
Gambar 2. 7	Sensor <i>Total Dissolved Solids (TDS)</i>	15
Gambar 2. 8	Sensor <i>JSN-SR04T</i>	16
Gambar 2. 9	Gambar <i>LCD 2004</i>	17
Gambar 2.10	<i>PV-Module</i>	19
Gambar 2.11	<i>MPPT</i>	20
Gambar 2.12	Baterai <i>LivePo4</i>	20
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3. 2	Diagram Blok Sistem Monitoring Kualitas Air	28
Gambar 3. 3	Diagram Blok PLTS <i>Off-Grid</i>	31
Gambar 3. 4	Wiring Diagram Sistem Penelitian	32
Gambar 3. 5	Diagram Alir Perancangan Alat	34
Gambar 4. 1	Implementasi Sensor	37
Gambar 4. 2	Sistem Pengolahan Data Panel Kontrol	38
Gambar 4. 3	Panel Kontrol Kincir	39
Gambar 4. 4	Implementasi PLTS <i>Off-grid</i>	40
Gambar 4. 5	Tampilan <i>Node-Red</i>	42
Gambar 4. 6	Data Dalam File <i>Comma Separated Values (CSV)</i>	43
Gambar 4. 7	Grafik Konsumsi Daya Perangkat Saat Pengujian Sistem Daya... ..	48
Gambar 4. 8	Grafik Tegangan Baterai Selama Periode Pengujian	49
Gambar 4. 9	Energi Kumulatif	50
Gambar 4. 10	Grafik Output Panel Surya Cuaca Cerah	52
Gambar 4. 11	Grafik Output Panel Surya Cuaca Mendung	53
Gambar 4. 12	Grafik Nilai <i>DO</i>	59
Gambar 4. 13	Grafik Nilai <i>pH</i>	60
Gambar 4. 14	Grafik Nilai <i>TDS</i>	62
Gambar 4. 15	Grafik Nilai Suhu	63
Gambar 4. 16	Grafik Ketinggian Air Saat Melakukan Pengisian Air	63

Gambar 4. 17 Grafik Nilai Ketinggian Air.....	64
Gambar 4. 18 Perbandingan ABW	67
Gambar 4. 19 Perbandingan SR	68
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan FCR	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Parameter Kualitas Air Pemeliharaan Udang Vaname	9
Tabel 2. 2	Spesifikasi <i>Raspberry</i> Pi 4 Model B	11
Tabel 2. 3	Spesifikasi Arduino Nano V3 Type C	12
Tabel 2. 4	Spesifikasi Sensor <i>Dissolved Oxygen (DO)</i>	13
Tabel 2. 5	Spesifikasi Sensor pH.....	13
Tabel 2. 6	Spesifikasi Sensor Suhu (<i>DS18B20</i>)	14
Tabel 2. 7	Spesifikasi Sensor <i>Total Dissolved Solids (TDS)</i>	15
Tabel 2. 8	Spesifikasi Sensor <i>JSN-SR04T</i>	16
Tabel 2. 9	Spesifikasi PV-Modul.....	19
Tabel 3. 1	Alat dan Bahan Penelitian	24
Tabel 3. 2	Konsumsi Beban Harian.....	29
Tabel 3. 3	Spesifikasi Baterai	30
Tabel 4. 1	Kalibrasi Sensor <i>Dissolved Oxygen (DO)</i>	44
Tabel 4. 2	Kalibrasi Sensor pH Menggunakan Larutan Buffer 7	45
Tabel 4. 3	Kalibrasi Sensor pH Menggunakan Larutan Buffer 4.....	45
Tabel 4. 4	Data Kalibrasi Sensor <i>Total Dissolved Solids (TDS)</i>	46
Tabel 4. 5	Kalibrasi Sensor Suhu	46
Tabel 4. 6	Kalibrasi Sensor Level Air	47
Tabel 4. 7	Ringkasan Hasil Pengujian Otonomi Baterai.....	51
Tabel 4. 8	Perbandingan Kinerja Panel Surya.....	55
Tabel 4. 9	Pengujian Efisiensi	56
Tabel 4. 10	Hasil Pengujian Kincir Air Untuk Parameter Oksigen Terlarut	57
Tabel 4. 11	Hasil Pengujian Kincir Air Untuk Parameter Suhu.....	58
Tabel 4. 12	Ringkasan Penyesuaian	65
Tabel 4. 13	Perbandingan Hasil Panen.....	66
Tabel 4. 14	Hasil Perhitungan Parameter Budidaya Udang Vaname.....	67

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan salah satu sektor strategis dalam industri akuakultur Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan kontribusi besar terhadap ekspor hasil perikanan nasional[1]. Pada tahun 2022, produksi udang vaname di Indonesia mencapai sekitar 1,2 juta ton (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2023). Keberhasilan budidaya udang sangat dipengaruhi oleh kualitas air tambak, yang mencakup parameter-parameter penting seperti oksigen terlarut (*DO*), suhu, pH, salinitas, dan ketinggian air. Ketidakseimbangan atau fluktuasi parameter-parameter tersebut dapat menyebabkan stres pada udang, meningkatkan risiko penyakit, serta menurunkan produktivitas dan kualitas hasil panen[2].

Salah satu kawasan budidaya udang vaname yang memiliki sejarah panjang dan strategis adalah Bumi Dipasena, yang terletak di Kabupaten Tulang Bawang, Provinsi Lampung. Pada masa kejayaannya yaitu pada tahun 1996, Bumi Dipasena dikenal sebagai salah satu kawasan tambak udang super-intensif terbesar di Asia Tenggara, dengan sistem budidaya yang modern dan dikelola oleh pihak swasta (PT)[3]. Namun, pada tahun 1997-2011 terjadinya konflik antara petambak plasma dan perusahaan pengelola, operasional perusahaan dihentikan dan kawasan tambak ditinggalkan[3]. Saat ini, kegiatan budidaya di Bumi Dipasena dilakukan secara swadaya oleh masyarakat setempat dengan sistem tradisional tanpa menggunakan teknologi untuk monitoring kualitas air.

Sebagian besar petambak tradisional masih mengandalkan metode pengamatan manual untuk memantau kualitas air, seperti memperhatikan perubahan warna air, mencium bau yang tidak biasa, atau menggunakan alat ukur sederhana secara berkala, seperti pH meter dan termometer. Metode ini memiliki sejumlah

keterbatasan, karena bersifat subjektif dan hanya memberikan gambaran sesaat, tanpa data kontinu. Ketidakakuratan ini dapat muncul akibat keterbatasan alat ukur, kesalahan dalam pencatatan, maupun interpretasi yang berbeda antara satu individu dengan yang lain. Selain itu, metode ini tidak mampu memberikan data secara *real-time*, sehingga menyulitkan petambak dalam merespons secara cepat terhadap perubahan kondisi air yang dapat berdampak serius terhadap keberlangsungan budidaya. Padahal, pemantauan kualitas air yang efektif, akurat, dan berkelanjutan sangat penting dalam mendukung produktivitas dan keberhasilan usaha budidaya perikanan[4].

Saat ini jaringan listrik PLN telah mulai tersedia di kawasan Bumi Dipasena, namun pasokan listrik masih belum stabil. Wilayah ini sering mengalami gangguan listrik, terutama saat terjadi hujan lebat dan angin kencang, yang merupakan kondisi umum di kawasan pesisir tersebut[5]. Ketidakstabilan pasokan listrik ini menjadi kendala besar dalam penerapan sistem monitoring berbasis teknologi yang memerlukan sumber energi yang stabil dan berkelanjutan.

Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar, dengan rata-rata intensitas radiasi matahari harian sebesar 4,8–5,2 kWh/m² (ESDM, 2022). Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid menjadi solusi potensial untuk menyediakan energi mandiri di daerah-daerah budidaya terpencil seperti Bumi Dipasena. Integrasi PLTS off-grid memungkinkan pembangunan sistem monitoring kualitas air tambak yang ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring kualitas air, namun umumnya masih bergantung pada jaringan listrik konvensional atau baterai yang terbatas masa pakainya. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan rancangan sistem monitoring kualitas air yang didukung sumber energi dari PLTS Off-Grid. Sistem ini akan menggunakan mikrokontroler (seperti Arduino dan Raspberry Pi) dan berbagai sensor untuk memantau parameter penting secara *real-time*, dengan hasil pemantauan yang dapat ditampilkan langsung melalui LCD dan disimpan kedalam raspi sebagai data *logger*.

Penelitian ini akan dilakukan secara langsung di kawasan tambak udang vaname Bumi Dipasena sebagai studi kasus implementasi sistem monitoring kualitas air

berbasis energi terbarukan. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan solusi praktis bagi petambak untuk meningkatkan produksi, mengurangi risiko gagal panen, serta mendorong transformasi menuju praktik budidaya yang lebih modern dan berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah serbagai berikut;

1. Bagaimana merancang sistem monitoring kualitas air tambak udang vaname?
2. Bagaimana sistem dapat beroperasi menggunakan PLTS Off-Grid?
3. Bagaimana kinerja sistem monitoring kualitas air dalam kondisi lapangan?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Merancang sistem monitoring kualitas air tambak udang vaname.
2. Merancang PLTS Off-Grid sebagai sumber energi sistem.
3. Mengembangkan sistem aktuator kincir yang terintegrasi dengan sensor DO dan suhu untuk menjaga kualitas air tambak.
4. Menguji kinerja sistem dalam memantau parameter kualitas air.
5. Menguji kinerja PLTS Off-Grid sebagai sumber energi sistem.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Jenis sensor yang digunakan dalam penelitian ini meliputi (DO, pH, TDS, suhu, level air).
2. Pada penelitian ini sistem monitoring hanya menyimpan data secara lokal pada memori Raspberry Pi
3. Penelitian ini hanya menguji kinerja PLTS Off-Grid sebagai sumber energi sistem monitoring, yang meliputi ketahanan baterai, Efisiensi MPPT dan keluaran daya panel surya pada kondisi cuaca cerah dan mendung.
4. Tidak membahas aspek finansial pada PLTS Off-Grid.
5. Menggunakan panel surya *Polycrystalline* dengan kapasitas 50Wp.

6. Pengujian sistem monitoring kualitas air dilakukan hanya pada satu titik lokasi tambak, dengan asumsi bahwa nilai parameter kualitas air pada titik tersebut merepresentasikan kondisi keseluruhan tambak.
7. Penelitian ini dilakukan pada tambak udang *vaname* dengan sistem tradisional sampai semi-intensif, sehingga algoritma pengendalian kincir berbasis perbedaan suhu permukaan dan suhu dasar air hanya berlaku pada kondisi tersebut.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Mengurangi ketergantungan pada sumber energi listrik konvensional.
2. Kontribusi dalam pengembangan sistem monitoring berbasis energi terbarukan.
3. Meningkatkan produktivitas melalui pemantauan kualitas air secara real-time.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memaparkan beberapa teori pendukung dan referensi materi yang diperoleh dari berbagai sumber buku, jurnal dan penelitian ilmiah yang digunakan untuk penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini memaparkan waktu dan tempat, alat dan bahan, metode penelitian dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan penelitian ini.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan dan menganalisis hasil dari data yang diperoleh yaitu perhitungan dan analisis sebagai pembahasan dari penelitian ini.

BAB 5. KESIMPULAN

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan dan saran yang didasarkan pada hasil data dan pembahasan dari perhitungan serta analisis yang telah dilakukan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Berdasarkan topik penelitian yang dipilih, terdapat beberapa referensi penelitian yang relevan. Referensi ini berasal penelitian terdahulu yang terkait. Berikut ini adalah beberapa sumber referensi dari penelitian ini, diantaranya yaitu penelitian Achmad Zamzami¹, Odis Fransisco², Irwan³, dan Muhammad Iqbal Nugraha⁴ yang berjudul “ Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Berbasis *Internet Of Things* (IOT)” Pada penelitian ini dikembangkan sistem monitoring kualitas air tambak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata persentase error pada parameter suhu mencapai 0,31% untuk pengamatan selama 1 jam, 0,14% untuk 2 jam, dan 0,23% untuk 3 jam. Sementara itu, rata-rata error pada parameter pH tercatat sebesar 3,05% (1 jam), 6,62% (2 jam), dan 4,23% (3 jam). Adapun untuk parameter salinitas, persentase error rata-rata adalah 2,68% pada pengamatan 1 jam, 4,27% pada 2 jam, serta 1,95% pada 3 jam[6].

Selanjutnya penelitian oleh Saeful Anwar¹, Abdurrohman² yang berjudul "Pemanfaatan Teknologi *Internet Off Things* Untuk Monitoring Tambak Udang Vaname Berbasis Smartphone Android Menggunakan Wemos D1 Mini. Penelitian ini menggunakan beberapa sensor diantaranya sensor pH, sensor suhu dan sensor ultrasonik *HC-SR04* untuk mengukur ketinggian air. Dari hasil pengujian sistem yang sudah di implementasikan didapatkan setiap sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup baik yaitu sensor ultasonik 1%, sensor ds18b20 0,534%, dan Sensor pH 0,08% sehingga sistem memiliki prospek yang besar dan dapat digunakan untuk budidaya udang vaname[7].

Kemudian penelitian oleh Hidayanti, Fitria, Mutma Innah, and Fitri Rahmah yang berjudul “Implementasi Panel Surya Sebagai Sumber Energi pada Sistem Kendali

pH dan Level Larutan Nutrisi Tanaman Hidroponik. Penelitian ini memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi listrik untuk mengoperasikan pompa serta sistem kendali pH dan level larutan nutrisi. Panel surya diuji dengan variasi sudut kemiringan, sedangkan sistem kendali pH dan level larutan nutrisi dievaluasi berdasarkan respon waktu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata energi listrik yang dihasilkan panel surya per hari sebesar 244,4 watt, sedangkan kebutuhan daya untuk pompa hidroponik dan sistem kendali mencapai 123,9 watt. Dengan demikian, panel surya yang digunakan mampu mendukung pengoperasian sistem pengendalian pH dan level larutan nutrisi hingga masa panen[8].

Penelitian ini memiliki sejumlah perbedaan mendasar dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu. Pertama, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini mengintegrasikan lima sensor kualitas air sekaligus, yaitu sensor suhu *DS18B20*, sensor pH, sensor *Total Dissolved Solids* (TDS), sensor ketinggian air *JSN-SR04T*, dan sensor oksigen terlarut (DO), yang belum banyak dijumpai dalam penelitian sebelumnya secara terintegrasi. Kedua, penelitian ini tidak hanya melakukan pemantauan kualitas air, tetapi juga menerapkan aksi otomatis berupa pengendalian suhu dan oksigen terlarut secara real-time untuk menjaga kondisi air tetap optimal. Ketiga, sistem ini didukung oleh sumber energi terbarukan berupa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid, yang memungkinkan operasional secara mandiri di daerah tanpa akses listrik konvensional. Kombinasi ketiga aspek ini menjadikan penelitian ini lebih komprehensif dan aplikatif dibandingkan studi-studi terdahulu.

2.2. Udang Vaname

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan salah satu spesies udang yang paling banyak dibudidayakan secara global, terutama di wilayah tropis dan subtropis. Udang ini berasal dari perairan Pasifik di kawasan Amerika Tengah dan Selatan, namun kini telah menyebar luas di berbagai negara, termasuk Indonesia, karena keunggulan dalam hal adaptasi lingkungan dan toleransi terhadap kepadatan budidaya yang tinggi[9]. Udang vaname ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Udang Vaname

Udang vaname dikenal memiliki laju pertumbuhan yang cepat, dengan siklus panen antara 3 hingga 4 bulan, serta tingkat resistensi yang lebih baik terhadap berbagai penyakit. Hal ini menjadikannya memiliki prospek dan profit yang lebih menjanjikan dibandingkan dengan spesies udang lainnya[10]. Budidaya udang vaname dapat dilakukan dalam berbagai sistem, mulai dari sistem intensif yang menggunakan aerasi dan manajemen kualitas air yang ketat, hingga sistem tradisional yang mengombinasikan sumber daya alami tambak dengan pakan tambahan[11]. Untuk memperoleh komoditas udang vaname yang berkualitas, proses pemeliharaan perlu memperhatikan faktor internal seperti asal-usul dan mutu benih, serta faktor eksternal yang mencakup kualitas air budidaya, manajemen pakan, penerapan teknologi, dan pengendalian hama maupun penyakit.

2.3. Kualitas Air Tambak Udang Vaname

Kualitas air memiliki peran yang sangat signifikan dalam kehidupan organisme akuatik, karena dapat memengaruhi proses reproduksi, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup. Lingkungan perairan harus mencapai kondisi optimal untuk mendukung proses fisiologi udang *vaname*[12]. Dalam operasional tambak udang, kondisi optimal kualitas air harus diperhatikan secara cermat untuk mendukung kesehatan dan produktivitas. Standar dari nilai parameter optimal kualitas air tambak ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Parameter kualitas air pemeliharaan udang vaname[13]

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Oksigen Terlarut (DO)	mg/l	>3
2	pH	-	7,5-8,5
3	Suhu	°C	23-32
4	Salinitas	g/l	<35
5	Ketinggian Air	cm	>100
6	Kecerahan Air	cm	30 sampai 80
7	Amonia	mg/l	maksimal 0,1
8	Nitrit	mg/l	maksimal 1
9	Alkalinitas	mg/l	100 sampai 200

Kualitas air dalam tambak udang sangat terkait dengan beberapa parameter kunci, yang meliputi nilai pH, suhu, salinitas, oksigen terlarut, dan ketinggian air. Nilai pH akan mengukur tingkat keasaman atau kebasaan dalam air, nilai suhu air akan mengukur sejauh mana panas atau dinginnya air, nilai salinitas mengukur konsentrasi garam dalam air, nilai oksigen terlarut mengukur jumlah oksigen yang larut dalam air. Setiap parameter ini memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan udang dalam tambak. Pengukuran secara teratur terhadap parameter-parameter ini memungkinkan petani tambak untuk melakukan tindakan korektif yang diperlukan guna menjaga kondisi air yang optimal[13].

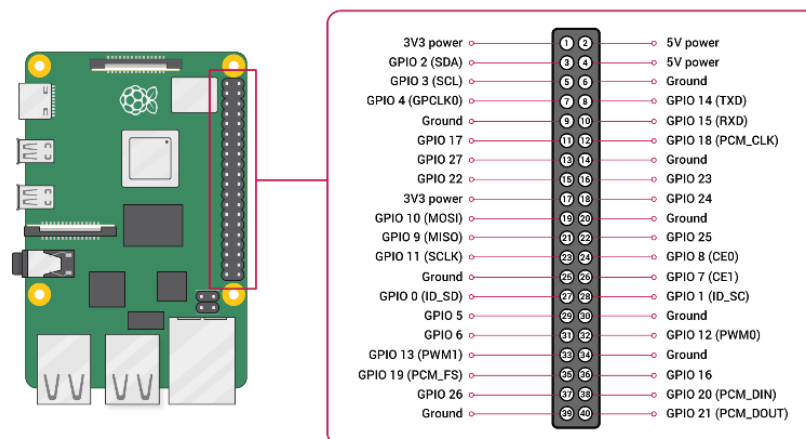
2.4. Perangkat Keras Sistem Monitoring Kualitas Air

Setiap perangkat keras memiliki fungsi dan peran masing-masing dalam mendukung akuisisi data, pemrosesan, hingga penyajian informasi yang dibutuhkan petambak. Pada subbab ini menjelaskan secara rinci berbagai komponen perangkat keras yang digunakan dalam sistem monitoring kualitas air, meliputi Raspberry Pi 4 Model B sebagai pusat kendali, Arduino Nano sebagai mikrokontroler untuk membaca data sensor, serta beberapa jenis sensor yang digunakan untuk mengukur parameter kualitas air, seperti Sensor *Dissolved Oxygen* (DO), Sensor pH Meter, Sensor temperatur untuk mengukur suhu, Sensor TDS, Sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air, dan LCD 2004 sebagai media tampilan data. Setiap komponen tersebut saling terintegrasi sehingga

mampu mendukung proses monitoring kualitas air secara real-time. Dengan adanya integrasi ini, sistem dapat memberikan informasi yang akurat dan membantu petambak dalam mengambil keputusan yang tepat terkait manajemen lingkungan budidaya.

2.4.1. Raspberry Pi 4 Model B

Raspberry Pi 4 Model B (Pi4B) adalah salah satu keluaran terbaru dari Raspberry Pi generasi keempat. Pi 4B adalah komputer yang digunakan untuk berkinerja tinggi[14], dengan fitur *Central Processing Unit ARM Cortex-A72 64-bit quad-core*. Selain itu, Pi4B memiliki *RAM* yang jauh lebih banyak dan kinerja *CPU*, *Graphics Processing Unit* dan *General Purpose Input/Output* yang ditingkatkan secara signifikan, semuanya dibentuk dalam bentuk serupa seperti *Raspberry Pi 3B+* generasi sebelumnya. Dengan segala kelebihan yang sudah disebutkan sebelumnya, tentunya membuat Pi4B sebagai SCB (*Single Board Computers*) yang cocok untuk proyek *Internet of Things*.



Gambar 2. 2 Raspberry Pi 4 Model B[15]

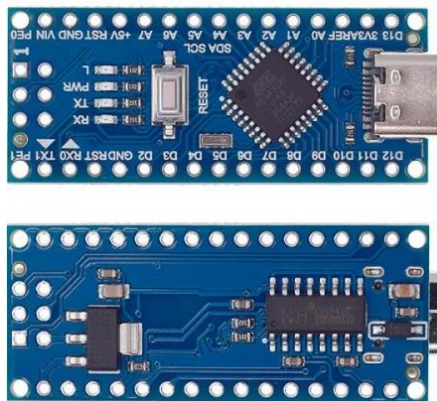
Salah satu keunggulan utama Raspberry Pi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2, adalah keberadaan deretan pin GPIO pada papan. Raspberry Pi 4 Model B dilengkapi dengan 40 pin GPIO, di mana setiap pin dapat difungsikan sebagai input maupun output sesuai kebutuhan. Rincian spesifikasi Raspberry Pi 4 Model B disajikan lebih lanjut pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Raspberry Pi 4 Model B

Parameter	Spesifikasi
<i>Processor</i>	<i>Boardcom</i> BCM2711, <i>quad-core</i> Cortex-A72 (ARM v8) SoC 64-bit @ 1.5GHz
Konektivitas	LAN Nirkabel 2.4 GHz dan 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac, <i>Bluetooth</i> 5.0 BLE, <i>Gigabit Ethernet</i> 2 port USB 3.0 dan 2 port USB 2.flo0
GPIO	<i>Header</i> GPIO 40-pin standar
Video dan Suara	2 port HDMI mikro (hingga 4Kp60), <i>VideoCore</i> VI 3d Graphics
SD Card	Slot kartu <i>Micro</i> SC untuk memuat sistem operasi dan penyimpanan data
Daya input	5V DC melalui konektor USB-C (min. 3A) 5V DC melalui header GPIO (min. 3A) Power over Ethernet (PoE)
<i>Operating Temperature</i>	0-50°C

2.4.2. Arduino Nano

Arduino Nano v3 Type C seperti pada Gambar 2.3 adalah versi modifikasi dari Arduino Nano klasik yang menggunakan port *USB Type-C* sebagai pengganti *port USB Mini-B*. Board ini tetap mempertahankan fungsionalitas utama Arduino Nano, tetapi dengan peningkatan konektivitas yang lebih modern.



Gambar 2. 3 Arduino Nano V3 Type C

Berikut tabel spesifikasi yang dimiliki Arduino Nano dapat dilihat pada tabel 2.3;

Tabel 2. 3 Spesifikasi Arduino Nano V3 Type C

<i>Mikrokontroller</i>	Atmega 328P
Tegangan Operasional	5v
Pin Digital	14 (6 PWM)
Pin Analog	8
Clock	16 MHZ
Antarmuka Komunikasi	UART, I2C dan SPI
Memori	32KB

2.4.3. *Sensor Dissolved Oxygen (DO)*

Sensor *Dissolved Oxygen (DO)* seperti pada Gambar 2.4 adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi oksigen terlarut dalam air. Sensor DO sering digunakan dalam aplikasi pemantauan kualitas air karena memberikan pembacaan yang akurat dan stabil tanpa membutuhkan kalibrasi yang sering[16].

Gambar 2. 4 Sensor *Dissolved Oxygen*

Sensor DO bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia. Sensor ini terdiri dari dua elektroda, yaitu elektroda kerja dan elektroda referensi, yang terendam dalam larutan sampel. Ketika larutan mengandung oksigen terlarut, oksigen tersebut akan berinteraksi dengan elektroda kerja, menghasilkan reaksi reduksi yang memproduksi aliran arus listrik. Besarnya arus ini sebanding dengan jumlah oksigen terlarut dalam sampel, sehingga memungkinkan pengukuran konsentrasi oksigen. Spesifikasi sensor *DO* yang saya gunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor *Dissolved Oxygen (DO)*

<i>Dissolved Oxygen Probe Type</i>	
<i>Galvanic Probe Detection Range</i>	0~20mg/L
<i>Electrode Service Life</i>	1 year (normal use)
<i>Maintenance Period</i>	<i>Membrane Cap Replacement Period:</i> <i>1~2 months (in muddy water)</i> <i>4~5 months (in clean water).</i> <i>Filling Solution Replacement Period:</i> <i>Once every month</i>
<i>Signal Converter Board</i>	
<i>Operating Voltage</i>	3.3~5.5V
<i>Output Signal</i>	0~3.0V
<i>Dimension</i>	42mm * 32mm

2.4.4. Sensor PH Meter

Sensor pH meter seperti pada Gambar 2.5 adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Prinsip kerjanya berdasarkan elektrokimia, di mana elektroda pH mengukur potensial listrik yang dihasilkan oleh ion hydrogen (H^+) dalam larutan. Sensor ini terdiri dari dua bagian utama: elektroda kaca yang sensitif terhadap ion hidrogen (H^+) dan elektroda referensi yang memberikan potensial stabil sebagai pembanding[16].



Gambar 2. 5 Sensor pH

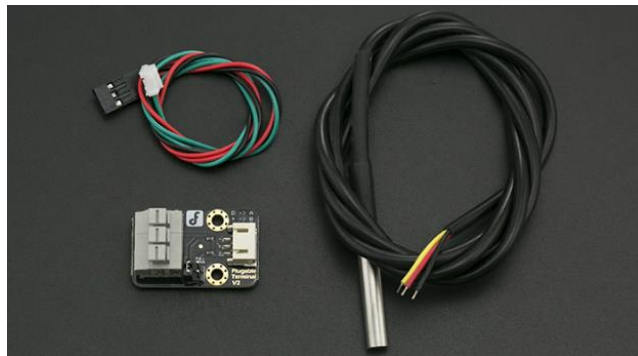
Spesifikasi sensor *pH* yang saya gunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Spesifikasi Sensor pH

<i>Module Power</i>	5V
<i>Module Size</i>	43mm x 32mm
<i>Measuring Range</i>	0 – 14 PH
<i>Accuracy</i>	$\pm 0.1pH$ (25 °C)
<i>Response Time</i>	$\leq 1min$

2.4.5. Sensor Temperatur

Sensor DS18B20 seperti pada Gambar 2.6 ini berfungsi untuk mengukur suhu air. Ada beberapa jenis sensor *temperatur* air yang digunakan, masing-masing dengan prinsip kerja dan teori yang berbeda. Salah satu jenis yang umum adalah termistor, yang merupakan resistor dengan nilai resistansi yang sangat tergantung pada suhu. *Termistor* dapat dibagi menjadi *NTC* (*Negative Temperature Coefficient*), yang resistansinya menurun saat suhu meningkat, dan *PTC* (*Positive Temperature Coefficient*), yang resistansinya meningkat saat suhu naik. Selain itu, ada juga *RTD* (*Resistance Temperature Detector*) yang menggunakan logam seperti platinum, yang resistansinya berubah secara linier dengan perubahan suhu. *RTD* tipe *PT100*, misalnya, memiliki resistansi 100ohm pada 0°C dan resistansinya akan meningkat seiring kenaikan suhu[16].



Gambar 2. 6 Sensor Temperatur Air

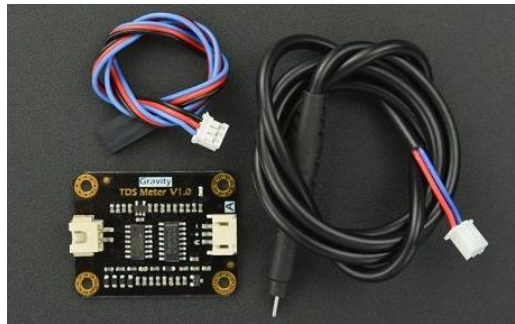
Spesifikasi sensor suhu yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Spesifikasi Sensor Temperatur Air

<i>Power</i>	<i>3V – 5,5V</i>
<i>Accuracy</i>	<i>±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C</i>
<i>Usable temperature range</i>	<i>-55 to 125°C (-67°F to +257°F)</i>
<i>Resolution</i>	<i>9 to 12 bit</i>
<i>Cable diameter</i>	<i>4mm</i>
<i>Length</i>	<i>90cm</i>

2.4.6. Sensor *Total Dissolved Solids (TDS)*

Sensor *TDS (Total Dissolved Solids)* seperti pada Gambar 2.7 adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur jumlah total zat padat terlarut dalam suatu cairan, biasanya air. Zat padat terlarut ini dapat mencakup berbagai ion, garam, mineral, dan zat organik yang larut dalam air.



Gambar 2. 7 sensor TDS

Sensor *TDS* bekerja dengan mengukur konduktivitas listrik air, karena semakin banyak zat padat terlarut dalam air, semakin tinggi konduktivitasnya. TDS merupakan kadar atau zat berkonsentrasi objek solid yang larut dalam air. Sehingga semakin tinggi nilai konsentrasi TDS yang terionisasi dalam air, maka semakin besar konduktivitas listrik larutannya [17]. Spesifikasi sensor TDS yang saya gunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Spesifikasi Sensor TDS

<i>Signal Transmitter</i>	
<i>Board Input Voltage</i>	3.3 ~ 5.5V
<i>Output Voltage</i>	0 ~ 2.3V
<i>Working Current</i>	3 ~ 6mA
<i>TDS Measurement Accuracy</i>	± 10% F.S. (25 °C)
<i>Module Size</i>	42 * 32mm
<i>Module Interface</i>	PH2.0-3P
<i>Electrode Interface</i>	XH2.54-2P
<i>TDS Probe</i>	
<i>Number of Needle</i>	2
<i>Total Length</i>	83 CM
<i>Connection Interface</i>	XH2.54-2P
<i>Colour</i>	Black
<i>Outher</i>	Waterproof Probe

2.4.7. Sensor Level Air

Sensor *JSN-SR04T* seperti pada Gambar 2.8 merupakan sensor ultrasonik tahan air yang digunakan untuk mengukur jarak. Sensor ini mirip dengan sensor ultrasonik *HC-SR04*, tetapi lebih cocok untuk lingkungan luar ruangan atau area dengan kelembaban tinggi, seperti sistem pengukur ketinggian air.



Gambar 2. 8 Sensor Level Air

Sensor ultrasonik bekerja berdasarkan prinsip pemantulan gelombang ultrasonik untuk mengukur jarak suatu objek. Ketika sensor diaktifkan, modul akan mengirimkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 40 kHz melalui transduser[18]. Jika gelombang tersebut mengenai suatu objek, ia akan dipantulkan kembali ke sensor dan diterima oleh modul. Waktu tempuh gelombang dari sensor ke objek dan kembali lagi diukur, lalu dihitung menggunakan rumus $\text{Jarak} = (\text{Waktu} \times \text{Kecepatan Suara}) : 2$, dengan kecepatan suara dalam udara sekitar 343 m/s. Spesifikasi sensor untuk mengukur ketinggian air yang saya gunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Spesifikasi Sensor Ultrasonik

Tegangan Operasional	5V
Arus Kerja	~ 30mA
Jarak Pengukuran	25 cm – 600 cm
Akurasi	±1 mm
Frekuensi Ultrasonik	40 kHz
Sudut Deteksi	~ 45°
Koneksi	4 pin (<i>VCC, Trig, Echo, GND</i>)

2.4.8. LCD 2004

LCD 2004 seperti pada Gambar 2.9 adalah layar *Liquid Crystal Display* (LCD) dengan 20 kolom dan 4 baris yang digunakan untuk menampilkan karakter teks. LCD ini sering digunakan dalam proyek elektronik berbasis mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, atau Raspberry Pi untuk menampilkan data sensor, menu navigasi, atau status sistem.



Gambar 2. 9 Gambar LCD 2004

LCD ini bekerja dengan kristal cair (*liquid crystal*) yang mengubah transparansi sesuai sinyal listrik. Jika menggunakan I2C, modul tambahan PCF8574 akan mengubah komunikasi dari paralel menjadi serial, sehingga hanya memerlukan 2 pin komunikasi, SDA & SCL[19].

2.5. Perangkat Lunak Sistem Monitoring Kualitas Air

Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini untuk menyusun alat pemantau kualitas air ini adalah sebagai berikut:

2.5.1. Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk menulis, mengedit, sekaligus mengunggah program ke papan mikrokontroler Arduino. Lingkungan ini mendukung bahasa pemrograman berbasis C/C++ serta dilengkapi dengan berbagai pustaka (*library*) yang memudahkan integrasi dengan sensor, modul, maupun komponen lainnya. Dengan demikian, Arduino IDE sangat membantu dalam proses pembuatan, pengembangan, dan pengunggahan program ke board Arduino yang digunakan. Kode program yang ditulis menggunakan Arduino disebut *sketches* dan penelitian ini menggunakan Arduino IDE versi 2.3.4[20].

2.5.2. *Node-Red*

Node-RED adalah platform pemrograman visual berbasis flow (aliran blok) yang digunakan untuk membuat, menghubungkan, dan mengotomatisasi sistem berbasis *Internet of Things (IoT)*, integrasi API, serta automasi proses industri. *Node-RED* pertama kali dikembangkan oleh Nick O’Leary dan Dave Conway-Jones, pegawai IBM, sebagai proyek sampingan sebelum akhirnya berkembang menjadi seperti sekarang. Platform ini berjalan di atas runtime Node.js dan memanfaatkan bahasa pemrograman JavaScript. Sejak dipublikasikan sebagai perangkat lunak open source pada September 2013, *Node-RED* terus mengalami pengembangan hingga saat ini. *Node-RED* mempermudah pembuatan aplikasi dengan cara menyusun blok (nodes) yang saling terhubung tanpa perlu banyak menulis kode. *Node-RED* dipilih karena bersifat *open-source*, ringan, dan memiliki antarmuka grafis yang memudahkan integrasi antar perangkat IoT tanpa memerlukan pemrograman kompleks.

2.6. PLTS Off Grid

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) off-grid adalah sistem mandiri yang mengubah energi matahari menjadi listrik menggunakan panel surya, baterai, dan kontroler pengisian[21]. Sistem monitoring membutuhkan pasokan listrik yang stabil untuk mengoperasikan perangkat seperti sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi. Integrasi PLTS dengan sistem monitoring memungkinkan perangkat beroperasi di lokasi terpencil atau tanpa akses listrik konvensional.

2.6.1. Modul PV

Modul *Photovoltaic* (PV) seperti pada Gambar 2.10 adalah perangkat yang terdiri dari kumpulan sel surya yang terhubung dalam satu rangkaian untuk mengubah energi matahari menjadi listrik. Setiap sel surya dalam modul PV bekerja berdasarkan efek fotovoltaiik, di mana cahaya matahari yang mengenai permukaan sel akan diserap oleh material semikonduktor (seperti silikon)[21]. Energi dari foton dalam cahaya matahari kemudian membangkitkan elektron bebas, menciptakan arus listrik searah (DC). Modul PV biasanya dilapisi kaca pelindung dan dibingkai untuk meningkatkan daya tahan terhadap cuaca. Beberapa modul

PV dapat dirangkai menjadi panel surya untuk menghasilkan daya lebih besar sesuai kebutuhan.



Gambar 2. 10 PV-Module

Prinsip kerja modul PV ini memungkinkan energi matahari dikonversi menjadi sumber listrik yang ramah lingkungan, berkelanjutan, dan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Pada penelitian ini, modul surya yang digunakan adalah modul surya dengan jenis *polycrystalline* dengan kapasitas 50wp. Spesifikasi modul surya yang saya gunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Spesifikasi PV-Modul

Module Type	SP-50-P36
Pmax	50
Open Circuit Voltage (VOC)	22,3V
Short Circuit Current (ISC)	2,91A
Current at Pmax (Imp)	2,75A
Voltage at Pmax (Vmp)	18,2V
Max Series Fuse	10A

2.6.2. *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*

Maximum power point tracking (MPPT) seperti pada Gambar 2.11 adalah teknologi pengatur daya yang digunakan pada *solar charge controller* untuk menemukan dan mempertahankan titik daya maksimum dari panel surya,

sehingga daya yang diambil dari panel selalu optimal meskipun kondisi cahaya atau suhu berubah.



Gambar 2. 11 MPPT

Output yang dihasilkan oleh panel surya akan bervariasi dikarenakan intensitas cahaya matahari yang tidak dapat diatur, oleh sebab itu dibutuhkan komponen pendukung untuk mengatur output dari panel surya. Prinsip kerja MPPT adalah memanfaatkan konverter tipe buck, di mana tegangan keluaran dapat disesuaikan sehingga daya yang dihasilkan panel tetap optimal meskipun intensitas cahaya matahari berubah-ubah [22].

2.6.3. Baterai *LiFePO4*

Baterai *Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄)* seperti pada Gambar 2.12 adalah jenis baterai *lithium-ion* yang menggunakan *lithium iron phosphate* sebagai material katoda dan grafit sebagai anoda. Baterai *LiFePO₄* memiliki keunggulan utama dalam hal keamanan, umur pakai yang panjang, dan stabilitas termal. Dari segi keamanan, struktur kimianya yang stabil membuatnya tidak mudah terbakar atau meledak meskipun terjadi *overcharge* atau *korsleting*.



Gambar 2. 12 Baterai LivePo4

Baterai *LiFePO₄* juga memiliki umur pakai yang jauh lebih lama dibandingkan jenis baterai lithium lainnya, dengan siklus pengisian yang dapat mencapai ribuan

kali tanpa penurunan kapasitas yang signifikan. Keunggulan lainnya adalah kestabilan termal yang baik, di mana baterai LiFePO₄ mampu bekerja secara aman pada suhu tinggi tanpa risiko pelarian termal. Karena alasan inilah, baterai LiFePO₄ banyak digunakan dalam sistem penyimpanan energi yang membutuhkan keandalan dan keamanan tinggi, sehingga banyak digunakan untuk sistem energi terbarukan, kendaraan listrik, dan penyimpanan daya dalam berbagai aplikasi[23].

2.7. Perancangan PLTS Off-Grid

Perancang suatu pembangkit listrik tenaga surya off-grid ada beberapa langkah yang digunakan yaitu sebagai berikut;

2.7.1. Menghitung Total Beban Daya Sistem

Langkah pertama dalam merancang PLTS off-grid adalah menghitung total beban daya yang dibutuhkan oleh sistem monitoring. Caranya dengan mengidentifikasi komponen yang membutuhkan daya dan menghitung konsumsi daya masing masing komponen. Mengetahui konsumsi daya yang dibutuhkan setiap komponen ada dua cara yaitu mengukur secara langsung beban pada saat beban berjalan atau melihat data spesifikasi beban. Kemudian menjumlahkan total konsumsi daya keseluruhan.

2.7.2. Menghitung Kebutuhan Harian

Setelah mengetahui total beban daya, Langkah selanjutnya adalah menghitung kebutuhan energi harian sistem dengan langkah-langkah berikut; yang pertama menentukan waktu operasi sistem, dalam penelitian ini sistem dioperasikan 24 jam sehari. Kemudian menghitung energi harian menggunakan rumus;

$$W_h = W \times t \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

W_h : Energi Harian

W : Total Beban Daya

T : Waktu Operasi (Jam)

2.7.3. Menghitung Kapasitas Baterai

Baterai digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya. Berikut adalah langkah-langkah menghitung kapasitas baterai: Menentukan jumlah waktu otonomi yaitu jumlah hari sistem harus beroperasi tanpa sinar matahari. Dalam penelitian ini, peneliti memilih 2 hari sistem dapat bekerja tanpa sinar matahari. Kemudian menentukan kapasitas baterai yang digunakan harus mempertimbangkan *Depth of Discharge* (DOD) dari sebuah baterai. Baterai *LifePo4* direkomendasikan dod sebesar 80%[23];

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{W_h}{V \times DOD} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana,

DOD = *Depth of Discharge*

W_h = Pemakaian Energi

V = Tegangan Baterai

2.7.4. Menghitung Kebutuhan Panel Surya

Dalam perancangan sistem PLTS wajib dilakukannya perhitungan untuk mencari jumlah panel surya yang akan digunakan sesuai dengan daya yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini kapasitas panel surya sudah ditentukan yaitu 50 wp. Cara menghitung banyaknya jumlah panel surya yang digunakan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Jumlah panel Surya} = \frac{W_h \div \eta_{Scc}}{P_{MPP} \times PSH} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana,

W_h = Pemakaian Energi (Wh).

P_{MPP} = Kapasitas Panel Surya (Wp).

PSH = *Peak Sun Hour* (Jam)

η_{Scc} = Efisiensi *Solar Charge Controller*

2.7.5. Menghitung Kapasitas *Solar Charge Controller* (SCC)

Perhitungan kapasitas *SCC* dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{SCC} = ISC_{Total} \times 1,25 \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana,

I_{SCC} = Arus *SCC* (*Ampere*)

ISC = Arus maksimal Panel Surya

1,25 = Faktor Keamanan

2.8. Kalibrasi Sensor

Kualitas hasil pengukuran dapat dievaluasi melalui tingkat presisi dan akurasi yang diperoleh. Akurasi menggambarkan kedekatan antara nilai hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya. Untuk menentukan tingkat akurasi, terlebih dahulu harus diketahui nilai sebenarnya dari parameter yang diukur sehingga dapat dihitung besarnya penyimpangan atau ketepatannya. *Error* dan akurasi dapat dituliskan secara matematis dapat dituliskan pada persamaan berikut;

$$Error (\%) = \left| \frac{(Nilai Terukur - Nilai Sebenarnya)}{Nilai Sebenarnya} \right| \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

$$Akurasi = (100\% - Error(\%)) \dots \dots \dots (2.6)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini sudah dilaksanakan pada bulan Maret 2024 sampai dengan bulan Desember 2024. Penelitian ini dilaksanakan di tambak udang Dipasena Citra Darmaja tepatnya di Bumi Dipasena Jaya Kecamatan Rawajitu Timur Kabupaten Tulang Bawang dan di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian

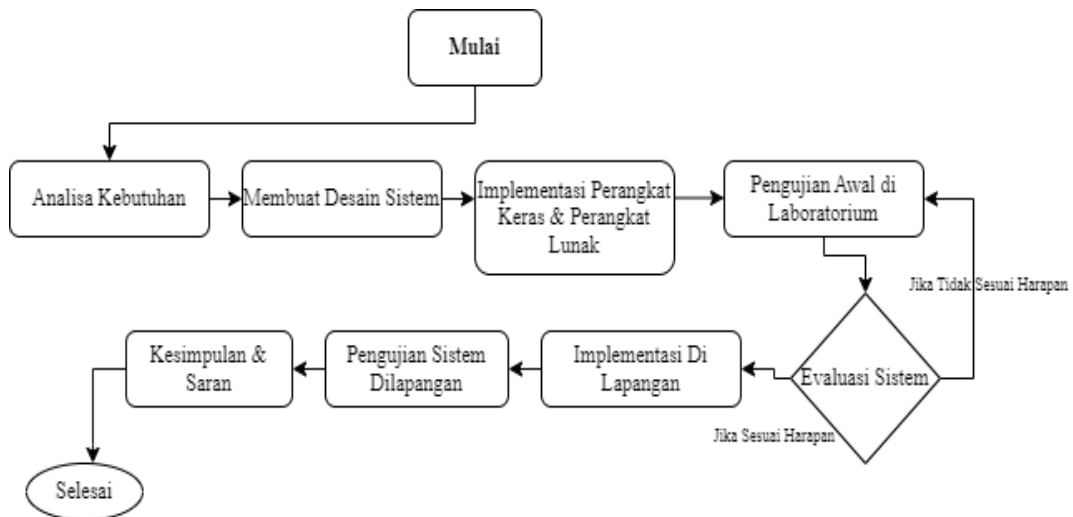
No	Nama Alat dan Bahan	Jumlah (Unit)
1	Arduino Nano V3	2
2	Sensor <i>Dissolved Oxygen</i>	1
3	Sensor pH	1
4	Sensor DS18B20	2
5	Sensor JSN-SR04T <i>Ultrasonic Distance</i>	1
6	Sensor TDS	1
7	LCD	1
8	Relay	2
9	Modul Pv	2
10	SCC MPPT	1
11	Baterai	1
12	<i>Buck Boost Converter</i>	8

Berdasarkan tabel 3.1 alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Arduino Nano akan mencatat semua data yang dikirimkan oleh setiap sensor, data tersebut akan menjadi acuan dari setiap keputusan yang akan dibuat. Data tersebut kemudian didistribusikan ke *minicomputer* melalui komunikasi serial.
2. Sensor *Dissolved Oxygen* digunakan untuk memonitoring nilai oksigen terlarut.
3. Sensor pH digunakan untuk memonitoring nilai pH pada air tambak udang.
4. Sensor suhu air digunakan untuk memonitoring suhu air.
5. JSN-SR04T digunakan untuk memonitoring ketinggian air tambak.
6. Sensor *Total Dissolved Solid* digunakan untuk memonitoring padatan terlarut dalam air tambak udang.
7. Berfungsi sebagai tampilan visual untuk menampilkan informasi, data, atau pesan yang dihasilkan oleh program yang dijalankan pada Arduino.
8. Relay digunakan untuk mengendalikan sistem aerasi tambak udang.
9. Modul PV digunakan sebagai sumber daya utama dengan mengkonversi radiasi matahari.
10. SCC MPPT digunakan mengatur pengisian daya dari panel surya ke baterai atau sistem penyimpanan energi.
11. Baterai digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari untuk digunakan pada malam hari atau saat cuaca mendung ketika panel surya tidak menghasilkan energi.
12. Sebagai komponen untuk *Step-down*, Tegangan DC yang diterima dari *Power Supply*.

3.3. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan terstruktur untuk meningkatkan efektivitas pembuatan perangkat serta efisiensi penggunaan sumber daya dan waktu. Diagram alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian ini merupakan gambaran alur sistematis dari tahapan penelitian yang dilakukan dalam implementasi sistem monitoring kualitas air tambak udang vaname dengan menggunakan PLTS off-grid sebagai sumber energi. Penelitian diawali dengan tahapan analisa kebutuhan, yaitu proses identifikasi seluruh kebutuhan sistem, baik perangkat keras, perangkat lunak, maupun kebutuhan energi. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data terkait spesifikasi sensor, mikrokontroler, dan kebutuhan energi keseluruhan sistem.

Setelah analisis kebutuhan dilakukan, tahap selanjutnya adalah membuat desain sistem, di mana rancangan menyeluruh mulai dari diagram blok sistem, wiring diagram, hingga perhitungan kapasitas PLTS Off-grid. Rancangan ini menjadi dasar dalam pelaksanaan implementasi sistem. Tahap berikutnya adalah implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, yaitu proses perakitan seluruh komponen, pemasangan sensor-sensor, penyusunan rangkaian kelistrikan PLTS, serta pengembangan perangkat lunak baik di Arduino maupun Raspberry Pi menggunakan Node-RED untuk pengolahan dan penyimpanan data.

Setelah implementasi selesai, dilakukan pengujian awal di laboratorium untuk memastikan semua perangkat berfungsi sesuai dengan rancangan. Hasil dari pengujian awal kemudian dievaluasi dalam tahap evaluasi sistem. Apabila hasil pengujian belum sesuai harapan, maka dilakukan revisi atau penyempurnaan kembali terhadap desain atau implementasi. Namun, jika hasil pengujian telah sesuai, penelitian dilanjutkan ke tahap berikutnya.

Tahap selanjutnya adalah implementasi di lapangan, yaitu pemasangan sistem monitoring beserta PLTS secara nyata di lokasi tambak udang vaname. Setelah sistem terpasang, dilakukan pengujian sistem di lapangan untuk memastikan kinerja perangkat keras, perangkat lunak, dan ketersediaan energi dari PLTS dapat berjalan optimal sesuai kebutuhan operasional tambak.

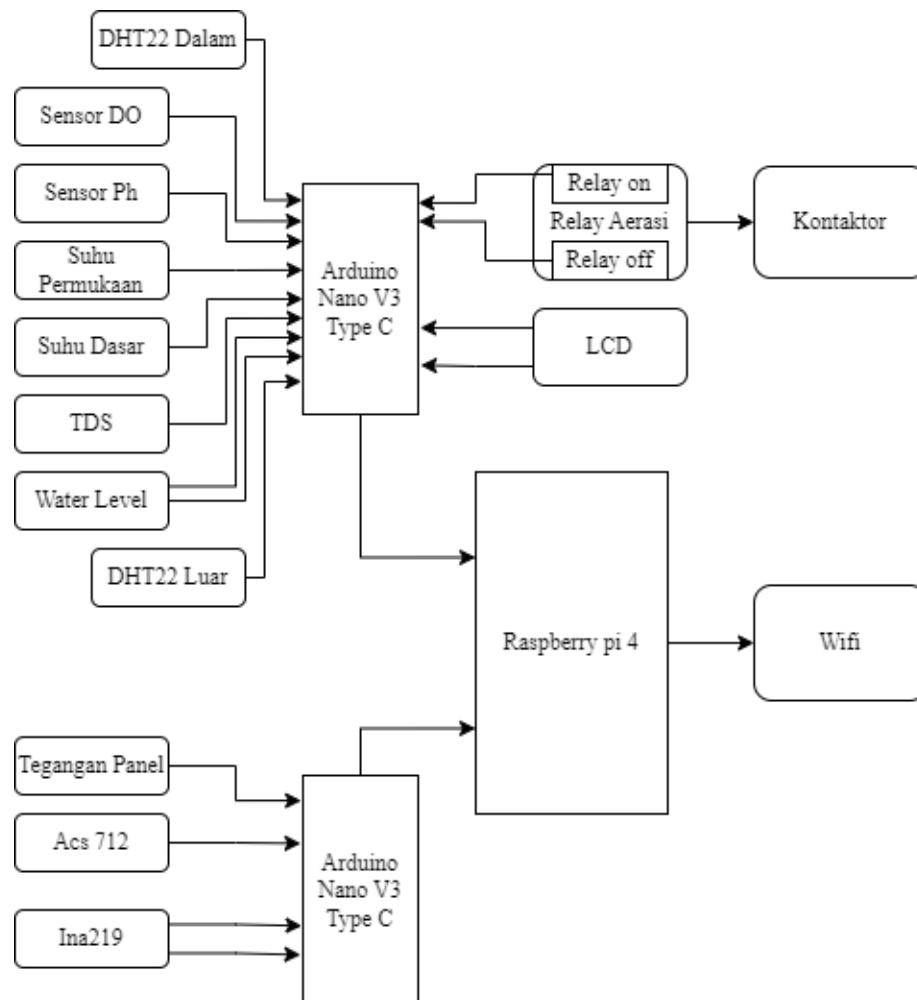
Akhir dari penelitian ditutup dengan penyusunan kesimpulan dan saran sebagai hasil evaluasi terhadap kinerja sistem, sekaligus memberikan rekomendasi pengembangan untuk penelitian selanjutnya. Dengan demikian, diagram alir penelitian ini menjadi panduan dalam pelaksanaan penelitian secara sistematis dan terstruktur untuk mencapai hasil yang optimal. Dengan mengikuti diagram alir ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan sistem monitoring kualitas air tambak udang vaname yang efektif, efisien, dan berkelanjutan.

3.4. Desain Sistem

Desain sistem merupakan tahapan penting dalam proses perancangan agar sistem yang dibangun dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan dan tujuan penelitian. Pada penelitian ini, desain sistem difokuskan pada dua bagian utama, yaitu desain sistem monitoring kualitas air tambak udang dan desain PLTS off-grid sebagai sumber energinya. Desain sistem ini disusun berdasarkan hasil analisis kebutuhan yang telah dilakukan sebelumnya, mencakup kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, serta kebutuhan energi yang diperlukan.

3.4.1. Diagram Blok Sistem Monitoring Kualitas Air

Pada penelitian ini, peneliti merancang sistem monitoring kualitas air setelah melakukan survei dan penelitian-penelitian terdahulu. Diagram blok perancangan sistem monitoring kualitas air pada dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem Monitoring Kualitas Air

Pada desain sistem monitoring kualitas air, dirancang sebuah perangkat yang terdiri dari beberapa sensor utama, yaitu sensor *Dissolved Oxygen (DO)*, sensor pH, sensor suhu, sensor TDS, dan sensor ketinggian air. Data dari sensor-sensor tersebut dibaca oleh mikrokontroler Arduino Nano dan kemudian dikirimkan ke Raspberry Pi untuk diproses lebih lanjut. Raspberry Pi bertugas menyimpan data secara otomatis dalam file CSV melalui platform Node-RED, serta menampilkan hasil pemantauan secara real-time pada LCD 20x4 yang terhubung dengan sistem.

3.4.2. Perhitungan Perancangan PLTS Off-grid

Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* pada penelitian ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan energi sistem monitoring kualitas air secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik PLN. Perancangan PLTS ini dilakukan secara sistematis agar dapat menghasilkan suplai energi yang stabil dan efisien sesuai dengan kebutuhan beban.

3.4.2.1. Total Beban Daya Dan Energi Harian

Data total beban pada penelitian ini diperoleh berdasarkan informasi pada datasheet masing-masing komponen. Tabel 3.2 menyajikan rincian konsumsi daya setiap komponen sesuai dengan spesifikasi yang tercantum.

Tabel 3. 2 Konsumsi beban harian

No	Nama Komponen	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)	Waktu (Menyala)	Energi (Wh)
1	Raspberry Pi 4	1	5	5	24	120
2	Arduino Nano x2	0,006	5	0,03	24	0,72
3	Sensor Do	0,03	5	0,15	24	3,6
4	Sensor pH	0,03	5	0,15	24	3,6
5	Sensor Suhu x2	0,006	5	0,03	24	0,72
6	Sensor Level Air	0,03	5	0,15	24	3,6
7	Sensor TDS	0,006	5	0,03	24	0,72
8	DHT-22 x2	0,006	5	0,03	24	0,72
9	Sensor Tegangan x2	0,006	5	0,03	24	0,72
10	Sensor Arus x2	0,006	5	0,03	24	0,72
11	Sensor Ina-219	0,015	5	0,075	24	1,8
12	Relay x2	0,14	5	0,7	24	16,8
13	Kipas Pendingin x2	0,28	9	2,52	24	60,48
14	LCD	0,06	5	0,3	24	7,2
	Total			9,225	24	221,4

Dari tabel 3.2 dapat diketahui bahwa total energi harian yang diperlukan adalah sebesar 221,4 Wh, ini menggunakan persamaan (2.1);

$$W_h = 9,225W \times 24 \text{ jam} = 221,4Wh$$

3.4.2.2. Kapasitas Baterai

Dengan menggunakan 2 hari otonomi atau 48 jam dan memperhatikan *DoD* sebesar 80%, dapat dihitung dengan persamaan (2.2);

$$Ah = \frac{221,4 \times 2 W_h}{12 \times 0,8} = \frac{442,8}{9,6} = 46,125 = 50 \text{ Ah}$$

Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas baterai yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 12v 50AH. Tabel 3.3 menunjukkan spesifikasi baterai yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 3. 3 Spesifikasi Baterai

Nominal <i>Voltage</i>	12,8V
Kapasitas	50AH
<i>Charging Voltage</i>	14- 14,6V
<i>Max Charge Current</i>	20 A
<i>Cut Off Voltage</i>	11,2V
<i>Life Cycle</i>	>2000

3.4.2.3. Menentukan Jumlah Panel surya

Dalam penelitian ini kapasitas panel surya sudah ditentukan yaitu sebesar 50 Wp dan efisiensi dari *Scc* sebesar 90%. Jumlah panel surya dihitung berdasarkan kebutuhan beban dalam satu hari. Berdasarkan hasil perhitungan persamaan (2.3);

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{221,4 \div 0,9}{50 \times 3} = \frac{245,56}{150} = 1,637 = 2 \text{ panel surya.}$$

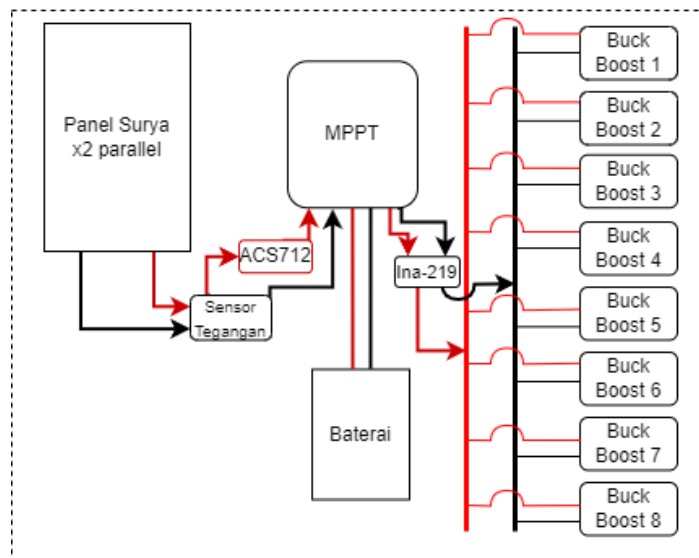
3.4.2.4. Menghitung Kapasitas *Solar Charge Controller* (SCC)

Setelah jumlah panel surya ditentukan, tahap berikutnya adalah menghitung kapasitas *Solar Charge Controller* (SCC) yang diperlukan. Besarnya kapasitas SCC dihitung menggunakan Persamaan (2.4);

$$\text{Kapasitas } Scc = 2,91 \times 2 \times 1,25 = 7,275 = 10 \text{ A}$$

3.4.3. Diagram Blok PLTS Off-Grid

Sistem ini didukung oleh sumber energi mandiri menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid. PLTS yang dirancang terdiri dari dua unit panel surya *polycrystalline* berkapasitas 50 Wp, *solar charge controller* tipe MPPT untuk pengaturan pengisian daya, serta baterai *Lithium Iron Phosphate* ($LiFePO_4$) sebagai penyimpan energi. Energi yang dihasilkan oleh panel surya akan disimpan dalam baterai dan digunakan untuk mendukung operasi sistem monitoring selama 24 jam penuh, termasuk cadangan selama 2 hari apabila terjadi kondisi cuaca mendung atau hujan. Diagram Blok PLTS off-grid dapat dilihat pada gambar 3.3.

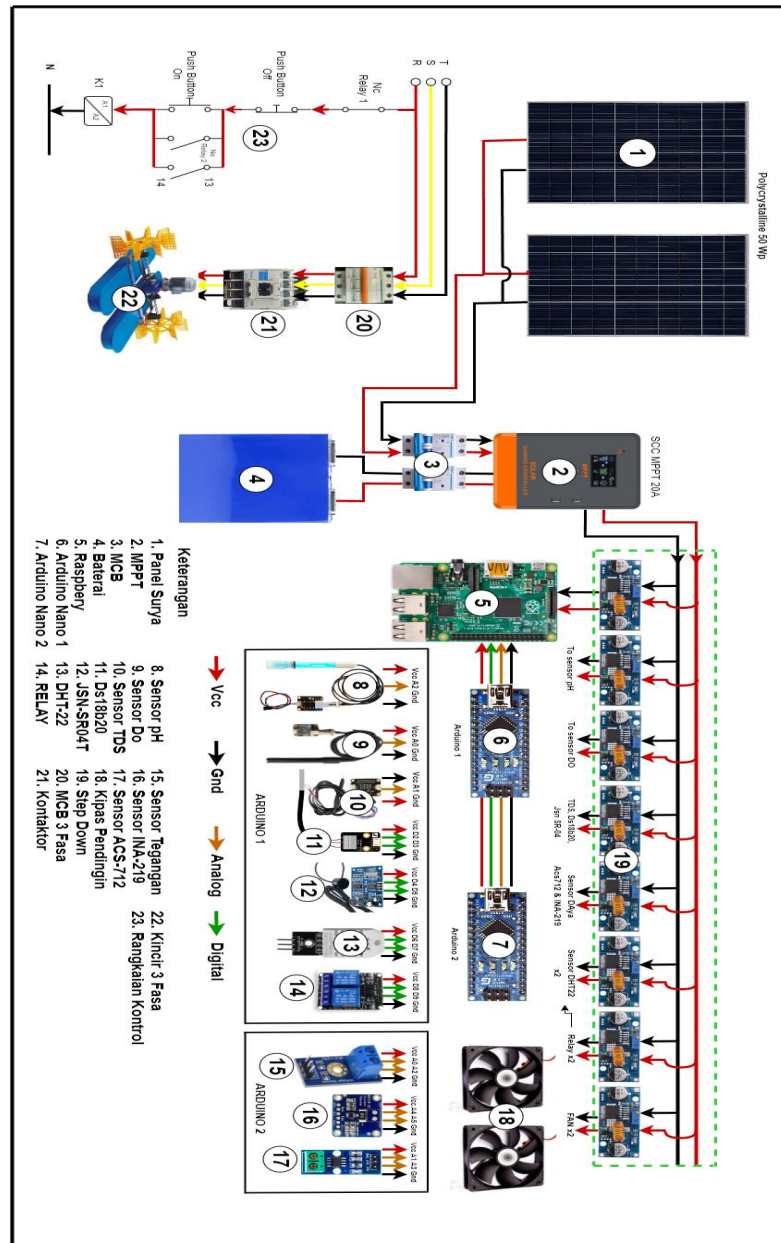


Gambar 3. 3 Diagram Blok PLTS Off-Grid

Panel surya menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi listrik dalam bentuk arus searah (DC). *Maksimum Power Point Tracking* (MPPT) mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan menyesuaikan titik kerja panel surya agar selalu berada pada titik daya maksimum. Sensor tegangan, ACS712, dan INA219 memantau tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya serta kondisi baterai. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya disimpan dalam baterai untuk digunakan saat tidak ada sinar matahari. *Boost converter* menurunkan tegangan listrik dari baterai atau panel surya ke level yang sesuai dengan kebutuhan sistem monitoring.

3.4.4. Perancangan Wiring Sistem

Pada penelitian ini peneliti membuat diagram *schematic* alat untuk mempermudah dalam merencanakan bagaimana semua komponen akan dihubungkan sebelum membuat rangkaian fisik. Wiring diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Wiring Diagram Sistem Penelitian

penyimpanan daya, mikrokontroler, sensor, serta aktuator yang berfungsi untuk mengontrol kondisi air tambak. Energi utama sistem ini diperoleh dari dua buah panel surya (1) dengan kapasitas 50 Wp yang mengubah energi matahari menjadi

listrik DC. Daya yang dihasilkan kemudian dikendalikan oleh *solar charge controller* MPPT 20A (2) untuk mengatur pengisian daya baterai. Untuk menjaga keamanan sistem kelistrikan, digunakan MCB (*Miniature Circuit Breaker*) (3) sebagai proteksi terhadap arus lebih atau korsleting. Daya listrik kemudian disimpan dalam sebuah baterai (4) yang berfungsi sebagai sumber daya utama bagi seluruh perangkat elektronik dalam sistem ini.

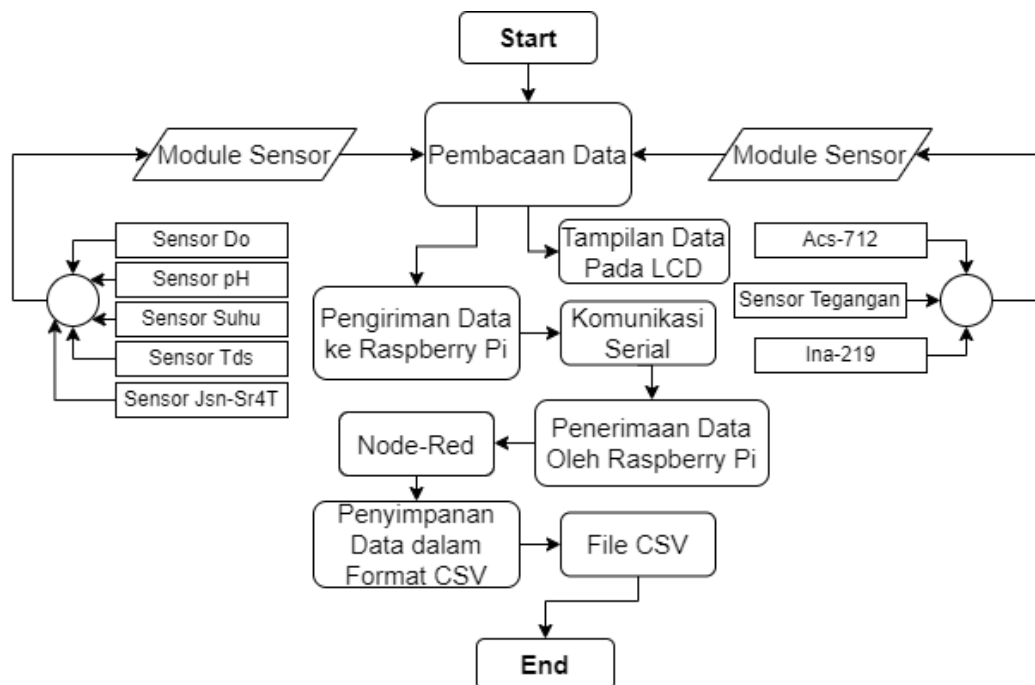
Pusat pengolahan data sistem ini dilakukan oleh *Raspberry Pi* (5) yang berfungsi sebagai komputer mini untuk mengintegrasikan mikrokontroler dan sebagai data logger. Selain itu, terdapat dua unit Arduino Nano (6 dan 7) yang berfungsi sebagai mikrokontroler untuk membaca data dari sensor dan mengendalikan perangkat output.

Beberapa sensor yang digunakan dalam sistem ini meliputi: Sensor pH (8) untuk mengukur tingkat keasaman air, Sensor DO (*Dissolved Oxygen*) (9) untuk mengukur kadar oksigen terlarut, Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) (10) untuk mengetahui jumlah zat terlarut dalam air, Sensor suhu (Ds18b20) (11) untuk memonitor suhu air, Sensor jarak (JSN-SR04T) (12) untuk memantau ketinggian air, Sensor kelembaban dan suhu udara (DHT-22) (13), Sensor tegangan (INA-219) (15) untuk memantau daya Listrik, dan Sensor arus (ACS-712) (17) untuk mengukur konsumsi arus listrik. Sensor-sensor ini dihubungkan ke Arduino Nano dan *Raspberry Pi* melalui modul *step-down* (19) yang menyesuaikan tegangan dari sumber daya agar sesuai dengan kebutuhan setiap sensor.

Sistem ini tidak hanya berfungsi untuk memantau kualitas air tetapi juga untuk mengontrol peralatan penting seperti kincir air yang berfungsi untuk menjaga kadar oksigen dalam tambak. Berikut beberapa aktuator yang digunakan; Relay (14) digunakan untuk mengendalikan berbagai perangkat Listrik, Kipas pendingin (18) untuk menjaga suhu perangkat elektronik. Kontaktor (21) dan MCB 3 fasa (20) digunakan untuk mengendalikan daya ke kincir air 3 fasa (22) yang berfungsi untuk meningkatkan kadar oksigen dalam air. Sistem ini juga dilengkapi dengan rangkaian kontrol manual (23) yang terdiri dari push button untuk menyalakan dan mematikan kincir air secara langsung.

3.4.5. Perancangan Alur Kerja Perangkat Berbasis Node-Red

Pada rancangan sistem ini, perangkat difokuskan pada penggunaan Node-RED sebagai platform utama untuk memproses data hasil pembacaan sensor hingga tahap penyimpanan data ke dalam Raspberry Pi. Node-RED berperan penting dalam mengelola aliran data, mulai dari akuisisi data dari mikrokontroler, pengolahan, hingga penyimpanan secara otomatis dalam format file CSV. Gambar 3.5 menunjukkan detail diagram alir (*flowchart*) yang memberikan gambaran alur proses sistem secara keseluruhan, serta menjelaskan fungsi dari masing-masing komponen yang terlibat dalam sistem monitoring kualitas air ini.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Perancangan Alat

Sistem perangkat lunak dimulai dengan pembacaan data dari sensor oleh Arduino. Sensor-sensor yang digunakan meliputi DO (*Dissolved Oxygen*), pH, TDS (*Total Dissolved Solids*), suhu, dan *water level*. Data yang dibaca oleh Arduino kemudian dikirim ke LCD untuk ditampilkan secara *real-time*, memberikan informasi langsung kepada pengguna tentang kondisi kualitas air tambak. Contoh tampilan pada LCD: baris pertama Do: 6.5, baris kedua pH: 7,8, baris ketiga TDS: 600 dan pada baris terakhir Water Level 60 cm. Selanjutnya, Arduino mengirim data tersebut ke *Raspberry Pi* melalui komunikasi serial (*UART*) dalam format

string, contohnya "6.5,7.2,500,28.5,30". *Raspberry Pi* menerima data dari Arduino menggunakan Node-RED, sebuah platform visual yang memudahkan pengelolaan aliran data. Node-RED membaca data dari port serial, memprosesnya, dan menyimpannya ke dalam file CSV. Format penyimpanan data ini terstruktur dengan kolom seperti Timestamp, Do, pH, TDS, Suhu, Water Level.

3.5. Metode Pengujian

Proses pengujian sistem pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan kalibrasi sensor yang akan digunakan dalam sistem alat yang dirancang sebagai salah satu upaya untuk memvalidasi nilai yang terukur terhadap nilai pada alat konvensional yang memiliki standarisasi.
2. Melakukan pengujian daya yang dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi cuaca cerah dan cuaca mendung.
3. Melakukan pengujian efisiensi *mppt* dengan membandingkan daya *input* panel surya dengan daya *output* ke baterai atau beban.
4. Melakukan pengujian untuk memastikan baterai dapat menyimpan energi yang cukup untuk mengoperasikan sistem.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem monitoring kualitas air tambak udang vaname berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan dua mikrokontroler Arduino Nano yang masing-masing berfungsi untuk membaca parameter kualitas air (Suhu, DO, pH, TDS, dan ketinggian air) serta parameter kelistrikan dari sistem PLTS Off-Grid (tegangan, arus, daya).
2. Sistem PLTS *Off-Grid* mampu menyuplai energi secara mandiri dengan efisiensi MPPT rata-rata 96,852%. Uji otonomi baterai menunjukkan bahwa sistem dapat bertahan hingga 70 jam 55 menit di dod 90% tanpa penyinaran matahari sebelum mencapai batas cut-off baterai.
3. Panel surya pada sistem PLTS Off-Grid mampu menghasilkan energi sebesar 369,16 Wh pada kondisi cerah, sehingga cukup untuk memenuhi sekitar 186% dari total kebutuhan energi harian. Sebaliknya, pada kondisi mendung, energi yang dihasilkan hanya sebesar 177,61 Wh, atau sekitar 89,35% dari kebutuhan harian.
4. Aktuator tambak yang dikendalikan berdasarkan parameter suhu dan oksigen terlarut mampu bekerja secara otomatis dan efektif, sehingga membantu menciptakan kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan udang.
5. Kinerja sistem monitoring secara keseluruhan berjalan baik dan mampu membaca parameter lingkungan tambak secara akurat. Namun, terdapat keterbatasan pada sensor TDS (rentang hanya 0–1000 ppm) dan sensor pH yang kurang tahan terhadap kondisi air tambak secara langsung.

5.2. Saran

Adapun saran yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Pemilihan sensor yang lebih sesuai seperti sensor TDS diganti dengan rentang pengukuran yang lebih luas dan sensor pH yang digunakan sebaiknya diganti dengan tipe industri yang bisa dioperasikan langsung di dalam tambak serta ketahanan lebih baik terhadap air payau. Penambahan parameter sensor kecerahan air untuk memperkaya analisis kualitas air tambak secara lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Budiwati *et al.*, “Monitoring Pemeliharaan Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Super Intensif DI PT Makmur Persada, Bulukumba,” *Jurnal Perikanan Unram*, vol. 12, no. 3, pp. 292–302, Sep. 2022, doi: 10.29303/jp.v12i3.309.
- [2] U. Amrulla *et al.*, “Rancang Bangun Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Vaname Dengan Kontrol Paddle Wheel Berbasis Mikrokontroler”.
- [3] “Konflik Sosial Petambak Udang Bumi Dipasena Dengan Perusahaan Dipasena Citra Darmaja (DCD) Di Rawajitu Timur Tulang Bawang (1990-2000).”
- [4] S. Arsad, A. Afandy, A. P. Purwadhi, M. V. Betrinda, D. K. Saputra, and N. Retno Buwono, “Study of Vaname Shrimp Culture (*Litopenaeus vannamei*) in Different Rearing System.”
- [5] N. Faiz, “Petambak Dipasena, Lampung, Keluhkan Layanan Listrik PLN,” *Suarautama.id*.
- [6] A. Zamzami, O. Fransisco, M. I. Nugraha, P. M. Negeri, and B. Belitung, “Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Berbasis Internet of Things (IoT).”
- [7] S. Anwar and A. Abdurrohman, “Pemanfaatan Teknologi Internet of Things untuk Monitoring Tambak Udang Vaname Berbasis Smartphone Android Menggunakan NodeMCU Wemos D1 Mini,” *Infotronik : Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, vol. 5, no. 2, p. 77, Dec. 2020, doi: 10.32897/infotronik.2020.5.2.484.
- [8] K. Ph *et al.*, “Implementasi Panel Surya Sebagai Sumber Energi pada Sistem,” *Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)*, vol. 11, no. 2, p. 2019.
- [9] A. Pratama, “Studi Performa Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang Dipelihara dengan Sistem Semi Intensif pada Kondisi Air Tambak dengan Kelimpahan Plankton yang Berbeda pada Saat Penebaran,” vol. VI, 2017.
- [10] O. I. Purnamasari, D. Purnama, M. Angraini, and F. Utami, “Pertumbuhan Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Tambak Intensif,” 2017.
- [11] J. E. Pertanian, D. Agribisnis, I. Mayusi Farionita, J. Murti, M. Aji, and A. Supriono, “Analisis Komparatif Usaha Budidaya Udang Vaname Tambak Tradisional dengan Tambak Intensif di Kabupaten Situbondo: The Comparative Analysis of the Traditional Vannamei Shrimp Farming and Intensive Farming in Situbondo Regency,” vol. 2, pp. 255–266, 2018, doi: 10.21776/ub.jepa.2018.002.04.1.
- [12] H. Ariadi *et al.*, “Keterkaitan Hubungan Parameter Kualitas Air Pada Budidaya Intensif Udang Putih (*Litopenaeus vannamei*),” 2021.

- [13] “Rancangan Standar Nasional Indonesia³ Udang penaeid-Bagian 5: Produksi semi intensif.”
- [14] R. Mareta, D. Rahmaningsih, and R. Dwi Firmansyah, “Pendeteksi Ketinggian Air Interaktif dengan Aplikasi Telegram Berbasis Raspberry Pi,” *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [15] R. Mareta, D. Rahmaningsih, R. Dwi Firmansyah, E. dan Instrumentasi, and S. Vokasi, “Pendeteksi Ketinggian Air Interaktif dengan Aplikasi Telegram Berbasis Raspberry Pi,” *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [16] U. Al Barqi, G. S. Santyadiputra, I. Gede, and M. Darmawiguna, “Sistem Monitoring Online Pada Budidaya Udang Menggunakan Wireless Sensor Network dan Internet Of Things,” 2019.
- [17] S. Melangi, M. Asri, S. A. Hulukati, and T. Elektro, “Nomor 1 Januari,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, 2022.
- [18] G. Hasna, I. Apsari, S. Pramono, and N. A. Zen, “Implementasi Regersi Linier Menggunakan Sensor JSN-SR04T Untuk Monitoring Ketinggian Air Pada Tandon Air Melalui Antares,” 2022.
- [19] T. Nusa, S. R. U. A. Sompie, M. Eng, S. T. Rumbayan,) Mahasiswa, and) Pembimbing, “Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler,” 2015.
- [20] I. Vipriyandhito, A. P. Kusuma, D. Fanny, and H. Permadi, “Rancang Bangun Alat Monitoring Kualitas Air pada Kolam Ikan Koi Berbasis Arduino,” 2022.
- [21] M. Syahwil and N. Kadir, “Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum Di Laboratorium,” 2021.
- [22] N. F. Wahidin, E. Yadie, and M. A. Putra, “Analisis Perbandingan Solar Charging Controller (SCC) Jenis PWM Dan MPPT Pada Automatic Handwasher with Workstation Bertenaga Surya Politeknik Negeri Samarinda,” *PoliGrid*, vol. 3, no. 1, p. 12, Jun. 2022, doi: 10.46964/poligrid.v3i1.1490.
- [23] E. Samsul Ma *et al.*, “Perbandingan Baterai Lithium Ion dan Baterai Valve Regulated Lead Acid 48 Volt 20 Ampere terhadap Kelayakan Pakai Sepeda Motor Listrik Konversi SMK Negeri 55 Jakarta,” vol. 6, no. 2.

LAMPIRAN