

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS AIR
TAMBAK UDANG BERBASIS *CYBER PHYSICAL SYSTEM***

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD ALWAN FADHLULLAH



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRAK
RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS AIR
TAMBAK UDANG BERBASIS *CYBER PHYSICAL SYSTEM*

Oleh

Muhammad Alwan Fadhlullah

Keberhasilan budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) sangat dipengaruhi oleh parameter kualitas air tambak yang meliputi suhu, derajat keasaman (pH), dan kekeruhan. Pemantauan kualitas air yang selama ini dilakukan secara manual dinilai kurang efektif dan tidak *real-time* dalam mendukung pengambilan keputusan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah *prototype* sistem monitoring kualitas air tambak udang berbasis *Cyber Physical System* (CPS) yang terintegrasi dengan aplikasi Telegram. Sistem ini dikembangkan menggunakan metode *prototype* dan menggunakan mikrokontroler MAPPI32 sebagai pusat kendali pemrosesan data. Mikrokontroler ini dihubungkan dengan serangkaian perangkat keras berupa sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor kekeruhan (*turbidity*), sensor ultrasonik, modul LCD, dan *power supply*. Hasil pengujian dan kalibrasi menunjukkan bahwa instrumen sensor dapat bekerja dengan tingkat akurasi yang tinggi; di mana sensor pH memiliki rata-rata selisih pembacaan sebesar 0,132 dengan alat standar, sensor suhu memiliki selisih rata-rata 0,24 °C, dan sensor turbidity memiliki selisih rata-rata 0,81 NTU. Data hasil pengukuran tersebut diolah secara otomatis oleh mikrokontroler untuk mengklasifikasikan kualitas air ke dalam kategori Baik, Kurang Baik, atau Tidak Baik. Berdasarkan hasil penelitian, keseluruhan sistem telah berhasil direalisasikan dan beroperasi dengan baik untuk menampilkan data kualitas air secara lokal melalui layar LCD, serta mengirimkan informasi tersebut secara jarak jauh dan *real-time* kepada pengguna melalui bot Telegram.

Kata Kunci: *Cyber Physical System*, Kualitas Air, MAPPI32, Tambak Udang, Telegram.

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SHRIMP POND WATER QUALITY MONITORING SYSTEM BASED ON CYBER PHYSICAL SYSTEM

By:

Muhammad Alwan Fadhlullah

*The success of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultivation is highly influenced by pond water quality parameters, including temperature, acidity (pH), and turbidity. Current water quality monitoring, which is often conducted manually, is considered ineffective and lacks real-time capabilities to support decision-making. Therefore, this research aims to design and develop a prototype of a shrimp pond water quality monitoring system based on a Cyber-Physical System (CPS) integrated with the Telegram application. The system was developed using the prototyping method and utilizes the MAPPI32 microcontroller as the central data processing unit. This microcontroller is interfaced with a series of hardware components, including a DS18B20 temperature sensor, a pH sensor, a turbidity sensor, an ultrasonic sensor, an LCD module, and a power supply. The testing and calibration results demonstrate that the sensor instruments operate with high accuracy; where the pH sensor shows an average measurement error of 0.132 compared to standard tools, the temperature sensor has an average deviation of 0.24 °C, and the turbidity sensor shows an average difference of 0.81 NTU. The measurement data is automatically processed by the microcontroller to classify water quality into three categories: Good, Fair, or Poor. Based on the research findings, the entire system has been successfully implemented and functions effectively in displaying water quality data locally via an LCD screen, as well as transmitting this information remotely and in real-time to users through a Telegram bot.*

Keywords: Cyber Physical System, Water Quality, MAPPI32, Shrimp Pond, Telegram.

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS AIR
TAMBAK UDANG BERBASIS *CYBER PHYSICAL SYSTEM***

Oleh

MUHAMMAD ALWAN FADHLULLAH

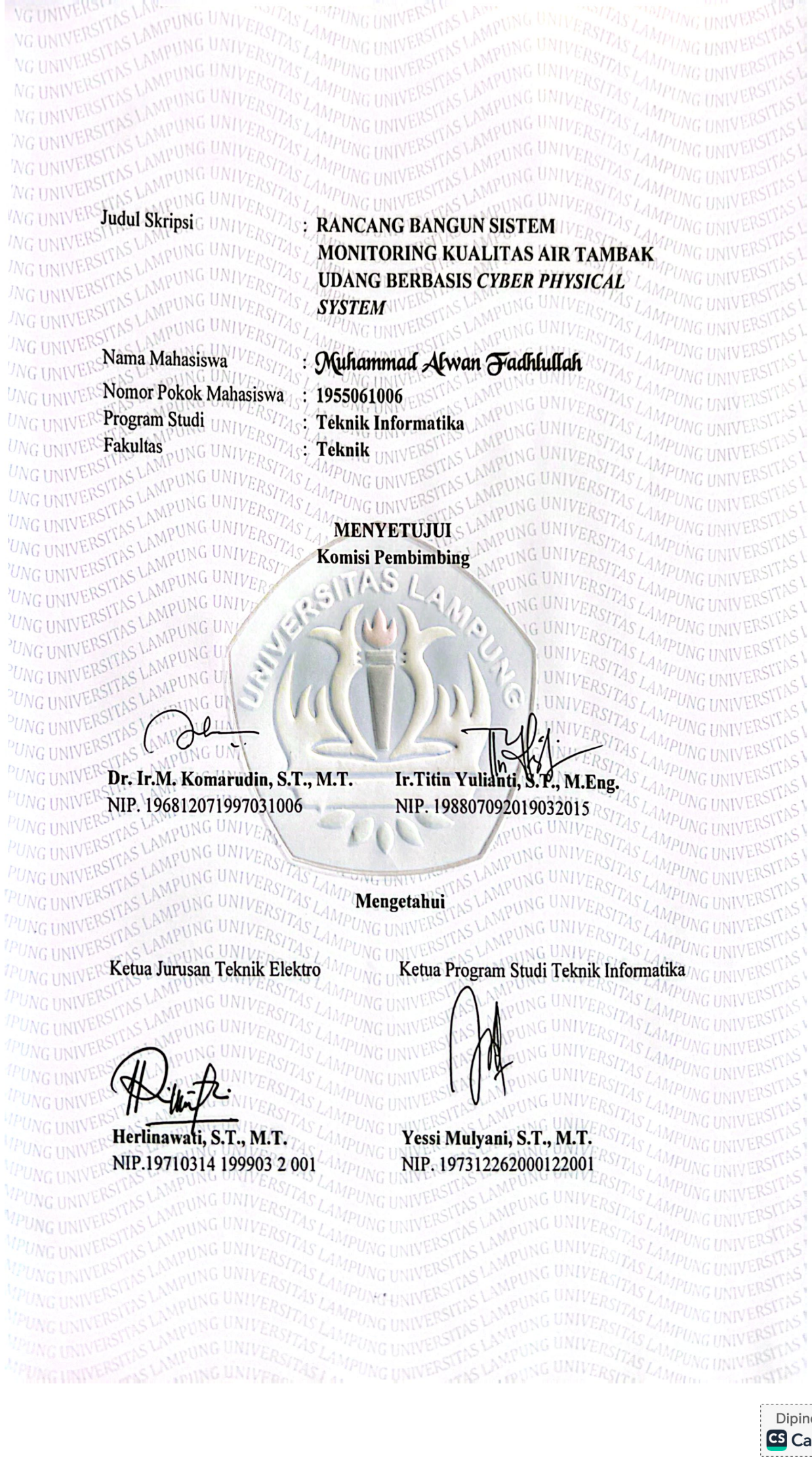
**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

PADA

**Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Teknik**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**



Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN SISTEM
MONITORING KUALITAS AIR TAMBAK
UDANG BERBASIS *CYBER PHYSICAL*
SYSTEM**

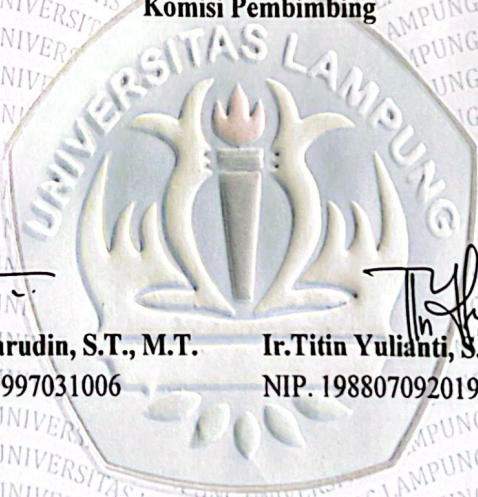
Nama Mahasiswa : **Muhammad Alwan Fadhlullah**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1955061006**

Program Studi : **Teknik Informatika**

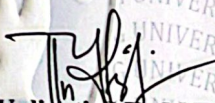
Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI
Komisi Pembimbing




Dr. Ir.M. Komarudin, S.T., M.T.

NIP. 196812071997031006



Ir. Titin Yulianti, S.P., M.Eng.

NIP. 198807092019032015


Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Informatika


Herlinawati, S.T., M.T.

NIP.19710314 199903 2 001

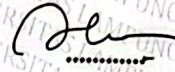

Yessi Mulyani, S.T., M.T.

NIP. 197312262000122001

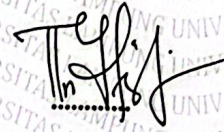
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ir.M. Komarudin, S.T., M.T.

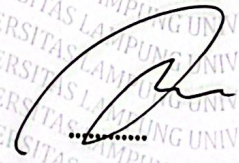


Sekretaris : Ir.Titin Yulianti, S.T., M.Eng.



Penguji

Bukan Pembimbing : Mona Arif Muda, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 April 2026

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini , menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul “ RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS AIR TAMBAK UDANG BERBASIS *CYBER PHYSICAL SYSTEM* “ dibuat oleh saya sendiri. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan hukum atau akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 10 April 2026

Pembuat pernyataan,



Muhammad Alwan Fadhlullah

NPM. 1955061006

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Gorontalo pada tanggal 21 Agustus 2001 sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Denny Indrawan, S.Si.T. dan Ibu Maimun Pakaya, S.Pd. Penulis memiliki dua orang saudara laki-laki, yaitu Muhammad Akmal Fadhurahman dan Muhammad Alam Rizqullah.

Riwayat pendidikan penulis dimulai dari TKIT Permata Umat pada tahun 2005 hingga 2007, kemudian melanjutkan ke SDIT Permata Umat dari tahun 2007 sampai 2013. Setelah itu, penulis menempuh pendidikan di MTS Daarul Maarif pada tahun 2013 hingga 2016, dan melanjutkan ke jenjang pendidikan menengah atas di SMIT Jaisyul Quran dari tahun 2016 sampai 2019.

Pada tahun 2019, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung melalui jalur SMMPTN (Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai anggota Departemen Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi pada tahun 2020 dan menjabat selama dua periode hingga tahun 2021. Selain itu, penulis juga melaksanakan kerja praktik di PT Industri Kereta Api (INKA) yang berlokasi di Madiun, Jawa Timur, pada divisi IT pada tahun 2022.

Tiada ungkapan yang lebih indah selain memanjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Azawajalla atas segala rahmat dan hidayah yang senantiasa diberikan.

Karya sederhana ini penulis persembahkan kepada:

“Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Denny Indrawan dan Ibunda Maimun Pakaya, yang selalu melimpahkan kasih sayang, memberikan dukungan penuh, serta tak henti mendoakan kebaikan, juga kepada adik tersayang yang senantiasa mengiringi dengan doa terbaik.”

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada para dosen, sahabat, serta almamater tercinta Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

MOTTO

“Allah memberikan ujian kepada setiap hamba sesuai dengan batas kemampuan yang dimilikinya.”

(QS. Al-Baqarah: 286)

“Dalam penciptaan langit dan bumi serta silih bergantinya siang dan malam, terdapat tanda-tanda kebesaran bagi mereka yang mau berpikir.”

(QS. Ali ‘Imran: 190)

“Keingintahuan terhadap alam semesta merupakan titik awal lahirnya berbagai penemuan.”

(Albert Einstein)

“Tingkat kemuliaan seseorang dapat dilihat dari seberapa luas ilmu yang dikuasainya.”

(Ali bin Abi Thalib)

SANWACANA

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Berbasis *Cyber Physical System*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Prodi Teknik Informatika Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama proses penyusunan ini, penulis mendapatkan banyak dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah membantu, terutama kepada :

1. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ibu Herlinawati, S.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
3. Ibu Yessi Mulyani, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika dan juga sebagai dosen pembimbing akademik selama saya kuliah di Universitas Lampung.
4. Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Ir. M. Komarudin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama atas segala bimbingan, arahan, motivasi, serta nasihat yang telah diberikan dengan penuh kesabaran dan ketulusan di setiap kesempatan. Bapak tidak hanya membagikan ilmu pengetahuan, tetapi juga menunjukkan kepedulian layaknya seorang ayah kepada anaknya. Setiap dukungan dan dorongan yang diberikan sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan karya ini. Terima kasih atas waktu dan kesabaran yang telah Bapak curahkan. Semoga segala kebaikan dan ilmu yang diberikan menjadi amal jariyah serta membawa keberkahan.
5. Ibu Ir. Titin Yulianti, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing kedua, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala arahan, bimbingan, dan perhatian yang telah Ibu berikan selama proses penyusunan

skripsi ini. Bimbingan yang Ibu berikan sangat berharga, membantu penulis dalam melihat berbagai sudut pandang, memperbaiki isi tulisan, dan memperkuat kualitas penelitian ini. Semoga segala ilmu, kebaikan, dan dedikasi yang telah Ibu bagikan mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT.

6. Bapak Mona Arif Muda, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, masukan, saran, serta motivasi kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
7. Untuk Ayahanda Denny Indrawan, S.Si.T. dan Ibunda Maimun Pakaya, S.Pd., yang senantiasa menjadi teladan sekaligus sumber kekuatan dalam setiap langkah penulis. Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus atas segala pengorbanan, perjuangan tanpa lelah, serta doa yang tidak pernah putus mengiringi perjalanan ini. Dukungan yang diberikan begitu berarti hingga penulis dapat menyelesaikan studi ini. Oleh karena itu, pencapaian gelar sarjana ini tidak semata-mata milik penulis, melainkan juga menjadi bagian dari jerih payah dan kasih sayang Ayah dan Ibu yang selalu mendampingi dan membesarkan dengan penuh cinta. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mempersembahkan pencapaian ini kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta.
8. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada dua saudara laki-laki tercinta, Muhammad Akmal Fadhurahman dan Muhammad Alam Rizqullah, atas dukungan, doa, dan semangat yang selalu diberikan kepada penulis.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran dan pandangan hidup selama perkuliahan.
10. Staf administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
11. Ajeng Maraaini, sebagai teman yang selalu mendampingi dalam penulisan skripsi ini, terima kasih telah membantu, menyemangati, dan mendoakan penulis selama proses penyusunan skripsi ini.

12. Teruntuk Bimo Komala, Hardi Nuari Caesar, Ilham Fadilah, Abyyu Hafizh Septrianto, Muhammad Haqu, sebagai sahabat-sahabat penulis yang selalu mendampingi, memberi motivasi, dan semangat luar biasa selama perkuliahan hingga saat ini. Terima kasih telah menjadi teman yang sangat baik seperti saudara. Terima kasih karena selalu ada untuk penulis, tidak pernah membiarkan penulis sendirian, siap membantu kapan pun penulis butuh, dan selalu mendengarkan keluh kesah selama di perantauan ini.
13. Segenap Keluarga Besar Angkatan ETERNITY 2021, dan teman – teman yang telah menjadi keluarga bagi penulis.
14. Rekan – rekan HIMATRO UNILA serta kakak – kakak dan adik – adik tingkat di Jurusan Teknik Elektro.
15. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri, Muhammad Alwan Fadhlullah, atas komitmen dalam menyelesaikan setiap proses yang telah dimulai. Terima kasih atas ketekunan, usaha tanpa henti, dan keteguhan untuk tetap bertahan meskipun menghadapi berbagai rintangan. Hingga akhirnya, semua dapat dilalui dengan baik.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca serta menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 22 April 2026

Penulis,

Muhammad Alwan Fadhlullah
NPM 1955061006

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
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
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Tambak Udang	6
2.2. Udang Vannamei.....	8
2.3. Parameter Kualitas Air Tambak Udang	9
2.4. <i>Cyber Physical System</i>	12
2.5. Sensor.....	14
2.6. Mikrokontroler	18
2.7. LCD.....	20
2.8. <i>Prototype</i>	21
2.9. Penelitian Terkait	23
III. METODE PENELITIAN.....	30
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
3.2. Alat dan Bahan	30
3.3. Tahapan Penelitian	33
3.4. Diagram Blok Perancangan Sistem.....	34
3.5. <i>Flowchart</i> Sensor pH	38
3.6. <i>Flowchart</i> Sensor Suhu	40

3.7.	<i>Flowchart</i> Turbidity Sensor	42
3.8.	Metode <i>Prototype</i>	44
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1.	Analisis Kebutuhan	47
4.2.	Hasil Desain	48
4.3.	Pembuatan <i>Prototype</i>	50
4.4.	Kalibrasi	57
4.5.	Pengujian Kualitas Air Sebelum Dan Sesudah Diberi <i>Treatment</i>	63
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1.	Kesimpulan	65
5.2.	Saran	65
	DAFTAR PUSTAKA	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Udang (<i>Litopenaeus vannamei</i>).	9
Gambar 2.2 Sensor suhu (sumber arduotech.com)	15
Gambar 2.3 Sensor pH (sumber sensotronic.com).....	16
Gambar 2.4 Turbidity Sensor (sumber jogjarobotika).....	17
Gambar 2.5 Sensor Ultrasonik (sumber electronics.blogspot.com).....	18
Gambar 2.6 LCD.....	21
Gambar 2.7 Langkah - langkah <i>prototype</i>	22
Gambar 3.1 Flowchart Tahapan Penelitian.....	33
Gambar 3.2 Diagram Perancangan Sistem Monitoring	34
Gambar 3.3 Flowchart Sensor pH.....	39
Gambar 3.4 Flowchart Sensor Suhu.....	41
Gambar 3.5 Flowchart Turbidity Sensor.....	43
Gambar 3.6 Flowchart Metode <i>Prototype</i>	45
Gambar 4.1 Wiring Diagram Sistem Keseluruhan	48
Gambar 4.2 Rangkaian Sistem Pendeteksi Air	51
Gambar 4.3 Pengujian Sensor pH 4502C	58
Gambar 4. 4 Pengujian Sensor Suhu DS18B20.....	60
Gambar 4.5 Pengujian Sensor <i>Turbidity</i>	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Nilai Parameter Optimal Kualitas Air Tambak Udang	7
Tabel 2.2 Upaya Menjaga Nilai Parameter Optimal Kualitas Air Tambak Udang	7
Tabel 2.3 Taksonomi Udang (<i>Litopenaeus vannamei</i>).	9
Tabel 2.4 Datasheet Turbidity Sensor	16
Tabel 2.5 Spesifikasi Mikrokontroler Mappi32	19
Tabel 2.6 Datasheet LCD	20
Tabel 2.7 Penelitian Terkait	27
Tabel 3.1 <i>Hardware</i> / Perangkat Keras	30
Tabel 3.2 <i>Software</i> / Perangkat Lunak	32
Tabel 4.1 Pengujian Fungsional <i>Prototype</i>	54
Tabel 4.2 Perbandingan antara tegangan dan kekeruhan dari pH meter	58
Tabel 4.3 Pengujian Sensor Suhu	60
Tabel 4.4 Perbandingan antara tegangan dan kekeruhan dari turbidity meter	62
Tabel 4.5 Perbandingan antara kualitas air sebelum dan sesudah diberi <i>treatment</i> .	64

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan manusia dalam kehidupan sehari-hari terbagi menjadi kebutuhan primer dan sekunder. Air termasuk kebutuhan primer yang sangat esensial dan tidak dapat dipisahkan dari kehidupan seluruh makhluk hidup, khususnya manusia. Peran air sangat vital dalam menunjang aktivitas harian karena memiliki berbagai fungsi. Selain digunakan untuk kebutuhan domestik, air juga berperan penting dalam kegiatan budidaya tambak udang yang umumnya berada di wilayah pesisir. Provinsi Lampung, yang memiliki garis pantai yang luas, menyebabkan banyak masyarakatnya bekerja sebagai petani tambak udang. Bahkan, Lampung termasuk dalam tujuh besar daerah penghasil budidaya tambak udang di Indonesia. Tambak udang sendiri merupakan kolam buatan yang digunakan untuk membudidayakan berbagai jenis udang, baik yang hidup di air tawar, air payau, maupun air laut [1].

Udang merupakan salah satu organisme penyaring (filter feeder), sehingga kualitas air—terutama tingkat keasaman (pH) dan kadar garam—sangat memengaruhi hasil produksi para petani tambak. Salah satu jenis udang yang saat ini banyak dibudidayakan adalah udang vaname, karena memiliki kemampuan toleransi salinitas yang cukup luas, yaitu berkisar antara 0 hingga 45 persen. Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) termasuk komoditas perikanan yang bernilai ekonomi tinggi, memiliki daya saing yang baik, serta pangsa pasar yang luas, baik di dalam negeri maupun untuk ekspor. Selain itu, udang ini memiliki nilai ekonomis yang besar sehingga lebih diminati oleh petani, terutama karena masa panennya yang relatif lebih singkat dan memberikan keuntungan yang lebih tinggi. Keberhasilan budidaya udang vaname dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah kualitas air.

Manajemen pakan yang optimal serta pemantauan kualitas air pada tambak udang vaname menjadi indikator utama keberhasilan dalam kegiatan budidaya. Hal ini disebabkan karena biaya terbesar yang paling berpengaruh dalam budidaya udang vaname adalah biaya pakan. Pengelolaan pakan dapat dikatakan efisien apabila nilai perbandingan antara hasil produksi udang dengan jumlah pakan yang diberikan rendah, yang dikenal sebagai Feed Conversion Ratio (FCR). Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan pengendalian pemberian pakan berdasarkan laporan anco serta sistem monitoring kualitas air tambak berbasis Internet of Things (IoT), sehingga teknisi dapat menentukan tindakan yang tepat dalam mendukung keberhasilan budidaya [2].

Dalam budidaya udang vaname, salah satu permasalahan utama yang sering terjadi adalah menurunnya kualitas lingkungan air, yang kemudian memicu munculnya berbagai penyakit pada udang, seperti vibriosis, *Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease* (AHPND), insang hitam, *White Feces Disease* (WFD), Myo, TSV, WSSV, serta *Infectious Hypodermal and Hematopoietic Necrosis* (IHHN) [3]. Kualitas air tambak yang baik dapat dinilai dari beberapa parameter penting, seperti suhu (temperatur), oksigen terlarut (DO), derajat keasaman (pH), salinitas, serta tinggi permukaan air. Nilai pH air sendiri dapat berada dalam kondisi asam, basa, maupun netral. Air dikatakan bersifat asam jika $\text{pH} < 7$, bersifat basa apabila $\text{pH} > 7$, dan netral jika $\text{pH} = 7$. Untuk menjaga kestabilan pH kolam, diperlukan penambahan bahan kimia tertentu, seperti kalium hidroksida untuk meningkatkan pH air serta asam fosfat untuk menurunkannya [4].

Untuk mengatasi berbagai permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem yang mampu memantau kualitas air pada tambak udang secara efektif. Seiring dengan perkembangan teknologi, sistem monitoring kualitas air menjadi semakin penting dan memberikan manfaat besar bagi para petani tambak. Pada penelitian ini akan dikembangkan sebuah *prototype* alat monitoring kualitas air berbasis *Cyber Physical System* (CPS), yang memungkinkan pengguna mengakses informasi kondisi air melalui aplikasi pada smartphone.

Dengan adanya sistem ini, diharapkan petani dapat lebih mudah dalam melakukan pemantauan dan pengendalian kualitas air pada tambak udang.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian yang dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang suatu sistem yang mampu melakukan pemantauan kualitas air untuk mendukung kegiatan budidaya tambak udang?
2. Bagaimana cara mengintegrasikan alat dengan aplikasi pada telegram untuk menampilkan data hasil monitoring?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan mengembangkan *prototype* sistem yang mampu memantau kualitas air untuk mendukung kegiatan budidaya tambak udang.
2. Mengintegrasikan alat dengan aplikasi pada telegram untuk menampilkan data hasil monitoring.

1.4. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya berfokus pada monitoring kualitas air yang digunakan pada tambak udang.

2. *Prototype* yang dirancang merupakan alat yang diuji dengan skala laboratorium.
3. Parameter yang diukur terdiri dari temperatur, derajat keasaman (pH), kekeruhan (Turbiditas).

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan kemudahan bagi petani tambak dalam memantau kualitas air yang digunakan pada tambak udang.
2. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai acuan serta sumber kajian bagi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan sistem monitoring berbasis *Cyber Physical System* (CPS) maupun Internet of Things (IoT).
3. Penelitian ini dapat menjadi landasan dalam pengembangan sistem monitoring yang lebih modern, efektif, dan terintegrasi, khususnya pada sektor budidaya perikanan berbasis teknologi.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini disusun ke dalam lima bab sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang permasalahan serta tujuan yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian ini. Permasalahan yang ada yaitu bagaimana cara mengetahui kualitas air bersih yang digunakan pada tambak udang. Oleh sebab itu, pada penelitian ini membahas terkait rancang bangun alat monitoring kualitas air berbasis *CPS* dengan menggunakan mikrokontroler. Selain itu, pada bab ini juga dijelaskan mengenai batasan masalah agar ruang

lingkup penelitian tetap terarah dan tidak melebar dari fokus yang telah ditentukan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam penelitian. Perangkat keras yang digunakan meliputi MAPPI32, sensor turbidity, dan LCD, sedangkan perangkat lunaknya menggunakan aplikasi Telegram. Selain itu, bab ini juga memuat kajian pustaka yang relevan dan berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang waktu dari penelitian yang akan dilaksanakan, *Hardware* dan *Software* yang akan digunakan, dan metode *Prototype* sebagai metode yang akan digunakan dalam penelitian, dimana metode ini memiliki beberapa tahap yaitu pada tahap yang pertama adalah pengumpulan kebutuhan, seperti sensor apa saja yang akan digunakan untuk memenuhi parameter dari keberhasilan alat yang di rancang, tahap selanjutnya yaitu proses desain atau perancangan alat yang akan digunakan pada media yang sudah ditetapkan, tahap selanjutnya yaitu pengujian alat yang telah dibuat dengan melakukan pengambilan data, dan tahap terakhir yaitu evaluasi atau dilakukan analisa dari pembahasan terkait dengan data yang telah diambil.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan proses pengumpulan data, hasil yang diperoleh selama penelitian, serta analisis terhadap data tersebut.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan ringkasan hasil penelitian dalam bentuk kesimpulan serta rekomendasi yang disusun berdasarkan temuan yang diperoleh, guna mendukung perbaikan dan pengembangan penelitian selanjutnya agar menghasilkan capaian yang lebih optimal..

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tambak Udang

Target utama dalam budidaya udang intensif adalah mencapai produksi yang tinggi guna memenuhi permintaan pasar. Salah satu karakteristik utama sistem intensif adalah adanya pemantauan kolam atau tambak yang dilakukan secara rutin untuk menjaga kualitas udang tetap optimal. Selain itu, penerapan padat tebar yang tinggi harus didukung oleh kondisi lingkungan perairan yang sesuai agar pertumbuhan udang dapat berlangsung secara maksimal.

Budidaya udang vaname sendiri merupakan sektor perikanan yang mengalami perkembangan pesat di Indonesia dengan tingkat produksi yang cukup tinggi. Namun, kualitas air tambak yang tidak terjaga dapat berdampak negatif terhadap pertumbuhan dan kesehatan udang vaname. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring yang mampu bekerja secara efektif dan efisien untuk mengatasi permasalahan tersebut. Saat ini, proses pemantauan kualitas air masih banyak dilakukan secara manual dan belum bersifat *real-time*. Pengukuran biasanya menggunakan alat tertentu yang memerlukan pengecekan langsung di lapangan, kemudian hasilnya dicatat dan dilaporkan dalam bentuk file seperti Excel. Metode ini dinilai kurang efisien dan dapat menghambat pengambilan keputusan dalam pengelolaan tambak [2].

Pada musim hujan, kondisi kualitas air tambak cenderung menjadi tidak stabil, bahkan dalam situasi tertentu dapat mengalami penurunan secara signifikan. Kualitas perairan sangat dipengaruhi oleh aktivitas plankton, khususnya fitoplankton, dalam proses fotosintesis yang menghasilkan klorofil sebagai komponen penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem perairan. Secara fisik, kualitas air yang ideal untuk budidaya udang vaname dapat dilihat dari beberapa parameter, seperti tingkat kecerahan air sekitar 30

cm yang mencerminkan kepadatan plankton serta kandungan bahan terlarut, suhu berkisar antara 25 hingga 31°C, dan derajat keasaman (pH). Nilai pH yang optimal untuk pertumbuhan udang berada pada rentang 7,5 hingga 8,5, karena pada kondisi tersebut tercapai keseimbangan antara oksigen dan karbon dioksida, serta menghambat perkembangan mikroorganisme yang bersifat merugikan [5].

Tabel 2.1 Nilai Parameter Optimal Kualitas Air Tambak Udang

Suhu Air	26 – 32 °C
Salinitas	20 – 35 ppt
Kekeruhan	11 - 24 NTU
Kadar Oksigen	> 4 mg/L
pH	7,6 – 8,3

Upaya untuk mendukung nilai parameter optimal untuk menjaga kualitas air tambak ini dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Upaya Menjaga Nilai Parameter Optimal Kualitas Air Tambak Udang

Parameter	Upaya Perbaikan
Suhu	
>32 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Menaikkan ketinggian air • Pergantian air • Memasang <i>shading net</i>
<26 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Memasukkan air pada malam hari dari penampung • Menurunkan ketinggian air pada siang hari
Salinitas	
> 35 ppt	<ul style="list-style-type: none"> • Menambah air tawar • Meningkatkan frekuensi pergantian air
< 20 ppt	Menambahkan air laut
Kekeruhan	
> 24 NTU	Pergaantian/Penambahan air

Parameter	Upaya Perbaikan
< 11 NTU	Penumbuhan / inokulasi plankton (<i>fitoplankton</i>)
Kadar Oksigen	
< 4 mg/L	<ul style="list-style-type: none"> • Pergantian air • Menambahkan alat untuk menambahkan oksigen
pH	
> 8,3	<ul style="list-style-type: none"> • Menambahkan molase, fermentasi • Pergantian air
< 7,6	Pengaplikasian pemberian kapur

2.2. Udang Vannamei

Udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) adalah spesies udang laut dari famili Penaeidae yang banyak dibudidayakan karena pertumbuhannya cepat, tingkat kelangsungan hidup tinggi, dan mampu beradaptasi pada berbagai kondisi lingkungan. Spesies ini berasal dari perairan Pasifik Timur (Amerika Tengah dan Selatan), namun kini menjadi komoditas utama budidaya udang di Indonesia. Usaha budidaya udang mempunyai prospek yang potensial untuk dikembangkan sebagai salah satu usaha bidang sub sector perikanan. Peningkatan produksi udang memberikan kontribusi signifikan terhadap perolehan devisa dari sektor ekspor nonmigas. Hal ini terjadi karena udang telah menjadi salah satu komoditas unggulan yang mendominasi pasar internasional. Dalam konteks tersebut, Indonesia masih menempati posisi ketiga sebagai negara pengekspor udang terbesar di dunia, setelah Thailand dan India [6].



Gambar 2.1 Udang (*Litopenaeus vannamei*).

Tabel 2.3 Taksonomi Udang (*Litopenaeus vannamei*).

Kingdom	<i>Animalia</i>
Fillum	<i>Arthropoda</i>
Kelas	<i>Crustacea</i>
Sub Kelas	<i>Malacostraca</i>
Ordo	<i>Decaphoda</i>
Famili	<i>Penaeidae</i>
Genus	<i>Penaeus</i>
Spesies	<i>Litopenaeus vannamei Boone</i>

2.3. Parameter Kualitas Air Tambak Udang

Adapun beberapa aspek kelayakan yang harus dijaga dalam budidaya tambak udang adalah sebagai berikut :

a. Suhu

Suhu air memiliki peran penting dalam memengaruhi berbagai proses di perairan, baik secara biologis, fisik, maupun kimia. Peningkatan suhu yang masih berada dalam batas toleransi organisme umumnya akan diikuti oleh meningkatnya laju metabolisme serta aktivitas fotosintesis pakan alami

seperti fitoplankton. Selain itu, suhu juga berpengaruh terhadap kelangsungan hidup, pertumbuhan morfologi, reproduksi, perilaku, proses pergantian kulit (*molting*), serta metabolisme udang. Tingkat pengaruh suhu tersebut bergantung pada batas toleransi organisme dan seberapa cepat perubahan suhu terjadi. Di sisi lain, kenaikan suhu air juga dapat menurunkan tingkat kelarutan oksigen di dalamnya. Suhu yang ideal untuk budidaya udang di tambak berkisar antara 26–30°C. Namun demikian, perubahan suhu yang terjadi secara tiba-tiba, meskipun masih dalam rentang normal—misalnya sekitar $\pm 2^\circ\text{C}$ atau lebih—dapat menyebabkan stres pada udang dan berpotensi menimbulkan dampak yang fatal.

b. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) air mencerminkan konsentrasi ion hidrogen yang terdapat dalam perairan. Nilai pH berperan dalam memengaruhi proses serta laju reaksi kimia di dalam media air, termasuk reaksi biokimia yang berlangsung dalam tubuh udang. Selain itu, pH juga menentukan tingkat toksisitas suatu senyawa, serta berpengaruh terhadap kelangsungan hidup dan pertumbuhan udang. Setiap organisme memiliki batas toleransi yang berbeda terhadap perubahan pH. Untuk budidaya udang, kisaran pH yang masih mendukung pertumbuhan berada pada rentang 6,5 hingga 9, dengan kondisi optimal antara 6,5 hingga 8,5. Nilai pH yang terlalu rendah (<4) maupun terlalu tinggi (>11) dapat menyebabkan kematian organisme. Berdasarkan hasil pengukuran di tambak, nilai pH berkisar antara 7,9 hingga 9,1, yang masih tergolong sesuai untuk kegiatan budidaya.

c. Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen terlarut memiliki peran yang sangat penting dalam kegiatan budidaya. Sumber utama oksigen di perairan tambak berasal dari proses fotosintesis serta difusi udara ke dalam air. Oksigen ini dibutuhkan untuk mendukung proses respirasi berbagai organisme akuatik, termasuk udang. Ketersediaan oksigen terlarut menjadi faktor penentu bagi kelangsungan hidup udang, di mana kadar oksigen yang rendah dapat mengganggu fungsi

biologis, memperlambat pertumbuhan, hingga menyebabkan kematian. Selain berfungsi untuk pernapasan, oksigen juga berperan dalam proses oksidasi bahan organik yang terdapat di dasar tambak menjadi senyawa anorganik yang lebih bermanfaat. Kebutuhan oksigen untuk respirasi udang sendiri dipengaruhi oleh ukuran tubuh, suhu lingkungan, serta tingkat aktivitasnya.

d. Salinitas

Salinitas merupakan ukuran jumlah total ion terlarut dalam air. Komposisi air laut relatif stabil karena didominasi oleh ion-ion utama seperti klorida, karbonat, bikarbonat, sulfat, magnesium, natrium, dan kalsium. Nilai salinitas berpengaruh terhadap tekanan osmotik air, di mana semakin tinggi salinitas maka semakin besar pula tekanan osmotiknya. Udang termasuk organisme euryhaline yang mampu beradaptasi pada berbagai tingkat salinitas, bahkan hingga kondisi air tawar. Namun, kisaran salinitas yang optimal untuk budidaya di tambak umumnya berada pada rentang 15–25 ppt. Salinitas yang terlalu tinggi dapat mengganggu proses pergantian kulit (moulting) pada udang.

e. Alkalinitas

Alkalinitas merupakan kemampuan air dalam menetralkan asam. Dalam perairan, nilai alkalinitas terutama dipengaruhi oleh keberadaan ion bikarbonat, serta sebagian kecil oleh karbonat dan hidroksida. Kondisi alkalinitas yang rendah pada air tambak dapat berdampak kurang baik terhadap pertumbuhan udang. Hal ini berkaitan dengan peran alkalinitas dalam ketersediaan nutrisi bagi fitoplankton sebagai sumber pakan alami. Peningkatan alkalinitas dapat memicu pelepasan unsur fosfor serta menambah ketersediaan karbon yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis fitoplankton.

f. Karbondioksida CO₂

Karbondioksida terbentuk sebagai hasil dari proses penguraian dan pembusukan bahan organik, serta aktivitas respirasi organisme di perairan. Semakin tinggi tingkat dekomposisi bahan organik, maka konsentrasi karbon dioksida di tambak juga akan meningkat. Gas ini memiliki peran penting karena menjadi salah satu komponen dasar dalam pembentukan senyawa organik melalui proses fotosintesis oleh tumbuhan berklorofil. Namun demikian, kadar CO₂ yang terlalu tinggi dapat berdampak negatif terhadap kehidupan udang, seperti mengganggu pertumbuhan hingga berpotensi menimbulkan efek toksik.

g. Ammonia

Amonia merupakan senyawa yang dapat bersifat toksik bagi udang apabila terdapat dalam konsentrasi tertentu di dalam air. Keberadaan amonia di tambak umumnya berasal dari proses penguraian senyawa nitrogen organik oleh aktivitas bakteri. Sumber utamanya meliputi sisa pakan, kotoran udang, serta dekomposisi bahan organik yang berlangsung melalui proses nitrifikasi. Kandungan amonia sekitar 0,2 ppm dapat menghambat pertumbuhan udang, sedangkan pada konsentrasi mencapai 1,29 ppm berpotensi menyebabkan kematian [7].

2.4. *Cyber Physical System*

Cyber Physical System (CPS) merupakan konsep dasar dalam pengembangan sistem cerdas yang mengintegrasikan proses fisik dengan komputasi. *Embedded system*, *Internet of Things (IoT)*, dan *Cyber-Physical System (CPS)* memiliki keterkaitan yang erat karena ketiganya sama-sama mengintegrasikan komputasi dengan dunia fisik, namun memiliki ruang lingkup dan kompleksitas yang berbeda. *Embedded system* merupakan sistem komputasi yang tertanam pada perangkat tertentu dan dirancang untuk menjalankan fungsi spesifik secara *real-time* dengan sumber daya terbatas. IoT berkembang dari konsep *embedded system* dengan menambahkan kemampuan konektivitas jaringan, sehingga berbagai perangkat dapat saling

berkomunikasi dan bertukar data melalui internet. Sementara itu, CPS merupakan konsep yang lebih luas dan terintegrasi, di mana sistem komputasi tidak hanya mengontrol perangkat fisik, tetapi juga berinteraksi secara dinamis dengan lingkungan melalui sensor, aktuator, serta mekanisme umpan balik (*feedback loop*) yang kontinu [8].

CPS juga dapat dipahami sebagai sistem otomatis yang menghubungkan operasi di dunia nyata dengan infrastruktur komputasi dan komunikasi. Kemunculannya sejalan dengan berkembangnya Internet of Things and Services yang menjadi salah satu indikator utama revolusi industri keempat. Pesatnya perkembangan teknologi turut meningkatkan ketersediaan dan keterjangkauan sensor, sistem akuisisi data, serta jaringan komputer. Selain itu, tuntutan persaingan industri mendorong berbagai sektor untuk mengadopsi teknologi yang lebih maju. Dampaknya, penggunaan sensor dan mesin yang saling terhubung menghasilkan data dalam jumlah besar secara terus-menerus, yang dikenal sebagai Big Data. Dalam kondisi tersebut, *CPS* berperan penting dalam mengelola data tersebut sekaligus meningkatkan interkoneksi antar mesin, sehingga mampu mewujudkan sistem yang lebih cerdas, adaptif, dan andal [9].

Penggunaan *Cyber-Physical Sistem (CPS)* pada alat monitoring kualitas air tambak udang vaname ini adalah sebagai berikut :

1. *Physical* (Fisik): Air tambak udang dengan parameter kimianya (pH, Suhu, Kekeruhan).
2. *Cyber* (Siber): Algoritma pada MAPPI32 yang membaca data, melakukan kalibrasi (konversi tegangan ke nilai satuan), dan memproses logika (menentukan status "Baik" atau "Tidak Baik").
3. Interaksi: Perubahan fisika di air ditangkap oleh sensor, diolah oleh siber, dan hasilnya mempengaruhi keputusan fisik (misalnya petani memutuskan mengganti air berdasarkan data siber).

CPS biasanya digunakan pada penelitian - penelitian yang sifatnya monitoring karena bisa dikendalikan jarak jauh, sistem monitoring pada *CPS* terbagi

menjadi dua bagian yaitu web dan *mobile*. Pada web sendiri beberapa peneliti menggunakan *Blynk* sebagai media yang digunakan, sedangkan pada *mobile* peneliti memiliki dua media, yang pertama membuat aplikasi sendiri dan yang kedua menggunakan aplikasi telegram sebagai sistem yang digunakan untuk menampilkan data yang sedang di monitoring, pada penelitian ini peneliti akan menggunakan telegram sebagai sistem yang digunakan untuk menampilkan data kualitas air tambak udang.

2.5. Sensor

Sensor merupakan perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan atau sinyal yang berasal dari berbagai bentuk energi, seperti energi listrik, fisik, kimia, biologis, maupun mekanik. Secara umum, sensor digunakan untuk mengubah besaran fisik menjadi sinyal listrik sehingga dapat diproses dan dianalisis oleh rangkaian elektronik. Hampir seluruh perangkat elektronik modern memanfaatkan sensor sebagai komponen penting di dalamnya.

Sensor juga merupakan bagian dari transduser yang berperan dalam melakukan proses penginderaan, yaitu menangkap perubahan energi dari lingkungan luar yang kemudian diteruskan ke bagian konverter untuk diubah menjadi sinyal listrik. Dalam sistem kendali dan robotika, sensor memiliki peran yang menyerupai indera manusia—seperti penglihatan, pendengaran, penciuman, dan perasa—yang selanjutnya akan diproses oleh kontroler sebagai pusat pengolah untuk menghasilkan respons yang sesuai [10].

Beberapa jenis sensor yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

2.5.1. Sensor suhu (DS18B20)

Sensor suhu merupakan komponen yang berfungsi untuk mengonversi besaran temperatur menjadi sinyal listrik sehingga perubahan suhu pada suatu objek dapat dideteksi. Sensor ini mengukur energi panas atau dingin yang dihasilkan oleh objek, sehingga memungkinkan pemantauan perubahan suhu

dalam bentuk keluaran analog maupun digital. Selain itu, sensor suhu yang digunakan bekerja dengan protokol komunikasi satu kabel (*one wire*) serta memiliki rentang pengukuran dari -10 hingga +85 derajat Celsius [11].



Gambar 2.2 Sensor suhu (sumber ardutech.com)

2.5.2. Sensor pH

Sensor pH atau SKU SEN0161 merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman maupun kebasaan suatu larutan. Prinsip kerjanya didasarkan pada penggunaan *Probe* berupa elektroda kaca (*glass electrode*) yang berfungsi mendeteksi konsentrasi ion H_3O^+ dalam larutan. Pada bagian ujungnya terdapat lapisan kaca tipis sekitar 0,1 mm yang berbentuk bulat (*bulb*). Bagian ini terhubung dengan tabung kaca nonkonduktif atau bahan plastik yang memanjang, kemudian diisi dengan larutan HCl (0,1 mol/dm³). Di dalam larutan tersebut terdapat kawat elektroda berbahan perak yang permukaannya dilapisi senyawa AgCl (perak klorida) dalam kondisi setimbang. Keberadaan larutan HCl dengan konsentrasi yang tetap menyebabkan elektroda Ag/AgCl memiliki potensial yang stabil, sehingga memungkinkan pengukuran pH dapat dilakukan secara akurat [11].

Spesifikasi sensor pH (Gravity: Analog pH Sensor):

- ❖ Modul Power: 5.00V
- ❖ Modul Ukuran : 43 x 32mm
- ❖ *Range* pengukuran : 0 – 14pH

- ❖ Mengukur Suhu : 0-60 °C
- ❖ Akurasi: + 0.1pH (25 °C)
- ❖ Response Time: \leq IMIN
- ❖ pH Sensor dengan BNC Connector
- ❖ pH2.0 Interface (3 kaki patch)
- ❖ Gain Penyesuaian Potensiometer



Gambar 2.3 Sensor pH (sumber sensotronic.com)

2.5.3. Sensor Turbidity

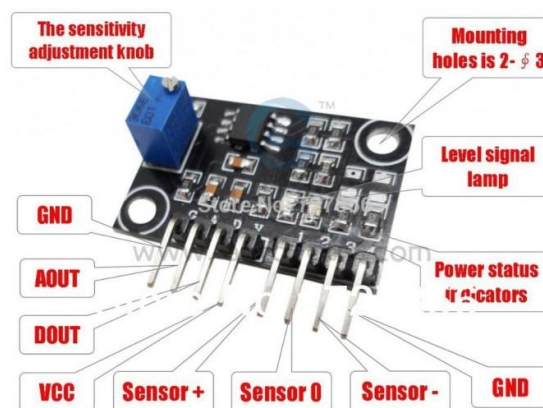
Sensor turbidity atau SKU SEN0189 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan atau kejernihan air sebagai indikator kualitasnya. Cara kerja sensor ini mirip dengan sensor proximity, yaitu memanfaatkan LED sebagai pemancar cahaya (*transmitter*) dan photodiode sebagai penerima (*receiver*). Cahaya yang dipancarkan oleh LED akan mengenai partikel dalam air, kemudian pantulan atau hamburan cahaya tersebut ditangkap oleh sensor. Sensor ini mampu mendeteksi keberadaan partikel-partikel kecil di dalam air, di mana semakin banyak partikel yang terkandung, maka tingkat kekeruhan yang terukur juga akan semakin tinggi.

Tabel 2.4 Datasheet Turbidity Sensor

Spesifikasi	Deskripsi
-------------	-----------

<i>Operating Voltage</i>	5V DC
<i>Operating Current</i>	40mA (MAX)
<i>Response Time</i>	<500ms
<i>Analog output</i>	0-4.5V

Sensor turbidity mengukur tingkat kekeruhan air menggunakan satuan NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*), yang merupakan standar dalam penilaian kekeruhan. Metode pengukurannya didasarkan pada prinsip nephelometri dan turbidimetri, yaitu dengan memancarkan cahaya melalui sampel cairan yang ditempatkan dalam wadah transparan. Pada metode nephelometri, umumnya digunakan sumber cahaya dengan panjang gelombang relatif pendek, sekitar 500–800 nm, yang efektif untuk mendeteksi partikel berukuran sangat kecil. Dalam penelitian ini, sensor turbidity dimanfaatkan untuk memantau tingkat kekeruhan air yang digunakan, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi kualitas air secara lebih akurat [12].



Gambar 2.4 Turbidity Sensor (sumber jogjarobotika)

2.5.4. Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik merupakan perangkat yang bekerja berdasarkan prinsip pemantulan gelombang suara untuk mendeteksi keberadaan objek di depannya, dengan frekuensi kerja berada pada rentang di atas 40 kHz hingga sekitar 400 kHz. Salah satu contoh yang umum digunakan adalah sensor HC-SR04, yang berfungsi untuk mengukur jarak antara sensor dan suatu objek penghalang. Sensor ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu ultrasonic transmitter dan ultrasonic receiver. Transmitter berfungsi memancarkan

gelombang ultrasonik dengan frekuensi sekitar 40 kHz, sedangkan receiver bertugas menerima gelombang pantul yang mengenai objek. Jarak antara sensor dan objek dapat ditentukan berdasarkan waktu tempuh gelombang ultrasonik dari pemancar ke objek dan kembali ke penerima, yang nilainya sebanding dengan dua kali jarak antara sensor dan permukaan pantul [11].



Gambar 2.5 Sensor Ultrasonik (sumber electronics.blogspot.com)

2.6. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer berukuran kecil yang dirancang untuk menjalankan fungsi tertentu dalam aplikasi elektronik. Umumnya, mikrokontroler terdiri dari unit pemrosesan pusat (CPU), memori, serta berbagai periferil *input/output* yang memungkinkan interaksi dengan perangkat luar. Karena fleksibilitas dan penggunaannya yang luas, komponen ini menjadi elemen penting dalam pengembangan sistem elektronik modern. Secara lebih spesifik, mikrokontroler dapat diartikan sebagai sebuah *integrated circuit* (IC) yang mengintegrasikan CPU, memori, dan periferil *input/output* dalam satu chip. Perangkat ini dirancang untuk menjalankan tugas tertentu secara efisien dan dapat diprogram sesuai kebutuhan aplikasi. Dengan desain yang ringkas serta biaya yang relatif terjangkau, mikrokontroler banyak digunakan dalam berbagai proyek, mulai dari perangkat sederhana hingga sistem yang lebih kompleks [13].

Salah satu mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mappi32, yaitu sebuah *development board* IoT yang dikembangkan oleh KMTek (Karya Merapi Teknologi) Indonesia. Board ini telah dilengkapi dengan chip LoRa yang terintegrasi, serta dapat digunakan layaknya platform Arduino dalam pengembangan sistem. Mappi32 memanfaatkan komunikasi berbasis frekuensi radio untuk mengirimkan data, dengan rentang frekuensi operasi sekitar 920–923 MHz, yang merupakan frekuensi legal untuk teknologi *Long Range* (LoRa) di Indonesia. Agar proses komunikasi dapat berjalan dengan baik, frekuensi yang digunakan oleh Mappi32 harus sesuai dengan frekuensi pada LoRa *gateway*. Perbedaan frekuensi antara kedua perangkat tersebut akan menyebabkan data tidak dapat dikirim maupun diterima dengan baik [14].

Mappi32 menggunakan arduino IDE sebagai bahasa pemrogramannya, IDE merupakan kependekan dari *Integrated Development Environment*, atau dapat disebut juga sebagai lingkungan terintegrasi yang dapat digunakan dalam pengembangan. Arduino menggunakan bahasa pemrograman sendiri yang menyerupai bahasa C. Arduino IDE merupakan sebuah tempat penulisan program yang *opensource* dan dapat digunakan di beberapa platform mikrokontroler seperti Arduino Uno, Mappi32, Arduino Mega, NodeMCU, ESP32, dll. Arduino IDE juga menyediakan pustaka C/C++ yang dikenal sebagai *Wiring*, yang berfungsi untuk mempermudah proses pengolahan *input* dan *output* pada perangkat [15].

Datasheet dari Mikrokontroler MAPPI32 ditunjukkan di tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5 Spesifikasi Mikrokontroler Mappi32

<i>Processor</i>	ESP WROOM-32E
<i>Cores</i>	2
<i>Architecture</i>	32 bit
<i>CPU Frekuensi</i>	240 MHz
<i>Flash Memory</i>	16 MB
<i>Connectivity on Board</i>	<i>WiFi, Bluetooth, LoRa</i>

Port Input	USB Type C, Power Jack, DC JST PH 2.0 mm
Voltage (DC)	7-12 V
Operating	3.3-5 V

2.7. LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan salah satu jenis media tampilan yang memanfaatkan kristal cair sebagai komponen utama dalam menampilkan informasi. Perangkat ini mampu menampilkan teks maupun gambar (termasuk berwarna) karena terdiri dari banyak titik cahaya atau piksel, di mana setiap piksel dibentuk oleh kristal cair. Sumber cahaya pada LCD umumnya berasal dari lampu latar berwarna putih yang berada di belakang lapisan kristal cair. Kumpulan piksel yang jumlahnya sangat banyak bahkan dapat mencapai ribuan hingga jutaan akan membentuk tampilan visual yang dapat dilihat oleh pengguna.

Tabel 2.6 Datasheet LCD

Spesifikasi	Deskripsi
<i>Supply Voltage</i>	5V
<i>Interface</i>	12C to 4bits
<i>Display Type</i>	<i>Negative white on blue backlight</i>
<i>I2C Address</i>	0x38 – 0x3F

Kristal cair yang dialiri arus listrik akan mengalami perubahan orientasi akibat pengaruh polarisasi medan listrik yang terbentuk, sehingga hanya sebagian warna yang dapat diteruskan sementara warna lainnya tersaring. Dalam penerapannya, LCD sering digunakan untuk menampilkan karakter sebagai media informasi dalam proses dan kontrol pada sistem, seperti pada program robotika. Salah satu jenis LCD yang umum digunakan adalah LCD 16×2, yaitu modul tampilan yang memiliki 16 kolom dan 2 baris karakter. Modul ini banyak dipilih karena harganya relatif terjangkau dan mudah digunakan. Namun, LCD 16×2 yang dijual di pasaran umumnya masih

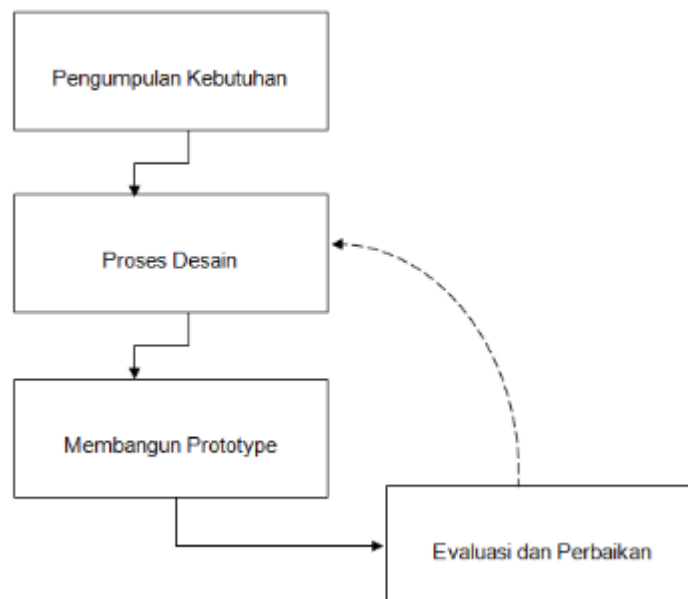
memerlukan driver tambahan agar dapat dihubungkan dan digunakan bersama sistem minimum berbasis mikrokontroler [16].



Gambar 2.6 LCD

2.8. *Prototype*

Prototyping merupakan salah satu metode dalam pengembangan perangkat lunak yang menghasilkan model awal atau versi kerja dari suatu sistem. Model ini berfungsi sebagai media perantara antara pengembang dan pengguna, sehingga keduanya dapat berinteraksi dan memberikan umpan balik selama proses pengembangan sistem informasi berlangsung. Dalam penerapannya, metode *prototyping* memiliki beberapa tahapan yang perlu dilakukan. Keberhasilan pembuatan *prototype* sangat bergantung pada kesepahaman antara pengembang dan pengguna sejak tahap awal, yaitu bahwa *prototype* dibuat untuk menggambarkan kebutuhan dasar sistem. Terdapat empat jenis utama dalam metodologi *prototyping*, yaitu *illustrative* yang berfokus pada contoh tampilan dan laporan, *simulated* yang mensimulasikan alur sistem tanpa menggunakan data nyata, *functional* yang menggambarkan sebagian fungsi sistem dengan data aktual, serta *evolutionary* yang menghasilkan model yang dapat dikembangkan menjadi bagian dari sistem operasional. Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam metode *prototyping* [17].



Gambar 2.7 Langkah - langkah *prototype*

Tahapan pengembangan perangkat *Cyber Physical System (CPS)* merupakan suatu proses yang dilakukan secara sistematis dan terstruktur, mulai dari tahap pengumpulan kebutuhan hingga proses evaluasi serta perbaikan sistem. Berdasarkan Gambar 2.7, berikut ini dijelaskan tahapan-tahapan dalam pengembangan perangkat tersebut.

1. Pengumpulan Kebutuhan: Tahap ini dilakukan melalui interaksi langsung antara pengembang dan pengguna sistem. Data diperoleh melalui wawancara dengan petani tambak udang, penyebaran survei, serta diskusi untuk menggali kebutuhan spesifik, tujuan operasional, dan harapan pengguna terhadap sistem monitoring kualitas air tambak. Seluruh informasi yang dikumpulkan kemudian dijadikan acuan dalam merancang desain awal sistem agar sesuai dengan kebutuhan di lapangan.
2. Proses Desain: Berdasarkan kebutuhan yang telah dikumpulkan, peneliti mulai menyusun rancangan arsitektur sistem serta antarmuka untuk monitoring kualitas air tambak udang. Pada tahap ini ditentukan berbagai aspek teknis, seperti pemilihan sensor yang digunakan, modul

komunikasi pada CPS, serta platform pengembangan perangkat lunak. Perancangan ini bertujuan agar sistem yang dibuat mudah dioperasikan oleh petani tambak udang serta dapat terintegrasi dengan infrastruktur yang sudah ada.

3. Membangun *Prototype*: Setelah rancangan yang dibuat oleh peneliti disetujui, tahap selanjutnya adalah pembuatan *prototype* secara fisik. Proses ini mencakup perakitan perangkat keras sesuai desain yang telah ditentukan serta integrasi dengan perangkat lunak yang telah dikembangkan. *Prototype* yang dibangun tidak harus sempurna, namun harus cukup representatif untuk diuji pada kondisi nyata, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai cara kerja sistem serta interaksinya dengan pengguna, khususnya petani tambak udang vaname.
4. Evaluasi dan Perbaikan: *Prototype* yang telah dibangun kemudian diuji oleh pengguna dalam kondisi atau skenario nyata. Pada tahap ini dilakukan evaluasi terhadap fungsi, keandalan, serta efektivitas sistem dalam melakukan pemantauan kualitas air tambak udang vaname. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, peneliti mengidentifikasi berbagai kekurangan yang terdapat pada sistem monitoring yang dikembangkan. Masukan dari pengguna, khususnya petani tambak, menjadi aspek penting dalam proses ini untuk mendukung perbaikan serta pengembangan sistem ke arah yang lebih baik.

2.9. Penelitian Terkait

Pada penelitian sebelumnya, telah dikembangkan sebuah sistem yang mampu melakukan pemantauan kualitas air secara daring. Sistem ini dirancang untuk menampilkan kondisi air melalui *smartphone* secara *real-time*. Parameter yang digunakan dalam penelitian tersebut meliputi kekeruhan, pH, dan suhu. Perangkat yang digunakan terdiri dari rangkaian catu daya sebagai sumber tegangan, sensor turbidity untuk mengukur nilai NTU kekeruhan air, sensor

suhu DS18B20 untuk mendeteksi temperatur air, serta sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman dan kebasaan air. Selain itu, digunakan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler untuk mengirimkan data sensor ke aplikasi *Blynk* yang kemudian memberikan notifikasi secara *real-time* kepada pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan pada setiap rangkaian telah sesuai dengan kebutuhan, dengan tingkat selisih *error* yang relatif kecil [12].

Penelitian lain mengembangkan sistem monitoring sekaligus kontrol pH air tambak udang vaname berbasis Telegram. Sistem ini tidak hanya memberikan informasi kualitas air, tetapi juga memungkinkan pengendalian pH secara jarak jauh melalui aplikasi. Komponen yang digunakan meliputi ESP32, *relay*, sensor ultrasonik, sensor pH, sensor turbidity, *solenoid valve*, dan *power supply*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH rata-rata pada pagi, siang, dan malam hari berturut-turut adalah 7.04, 7.15, dan 7.19. Sensor turbidity juga mampu membaca tingkat kekeruhan dengan baik dengan nilai rata-rata yang stabil. Selain itu, sistem otomatisasi pompa untuk menjaga pH tetap berada dalam batas normal berhasil berjalan dengan baik melalui aplikasi Telegram [4].

Penelitian lainnya merancang sistem monitoring kualitas air tambak udang vaname menggunakan beberapa sensor yang terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino Mega. Sensor yang digunakan meliputi sensor pH, suhu, kekeruhan, dan ultrasonik. Seluruh komponen tersebut digabungkan menjadi satu sistem monitoring yang saling terhubung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi sesuai tujuan, yaitu memantau kualitas air serta mengirimkan peringatan melalui SMS ketika parameter melebihi batas yang ditentukan. Selain itu, sensor pH membutuhkan waktu sekitar 30 menit untuk mencapai pembacaan stabil setelah terjadi perubahan kondisi air secara drastis, dengan tingkat akurasi rata-rata mencapai 99% setelah proses kalibrasi [5].

Penelitian lain mengembangkan sistem pelontar pakan ikan otomatis pada keramba jaring apung menggunakan mikrokontroler Mappi32. Komponen yang digunakan antara lain *power supply*, motor servo, LED, LCD, sensor RTC DS3231, dan sensor HC-SR04. Sistem ini mampu memberikan pakan ikan sesuai waktu yang telah ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu mengeluarkan pakan rata-rata 121,4 gram dalam 5 detik, dengan jangkauan lontaran berkisar antara 39,5 cm hingga 210,5 cm, serta bekerja pada kondisi tegangan dan arus yang stabil [14].

Penelitian berikutnya mengembangkan sistem monitoring kualitas air tambak udang berbasis Internet of Things menggunakan Arduino Uno. Sistem ini dilengkapi sensor suhu DS18B20, sensor pH SEN0161, sensor konduktivitas, RTC, SD Card, dan LCD. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi yang cukup tinggi, dengan *error* sensor suhu berkisar antara 0,14%–0,31%, sensor pH sebesar 3,05%–6,62%, dan sensor salinitas sebesar 1,95%–4,27%. Secara keseluruhan, tingkat akurasi sistem mencapai lebih dari 93% hingga 99%, tergantung parameter yang diuji [18].

Penelitian lain merancang sistem *Smart Home* berbasis IoT menggunakan NodeMCU dan aplikasi Telegram. Sistem ini bertujuan untuk mengontrol perangkat elektronik rumah seperti lampu dan kipas angin secara jarak jauh. Komponen yang digunakan meliputi *relay*, *step-down*, dan beberapa perangkat listrik rumah tangga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat berjalan dengan baik dan memberikan kemudahan dalam pengendalian perangkat rumah secara aman karena hanya pengguna dengan akses tertentu yang dapat mengontrol sistem [19].

Penelitian lainnya mengembangkan sistem peringatan dini banjir berbasis IoT di Kota Bogor. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik, sensor hujan, ESP8266, panel surya, alarm, LCD I2C, dan *timer*. Metode pengujian yang digunakan adalah *black box testing* untuk memastikan fungsi sistem berjalan sesuai kebutuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu

memberikan peringatan secara efektif ketika terjadi potensi banjir akibat curah hujan tinggi [20].

Penelitian lain mengembangkan sistem monitoring kualitas air tambak udang berbasis Arduino Uno yang terintegrasi dengan aplikasi *Blynk*. Sensor yang digunakan meliputi sensor suhu, pH, dan DO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengukuran dan menampilkan data secara *real-time* pada aplikasi *Blynk* dengan baik [21].

Penelitian selanjutnya menggunakan metode *fuzzy logic control* pada sistem monitoring dan pengendalian kualitas air tambak udang windu berbasis NI myRIO. Sistem ini memanfaatkan sensor suhu, kekeruhan, dan salinitas untuk menentukan kondisi air serta mengatur kontrol pompa secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *fuzzy* mampu memberikan kontrol yang adaptif terhadap perubahan kualitas air tambak [22].

Penelitian lainnya mengembangkan sistem pemberi pakan ikan berbasis LoRa menggunakan Mappi32 dan sensor ultrasonik HC-SR04. Sistem ini memungkinkan kontrol jarak jauh melalui aplikasi Android, baik secara manual maupun terjadwal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan LoRa sangat efektif untuk daerah dengan keterbatasan jaringan internet serta meningkatkan kemudahan operasional bagi peternak ikan [23].

Penelitian berikutnya merancang sistem hidroponik *wick system* dengan pengendalian pH berbasis IoT menggunakan metode *Rapid Application Development* (RAD). Sistem ini memungkinkan pemantauan pH dan ketinggian air secara jarak jauh. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan bobot tanaman sekitar 10 gram atau 12,5% dibandingkan metode manual [24].

Penelitian lain mengembangkan sistem akuisisi data perairan menggunakan *Unmanned Surface Vehicle* (USV) dengan sensor suhu dan pH. Data diproses menggunakan Arduino Mega dan dikirim melalui telemetri 433 MHz,

kemudian ditampilkan pada PC berbasis *LabVIEW*. Sistem ini dirancang untuk mempermudah pemantauan kondisi perairan secara lebih aman dan efisien [25].

Penelitian terakhir mengembangkan sistem monitoring tambak udang secara *real-time* berbasis *multipoint node*. Sensor yang digunakan meliputi pH, suhu, dan salinitas pada setiap node. Data dikirim secara bergantian ke *master board* dengan *delay* sekitar 1 detik, kemudian diteruskan ke *cloud Firebase* untuk ditampilkan pada aplikasi monitoring. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik dalam pengiriman dan pemantauan data secara *real-time* [26].

Tabel 2.7 Penelitian Terkait

No	Peneliti	Objek	Mikrokontroler	Sensor
1.	I. Lubis and A. B. Pulungan (2023) [12]	Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM).	NodeMCU ESP8266	Turbidity sensor, sensor suhu DS18B20, sensor pH.
2.	Abdul Khaliq, Azhar, Rusli (2022) [4]	Air Tambak udang vename.	ESP32	<i>Relay</i> , sensor ultrasonik, sensor ph, sensor turbidity, <i>solenoid valve</i> , dan <i>power supply</i> .
3.	Multazam, A. Emil Hasanuddin, Zulfajri Basri (2017) [5]	Air Tambak udang vename	Arduino	Turbidity sensor, sensor ultrasonic, sensor suhu, sensor pH.
4.	Pranoto, Didik (2024) [14]	Keramba jaring apung	MAPPI32	<i>power supply</i> , motor servo, Led, Lcd, sensor RTC DS3231, sensor HC-SR04.

No	Peneliti	Objek	Mikrokontroler	Sensor
5.	Achmad Zamzami, et all (2021) [18]	Air Tambak udang	,NodeMCU Arduino UNO	sensor suhu DS18B20, sensor PH SEN0161, sensor konduktivitas, RTC, SD Card , dan LCD.
6.	A. Hady Musyafa and Yulianti, (2023) [19]	<i>smarthome</i>	NodeMCU ESP8266	-
7.	D. Sobari, L. P. Pratama, A. A. Hapsari, and B. W. Dionova, (2023) [20]	Bendungan Katulampa	NodeMCU ESP8266	Sensor ultrasonic, sensor hujan
8.	Ahmad, Gurum ,et all (2017) [21]	Air tambak udang	ESP 8266-01	Sensor DO, Sensor pH, Sensor DS18B20, Motor Stepper, Media Plan, Arduino, Modul WiFi, DB9, Power Supply, Android.
9.	Samura, Ayu , et all (2018)[22] [22]	Air tambak udang windhu	NI myRIO	Sensor suhu LM35DZ, sensor Kekeruhan air, sensor salinitas. Pompa air DC, driver motor L298.
10.	Mutia Maulida, Nurul Fathanah Mustamin (2021) [23]	Pakan ikan keramba dan jaring apung	MAPPI32	sensor ultrasonic HCRSR04
11.	Safiroh W.P, Purma Nailu Nama, Gigih Forda	Tanaman Hidroponik	NodeMCU	Sensor pH, Sensor Ultrasonik, Valve Elektrik,

No	Peneliti	Objek	Mikrokontroler	Sensor
	Komarudin, M (2022) [24].			
12.	Putra, Yudi Eka Sulistiyanti, Sri Ratna Komarudin, Muhamad (2018) [25]	Lingkungan perairan universitas lampung	Arduino Mega 2560	sensor suhu, modul analog pH meter, telemetri, dan USV.
13.	Komarudin, Muhamad, et al[26].	Tambak udang	Arduino UNO	sensor salinitas air, sensor pH dan sensor suhu,

Penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan pada sistem monitoring kualitas air tambak udang umumnya menggunakan metode *prototyping* dengan pemantauan secara *real-time*. Parameter yang digunakan biasanya meliputi suhu, pH, dan salinitas sebagai indikator utama kualitas air. Selain itu, sebagian besar penelitian terdahulu masih menggunakan mikrokontroler Arduino UNO sebagai pusat pengendali sistem. Berbeda dengan penelitian tersebut, pada penelitian ini ditambahkan parameter lain yaitu sensor turbidity yang berfungsi untuk mengukur tingkat kekeruhan air pada tambak udang. Penelitian ini juga menggunakan mikrokontroler MAPPI32 sebagai pengganti Arduino UNO. MAPPI32 memiliki beberapa keunggulan, di antaranya frekuensi CPU yang lebih tinggi yaitu 240 MHz dibandingkan Arduino UNO yang hanya 16 MHz, serta kapasitas flash memory yang lebih besar yaitu 16 MB sedangkan Arduino UNO hanya 32 KB, sehingga penyimpanan data menjadi lebih optimal dan tidak mudah penuh. Selain itu, MAPPI32 memiliki fleksibilitas konektivitas yang lebih baik karena mendukung WiFi, Bluetooth, serta LoRa pada frekuensi 920–923 MHz, yang memungkinkan pengiriman data tetap berjalan meskipun berada di area dengan keterbatasan jaringan internet. Dari sisi sistem aplikasi, penelitian terdahulu umumnya menggunakan aplikasi khusus untuk menampilkan data hasil monitoring tambak udang. Sementara pada penelitian ini, data hasil pengukuran ditampilkan melalui aplikasi Telegram serta disimpan menggunakan Google Spreadsheet sebagai media pengelolaan dan pengarsipan data.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan pada periode September 2025 hingga Februari 2026 di Laboratorium Teknik Digital, Jurusan Teknik Elektro Terpadu, Universitas Lampung. Selain itu, pengujian juga dilakukan secara langsung di tambak udang Buyung yang berlokasi di Desa Banding, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung, dengan pelaksanaan lapangan berlangsung mulai September 2025 sampai Januari 2026

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 *Hardware / Perangkat Keras*

No.	Nama Perangkat	Spesifikasi	Deskripsi
1	Laptop HP	<i>Processor Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz 2.71 GHz, RAM 4GB, System 64-bit operating system, x64-based processor</i>	Untuk memprogram Mikrokontroler melalui <i>software</i> Arduino.
2	MAPPI32	<i>Supply Voltage : 3.3V to 5V</i>	Digunakan sebagai mikrokontroler yang berfungsi untuk menyalurkan data yang direkam

No.	Nama Perangkat	Spesifikasi	Deskripsi
		<p><i>Input Channels : 4 differential or 8 single-ended</i></p> <p><i>Programmable Gain Range : 1x to 128x</i></p> <p><i>Input Impedance : >10 MΩ</i></p> <p><i>Bandwidth : 0.1 Hz to 100 kHz (programmable)</i></p>	oleh sensor menuju aplikasi telegram.
3.	Sensor pH	<p>Modul Power: 5.00V</p> <p>Modul Ukuran : 43 x 32mm</p> <p>Range pengukuran : 0 – 14pH</p> <p>Mengukur Suhu : 0-60 °C</p> <p>Akurasi: + 0.1pH (25 °C)</p> <p>Response Time: ≤ IMIN</p>	Digunakan untuk mengukur tingkat keasaman (pH) air yang digunakan dalam budidaya tambak udang.
4.	Sensor Suhu DS18B20	DS18B20 mampu menghasilkan pembacaan suhu dengan resolusi 9 hingga 12 bit yang dapat dikonfigurasi sesuai kebutuhan. Proses pengiriman data ke dan dari sensor ini dilakukan melalui komunikasi <i>one-wire bus</i> .	Digunakan untuk mengukur suhu air yang digunakan pada budidaya udang.
5.	<i>Adaptor Power Supply (AC – DC)</i>	<i>Supply 9 VDC dan Supply 12-24 VDC</i>	Digunakan untuk mengkonversi arus listrik dari sumber AC menjadi DC untuk menjalankan alat yang dibuat.
6.	<i>Turbidity sensor</i>	<i>Operating voltage : 5V DC, Operating Current : 40mA, Response time : <500ms</i>	Digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air dengan satuan NTU

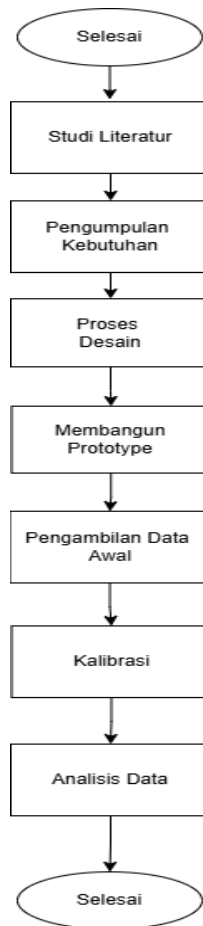
No.	Nama Perangkat	Spesifikasi	Deskripsi
			<i>(Nephelometric Turbidity Unit).</i>
7.	Sensor Ultrasonik	Pin : 4 (<i>vcc, trigger, echo, dan ground</i>) Frekuensi : 40 Hz Tegangan DC : 5V	Digunakan untuk mengukur jarak tinggi air pada tambak udang.
8.	LCD 20 x 4	Dimensi 20 x 4	Digunakan untuk menampilkan <i>Output</i> dari Mikrokontroler.
9.	<i>Jumper cable</i>	<i>Type = Male – Male, Male – Female, Female - Female</i>	Digunakan untuk menghubungkan alat dan juga berfungsi untuk menghubungkan mikrokontroler

Tabel 3.2 *Software / Perangkat Lunak*

No.	Nama Perangkat	Spesifikasi	Deskripsi
1.	<i>Arduino IDE</i>	<i>Software Official Arduino</i>	Digunakan untuk menciptakan kode program yang akan di <i>upload</i> ke dalam mikrokontroler.
2.	<i>Telegram Bot</i>	<i>Software Official Telegram</i>	Digunakan sebagai media tampilan untuk menampilkan data yang dikirimkan oleh MAPPI32..

3.3. Tahapan Penelitian

Adapun diagram alir (*flowchart*) tahapan penelitian yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah sebagai berikut:



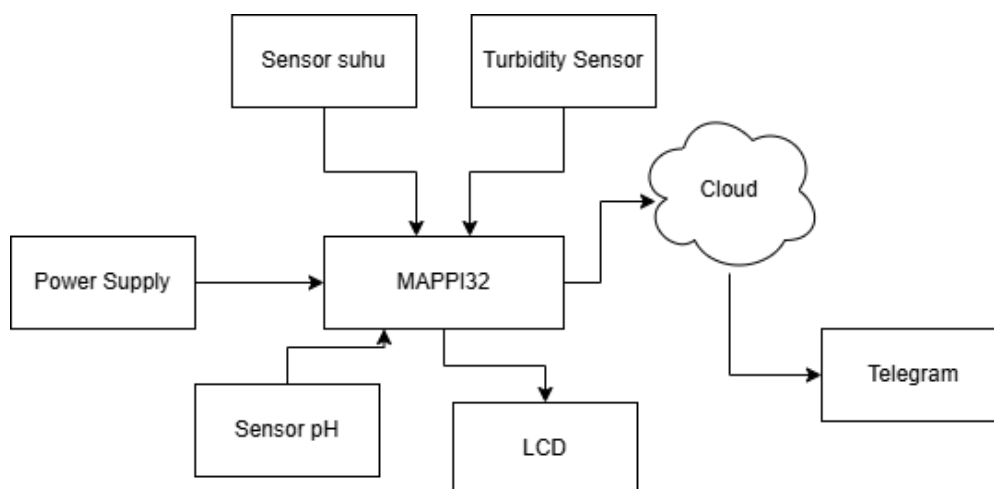
Gambar 3.1 Flowchart Tahapan Penelitian

Gambar di atas menjelaskan proses tahapan penelitian, tahap kesatu mulai, tahap selanjutnya studi literatur menjelaskan proses peneliti mengumpulkan data untuk melakukan penelitian dalam bentuk pencatatan, kajian pustakan, dan membaca, tahap selanjutnya pengumpulan kebutuhan menjelaskan setelah peneliti melakukan proses studi literatur setelah itu peneliti mengumpulkan kebutuhan yang akan digunakan untuk sistem yang akan dibuat, tahap selanjutnya proses desain yang menjelaskan proses peneliti melakukan perancangan desain dari sistem yang akan di rancang, Langkah

berikutnya yaitu membangun *prototype* yang mana setelah melakukan proses desain peneliti akan merancang alat yang akan digunakan pada sistem yang akan dibuat, tahap selanjutnya kalibrasi alat tahap ini menjelaskan tentang proses pengujian sistem apakah berjalan sesuai atau tidak, jika sistem yang dijalankan belum sesuai maka proses akan mengulang pada tahap proses desain dan jika sistem yang dijalankan sudah sesuai maka akan lanjut pada tahap selanjutnya, tahap selanjutnya analisa data tahap ini menjelaskan proses analisa data yang sudah diambil pada saat penelitian dilaksanakan, tahap selanjutnya selesai apabila sistem sudah berjalan dengan baik.

3.4. Diagram Blok Perancangan Sistem

Adapun penjelasan dari perancangan sistem dari alat yang akan dibuat ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3.2 Diagram Perancangan Sistem Monitoring

Diagram di atas menjelaskan proses kerja dari alat yang dirancang, Sistem monitoring kualitas air yang dirancang merupakan sistem terintegrasi berbasis mikrokontroler MAPPI32 (ESP32) yang berfungsi untuk mengukur dan dapat memonitoring beberapa parameter kualitas air secara *real-time*, dimana yang diukur seperti suhu, tingkat keasaman (pH), dan kekeruhan air. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, meliputi catu daya (*power supply*), sensor suhu, sensor pH, sensor kekeruhan

(*turbidity sensor*), mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data, modul LCD sebagai media tampilan lokal, serta platform Telegram sebagai media komunikasi jarak jauh antara sistem dan pengguna. Seluruh komponen bekerja secara terkoordinasi untuk menghasilkan informasi kondisi kualitas air yang akurat dan mudah diakses.

Pada tahap awal menunjukkan *power supply* yang berfungsi untuk menyediakan tegangan dan arus listrik yang dibutuhkan oleh seluruh sistem, dan peran penting dari *power supply* ini untuk menjamin sistem bekerja dengan stabil. Biasanya *power supply* juga dilengkapi dengan regulator tegangan dan proteksi arus pendek. Lalu ada MAPPI32 yang merupakan pusat kendali sistem atau otak dari sistem yang akan dijalankan, MAPPI32 ini berfungsi sebagai mikrokontroler yang bertugas untuk membaca data dari semua sensor, mengolah data, konversi dan juga kalibrasi, menampilkan data ke lcd dan mengirimkan data ke telegram via internet.

Pemilihan mikrokontroler MAPPI32 dalam perancangan sistem monitoring kualitas air tambak udang didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan praktis yang mendukung kemudahan pengembangan serta keandalan sistem. MAPPI32 merupakan modul pengembangan berbasis ESP32 yang telah dilengkapi dengan berbagai fitur pendukung sehingga lebih siap digunakan secara langsung dalam aplikasi sistem tertanam (*embedded system*). Salah satu alasan utama penggunaan MAPP I32 adalah kemudahan integrasi perangkat keras. MAPP I32 telah menyediakan regulator tegangan, konektor pin yang tersusun rapi, serta antarmuka *input/output* yang mudah diakses, sehingga proses perancangan rangkaian menjadi lebih sederhana dibandingkan menggunakan modul ESP32 mentah yang memerlukan rangkaian tambahan. Hal ini mengurangi risiko kesalahan dalam perancangan hardware serta mempercepat proses pengembangan sistem.

Selanjutnya pada diagram menunjukkan sensor suhu yang memiliki peran untuk mengukur suhu pada air tambak udang, sensor suhu ini selain untuk mengukur suhu pada air tambak, sensor ini juga menghasilkan sinyal berupa

analog (tegangan) atau *digital* (data), data yang diambil oleh sensor suhu ini selanjutnya dikirim ke MAPPI32 sebagai mikrokontroler yang digunakan. Karena pada monitoring kualitas air tambak udang suhu ini dapat mempengaruhi nilai pH, tingkat kekeruhan, dan kualitas air secara umum. Lalu ada *turbidity sensor* (sensor kekeruhan) yang berfungsi untuk mengukur tingkat kekeruhan air tambak udang (kejernihan), cara kerja dari sensor kekeruhan ini sendiri menggunakan *LED* dan *photodiode*, lalu memanfaatkan cahaya yang dipantulkan oleh partikel air semakin keruh air maka sinyal akan berubah, manfaat dari sensor ini untuk menentukan apakah air pada tambak layak untuk digunakan pada udang vaname dan mendeteksi air tersebut tercemar oleh lumpur atau partikel. *Output* dari sensor kekeruhan ini adalah tagangan analog dan datanya dikirim ke MAPPI32 sebagai mikrokontrolernya.

Selanjutnya yaitu sensor pH, sensor pH pada alat monitoring ini berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman dan kebasaan pada air. Cara kerja pada sensor pH ini yaitu menghasilkan Elektroda pH yang mengeluarkan sebuah tegangan kecil, *range* dari tegangan tersebut dari (0 – 14), lalu proses pada sensor ini berupa sinyal yang dilewatkan ke modul penguat yang dibaca dan dihitung oleh MAPPI32 sebagai otak atau mikrokontroler yang digunakan pada alat ini. Pentingnya sensor ini untuk menentukan nilai pH pada air tambak, air ideal pada tambak biasanya 6,5 – 8,5, nilai ini sangat berpengaruh pada media air tambak udang vaname karena pH yang ekstrem dapat berbahaya bagi udang dan dapat merugikan petani, contohnya apabila pH air yang buruk (terlalu asam atau terlalu basa) pada budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dapat menimbulkan berbagai dampak serius, baik terhadap kesehatan udang, pertumbuhan, hingga tingkat kelangsungan hidup.

Dampak pH rendah (asam, <7), pH yang terlalu asam dapat menyebabkan stres fisiologis (udang menjadi lemah, nafsu makan pada udang menjadi menurun, energi pada udang habis untuk adaptasi bukan untuk

pertumbuhan), gangguan pada pergantian kulit pada udang (*molting*), seperti proses *molting* terganggu, kulit tidak sempurna, resiko kematian saat *molting* meningkat, lalu bisa menyebabkan penurunan daya tahan tubuh pada udang, seperti sistem imun yang melemah dan udang mudah terserang penyakit (bakteri, virus, jamur).

Dampak pH tinggi (basa, .9), pH yang terlalu basa juga ini berbahaya untuk udang vaname, bahkan lebih sering menyebabkan kematian pada udang, contohnya keracunan amonia (NH₃), seperti pH yang tinggi dapat meningkatkan amonia beracun, menyebabkan kerusakan insang dan organ dalam, udang dapat mati mendadak. Setelah itu udang juga bisa mengalami kerusakan jaringan tubuh, contohnya insang dan kulit dapat mengalami iritasi, udang terlihat gelisah dan berenang tidak normal. Selanjutnya yaitu gangguan metabolisme yaitu proses pencernaan terganggu dan efisiensi pakan menurun (FCR memburuk).

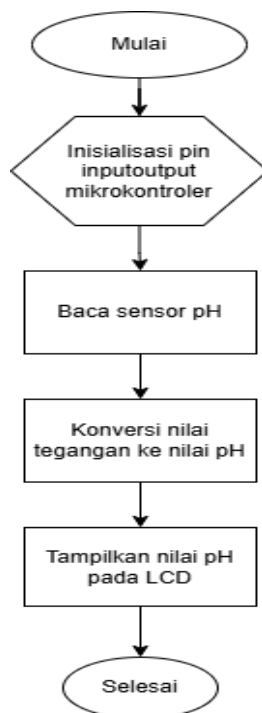
Dampak pH tidak stabil atau naik turun secara drastis, perubahan pH yang cepat (misalnya siang – malam) dapat menyebabkan stres kronis, pertumbuhan tidak seragam, udang sering naik ke permukaan, mortalitas meningkat perlahan. Sebenarnya terdapat tanda – tanda pada udang apabila pH buruk, contohnya seperti udang lemas dan tidak responsif, nafsu makan pada udang menurun, kematian meningkat terutama pada malam hari, lalu ditandai dengan ukuran udang yang tidak seragam. Dampak pada jangka panjang adalah pertumbuhan yang lambat, panen tidak optimal, tingkat kematian yang tinggi (SR turun), dan kerugian ekonomi yang meningkat. Selanjutnya LCD yang berfungsi untuk menampilkan hasil pengukuran pada alat secara *real time*, informasi yang ditampilkan pada lcd ini yaitu data yang terdeteksi pada sensor suhu, sensor kekeruhan, dan sensor pH yang sudah di baca dan juga dihitung oleh mikrokontroler MAPPI32, keunggulan dari menggunakan LCD ini yaitu user atau petani dapat melihat data langsung dilokasi dan untuk LCD ini tidak bergantung pada internet. Lalu ada telegram (*IoT/Cloud*) yang berfungsi sebagai media komunikasi

data ke *user* atau petani tambak udang secara jarak jauh. Cara kerja dari telegram ini sendiri yaitu MAPPI32 terhubung ke Wifi, data sensor dikirimkan ke Bot telegram lalu telegram meneruskan danya ke *user*.

Selanjutnya *user* yang merupakan petani tambak udang vaname , pada diagram di atas *user* sebagai penerima informasi, *user* dapat melihat data kualitas air di telegram, menerima notifikasi otomatis, dan memantau tanpa harus datang ke tambak udang. Alur kerja sistem ini yaitu *Power supply* menyalakan sistem, MAPPI32 aktif dan menginisialisasi sensor, selanjutnya Sensor suhu, pH, dan turbidity akan mengukur kondisi air tambak udang vaname lalu data sensor dikirim ke MAPPI32, selanjutnya MAPPI32 akan mengolah data, MAPPI32 menampilkan hasil di LCD, MAPPI32 mengirim data ke Telegram dan *user* menerima informasi melalui Telegram secara *real-time*.

3.5. Flowchart Sensor pH

Berikut ini merupakan penjelasan tentang flowchart dari sensor Turbidity yang akan digunakan dalam penelitian monitoring kualitas air tambak udang vaname.



Gambar 3.3 Flowchart Sensor pH

Flowchart sensor pH di atas merupakan alur kerja sensor pH pada alat monitoring kualitas air tambak udang yang dikendalikan oleh mikrokontroler MAPPI32. Proses dari *flowchart* di atas diawali pada tahap mulai, yang menandakan bahwa sistem monitoring diaktifkan dan seluruh komponen berada dalam kondisi awal untuk menjalankan proses pengukuran. Setelah sistemnya aktif mikrokontroler melakukan inisialisasi pin *input* dan *output* sensor tersebut. Tahap ini bertujuan untuk mengatur pin yang terhubung dengan sensor pH sebagai *input* serta pin yang terhubung dengan perangkat keluaran seperti LCD sebagai *output* sehingga proses komunikasi data dapat berjalan dengan baik.

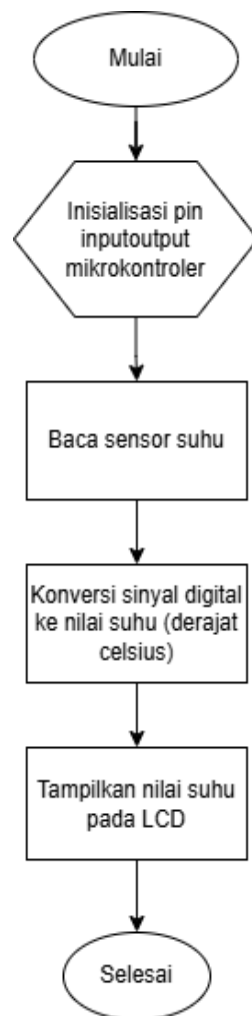
Setelah itu sistem memasuki tahap pembacaan sensor pH. Pada proses ini sensor pH akan mendeteksi tingkat keasaman atau kebasaan air kolam tambak udang vaname. Hasil pengukuran sensor tersebut berupa sinyal tegangan analog yang nilainya bergantung pada kondisi pH air. Sinyal dari tegangan tersebut belum dapat langsung ditampilkan karena diperlukan proses pengolahan data terlebih dahulu. Oleh karena itu mikrokontroler melakukan

konversi nilai tegangan ke nilai pH menggunakan persamaan atau metode kalibrasi tertentu agar nilai yang diperoleh sesuai dengan skala pH yang sebenarnya.

Selanjutnya setelah proses konversi selesai, nilai pH yang telah diperoleh kemudian ditampilkan pada layar LCD. Penampilan nilai pH ini memungkinkan pengguna atau petambak untuk memantau kondisi kualitas air secara *real-time*, sehingga dapat dilakukan tindakan yang tepat apabila nilai pH berada di luar batas normal yang dibutuhkan untuk pertumbuhan udang. Setelah seluruh proses tersebut selesai dijalankan, alur berakhir pada tahap selesai, yang menandakan satu siklus pengukuran sensor pH telah berhasil dilakukan dan sistem siap untuk mengulangi proses pengukuran secara berkala sesuai kebutuhan monitoring.

3.6. *Flowchart* Sensor Suhu

Berikut ini merupakan penjelasan tentang flowchart dari sensor suhu yang akan digunakan dalam penelitian monitoring kualitas air tambak udang vaname.



Gambar 3.4 Flowchart Sensor Suhu

Flowchart pada gambar di atas menunjukkan alur kerja dari sensor suhu pada alat monitoring kualitas air tambak udang yang dikendalikan oleh mikrokontroler MAPP132. Proses ini dimulai pada tahap mulai yang menandakan bahwa sistem monitoring diaktifkan dan mikrokontroler berada dalam kondisi siap untuk menjalankan program pengukuran. Setelah sistemnya aktif maka dilakukan inisialisasi pin *input* dan *output* mikrokontroler untuk mengatur pin yang terhubung dengan sensor suhu sebagai *input* serta pin yang terhubung dengan LCD sebagai *output* sehingga proses pembacaan dan penampilan data dapat berjalan dengan baik.

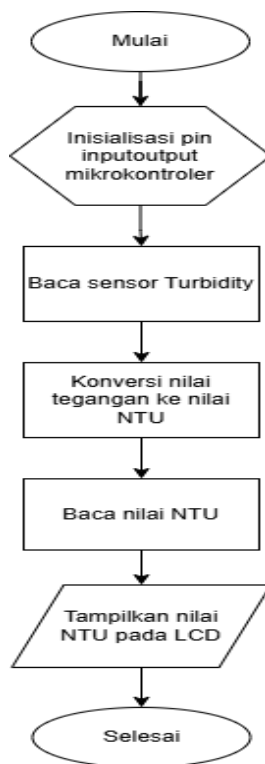
Selanjutnya sistem akan melakukan pembacaan pada sensor suhu, dimana sensor tersebut akan mendeteksi suhu air tambak udang. Data yang dihasilkan

oleh sensor suhu ini berupa sinyal digital atau sinyal analog yang kemudian diproses oleh mikrokontroler MAPPI32. Selanjutnya tahap konversi sinyal digital ke nilai suhu dalam satuan derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$), selanjutnya data hasil pembacaan sensor akan diolah menggunakan rumus atau karakteristik sensor yang digunakan sehingga akan diperoleh nilai suhu yang sesuai dengan kondisi air tambak udang vaname sebenarnya.

Selanjutnya setelah nilai suhu diperoleh, sistem akan melanjutkan ke tahap menampilkan nilai suhu pada LCD. Data dari nilai suhu ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi suhu air pada tambak udang secara *real-time*, karena sangat penting untuk menjaga suhu atau kestabilan lingkungan tambak udang agar tetap berada pada rentang suhu yang optimal. Selanjutnya setelah seluruh proses ini selesai dijalankan, alur terakhir yaitu tahap selesai yang menandakan satu siklus pembacaan sensor suhu telah berhasil dilakukan dan sistem siap untuk mengulangi proses pengukuran secara berkala sesuai dengan kebutuhan monitoring kualitas air.

3.7. *Flowchart* Turbidity Sensor

Berikut ini merupakan penjelasan tentang flowchart dari sensor Turbidity yang akan digunakan dalam penelitian monitoring kualitas air tambak udang vaname.



Gambar 3.5 Flowchart Turbidity Sensor

Flowchart pada gambar di atas menggambarkan alur kerja sistem dalam proses pembacaan dan pengolahan data dari sensor turbidity hingga hasilnya ditampilkan pada LCD. *Flowchart* ini dimulai dari tahap inisialisasi sistem hingga proses penampilan nilai kekeruhan air dalam satuan NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). Tahap pertama pada *flowchart* adalah inisialisasi pin *input* dan *output* mikrokontroler. Pada tahap ini, mikrokontroler melakukan pengaturan awal terhadap pin-pin yang digunakan, pin *input* yang digunakan untuk menerima data analog dari sensor turbidity, sedangkan pin *output* digunakan untuk mengirimkan data ke perangkat keluaran seperti LCD dan juga mengirimkan data ke mikrokontroler yang nantinya akan dikirimkan ke telegram agar bisa dimonitoring jarak jauh oleh *user*. Inisialisasi ini bertujuan agar seluruh perangkat keras dapat berfungsi dengan benar sebelum proses pembacaan data dimulai.

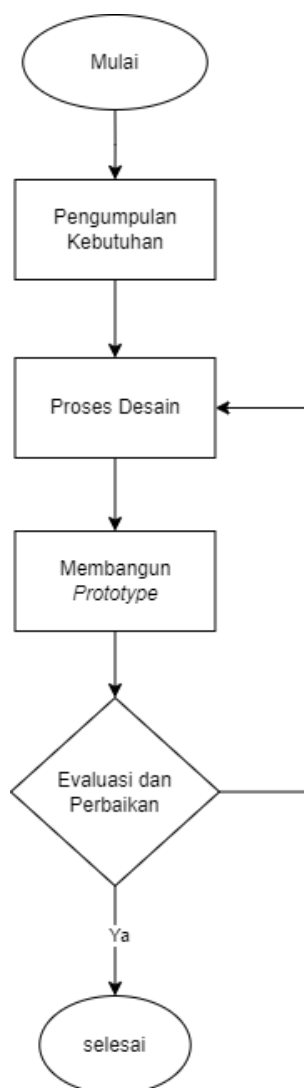
Setelah proses inisialisasi selesai, selanjutnya sistem masuk ke tahap pembacaan sensor turbidity. Sensor turbidity sendiri akan mendeteksi tingkat kekeruhan air berdasarkan intensitas cahaya yang diterima oleh sensor. Hasil

dari pembacaan sensor tersebut merupakan nilai tegangan analog yang kemudian dikirimkan ke mikrokontroler. Tahap selanjutnya yaitu konversi nilai tegangan menjadi nilai NTU. Pada tahapan ini mikrokontroler akan mengolah data tegangan yang diterima dari sensor dengan menggunakan rumus atau persamaan kalibrasi tertentu. Pada proses konversi ini diperlukan agar nilai yang diperoleh dapat merepresentasikan tingkat kekeruhan air dalam satuan NTU yang lebih mudah dipahami dan dianalisis.

Setelah proses dari konversi ini selesai, sistem kemudian akan membaca dan memproses nilai NTU yang telah diperoleh dari ses. Nilai ini selanjutnya siap untuk ditampilkan atau digunakan pada proses lanjutan, seperti pemantauan kualitas air atau pengambilan keputusan. Tahap terakhir adalah menampilkan nilai NTU pada LCD. Mikrokontroler mengirimkan data NTU ke LCD sehingga pengguna dapat melihat hasil pengukuran kekeruhan air secara langsung dan *real-time*. Setelah nilai ditampilkan, alur program mencapai kondisi selesai, yang menandakan satu siklus pembacaan dan penampilan data telah berhasil dilakukan.

3.8. Metode *Prototype*

Metode *Prototype* ini menjelaskan tentang langkah – langkah yang akan dilakukan untuk melakukan penelitian, untuk langkah – langkahnya akan dijelaskan menggunakan *Flowchart* berikut.



Gambar 3.6 Flowchart Metode *Prototype*

Flowchart di atas menjelaskan prosedur pengerjaan penelitian menggunakan metode *Prototype*, dimulai dengan pengumpulan kebutuhan yang terdiri dari studi literatur yang bertujuan untuk mencari referensi mengenai alat yang akan dibuat, setelah mendapatkan referensi dari studi literatur tersebut maka proses selanjutnya adalah menentukan spesifikasi dari alat yang akan dibuat, selanjutnya yaitu proses desain alat yaitu menentukan desain dari alat yang akan dibuat, setelah menentukan desain alat yang akan dibuat maka proses selanjutnya yaitu membangun *prototype* yaitu proses pembuatan alat, Setelah alat tersebut dibuat maka proses selanjutnya yaitu pengujian terhadap alat, apabila alat tidak sesuai dengan metode yang digunakan maka akan dilakukan perbaikan terhadap alat, apabila masih tidak sesuai juga maka proses akan

diulang dengan menentukan desain alat kembali dan pembuatan alat sampai alat yang dibuat sudah sesuai dengan yang diinginkan, apabila alat sudah sesuai maka akan proses dari metode yang digunakan telah berhasil.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Telah berhasil dikembangkan sistem untuk monitoring kualitas air pada tambak udang dengan menggunakan sensor pH, sensor suhu, dan sensor kekeruhan dibuktikan dengan diperoleh nilai rata-rata selisih sebesar 0,132 untuk sensor pH dan dengan rata-rata selisih sebesar 0,81 NTU untuk sensor turbidity
2. Sistem monitoring telah diintegrasikan dengan telegram yang manadata hasil pengukuran berhasil dikirim ke telegram dengan perintah /read untuk melihat kondisi pH, suhu, dan kekeruhan dan /tambak untuk mengetahui apakah air tersebut baik, kurang baik dan tidak baik bagi tambak.

5.2. Saran

1. Pengembangan sistem dapat dilakukan pada bagian catu daya dengan memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi alternatif, sehingga alat dapat bekerja secara mandiri tanpa ketergantungan pada sumber listrik konvensional serta lebih praktis digunakan di lapangan.
2. Pengembangan dapat dilakukan pada bagian antarmuka tampilan dengan mengganti LCD menjadi LED, sehingga perangkat menjadi lebih sederhana, hemat ruang, dan memiliki bentuk yang lebih kompak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Irwanto, H. Novrianda, and D. Wasi, “Strategi Pemasaran Udang Vannamei Pada Tambak Udang Pt. Cendana Prioritas Lestari Kabupaten Bengkulu Tengah,” *EKOMBIS Rev. J. Ilm. Ekon. dan Bisnis*, vol. 6, no. 1, pp. 93–105, 2018, doi: 10.37676/ekombis.v6i1.443.
- [2] M. Kualitas, A. I. R. Tambak, U. Vaname, and I. O. F. Things, “Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Vaname Berbasis *Internet Of Things*,” vol. 8, no. 14, pp. 116–128, 2023.
- [3] B. Senggagau, I. Effendi, B. Pantjara, S. Saputra, and M. Abduh, “Studi Kelayakan Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Media Air Tawar di Bandar Lampung,” *J. Salamata*, vol. 5, no. 2, p. 60, 2023, doi: 10.15578/salamata.v5i2.13608.
- [4] A. Khaliq, R. Bangun Monitoring dan Kontrol, and P. Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe, “Rancang Bangun Monitoring Dan Kontrol pH Air Tambak Udang Vaname Menggunakan Telegram,” vol. 06, no. 02, 2022, [Online]. Available: www.TheEngineeringProjects.com
- [5] A. E. Multazam and Z. B. Hasanuddin, “Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Vaname,” *J. IT Media Inf. STMIK Handayani Makassar*, vol. 8, no. 2, pp. 118–125, 2017, [Online]. Available: <https://lppm-stmikhandayani.ac.id/index.php/jti/article/view/30>
- [6] F. A. Review, “Potensi Usaha Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Sistem Intensif dan Konvensional dalam Tinjauan Analisis Finansial,” vol. 13, no. 1, pp. 71–80, 2022.
- [7] Suwarsih, Marsoedi, N. Harahab, and M. Mahmudi, “Kondisi Kualitas Air Pada Budidaya Udang Di Tambak Wilayah Pesisir Kecamatan Palang Kabupaten Tuban,” *Pros. Semin. Nas. Kelaut. 2016*, vol. 27, pp. 138–143, 2016.
- [8] E. A. Lee and S. A. Seshia, *Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach*, 2nd ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2017.
- [9] F. E. Tiar Sirait, “Dampak Revolusi Industri 4.0 pada Industri Teknologi Komunikasi di Indonesia: Peluang dan Tantangan,” *J. Penelit. dan Pengemb. Sains dan Hum.*, vol. 6, no. 1, pp. 132–139, 2022, doi: 10.23887/jppsh.v6i1.28153.
- [10] V. Rahmadhani and Widya Arum, “Literature Review Internet of Think (Iot): Sensor, Konektifitas Dan Qr Code,” *J. Manaj. Pendidik.*

- Dan Ilmu Sos.*, vol. 3, no. 2, pp. 573–582, 2022, doi: 10.38035/jmpis.v3i2.1120.
- [11] S. Anwar and A. Abdurrohman, “Pemanfaatan Teknologi Internet of Things Untuk Monitoring Tambak Udang Vaname Berbasis Smartphone Android Menggunakan Nodemcu Wemos D1 Mini,” *Infotronik J. Teknol. Inf. dan Elektron.*, vol. 5, no. 2, p. 77, 2020, doi: 10.32897/infotronik.2020.5.2.484.
- [12] I. Lubis and A. B. Pulungan, “Rancang Bangun Alat Monitoring Kualitas Air Berbasis Online,” *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 462–472, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.398.
- [13] R. O. Y. H. Perangin-angin, “Mengenal Mikrokontroler : Komponen Kunci dalam Pengembangan Proyek Elektronik,” *Circ. Arch.*, vol. Vol. 1 No., no. 1, pp. 1–6, 2024, [Online]. Available: <http://circle-archive.com/index.php/carc/article/view/329>
- [14] D. Pranoto, “Rancang Bangun Sistem Pelontar Pakan Ikan Otomatis Pada Keramba Jaring Apung Menggunakan Mikrokontroler Mappi32,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3785.
- [15] U. Mahanin Tyas, A. Apri Buckhari, P. Studi Pendidikan Teknologi Informasi, and P. Studi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, “Implementasi Aplikasi Arduino Ide Pada Mata Kuliah Sistem Digital,” *Tek. J. Pendidik. Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2023.
- [16] M. Syarif, K. Ardiyanto, and R. M. Akbar, “*Prototype* Monitoring Level Ketinggian Air Pada Bendungan Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Internet of Things (IoT),” vol. 2, no. 3, pp. 540–547, 2024.
- [17] D. Purnomo, “Model Prototyping Pada Pengembangan Sistem Informasi,” *J I M P - J. Inform. Merdeka Pasuruan*, vol. 2, no. 2, pp. 54–61, 2017, doi: 10.37438/jimp.v2i2.67.
- [18] A. Zamzami, O. Fransisco, I. Irwan, and M. I. Nugraha, “Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Berbasis Internet of Things (IoT),” *Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.*, pp. 1–7, 2021.
- [19] A. Hady Musyafa and Yulianti, “Perancangan Smart Home Dengan Konsep Internet Of Things (Iot) Menggunakan NodeMCU ESP8266 Via Telegram Bot,” *J. Ilmu Komput. dan Pendidik.*, vol. 1, no. 6, pp. 1470–1477, 2023.
- [20] D. Sobari, L. P. Pratama, A. A. Hapsari, and B. W. Dionova, “Rancang Alat Peringatan Bahaya Banjir dengan Sistem IoT di Katu Lampa Kota Bogor Jawa Barat”.
- [21] G. Ahmad, P. Mutiara, A. Syafira, A. Surtono, and A. Supriyanto, “Aplikasi IoT Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Menggunakan Aplikasi *Blynk* Berbasis Arduino Uno,” *J. Teor. dan*

- Apl. Fis.*, vol. 05, no. 02, pp. 1–8, 2017.
- [22] A. Samura, W. Kurniawan, and G. E. Setyawan, “Sistem Kontrol dan Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Windu Dengan Metode Fuzzy Logic Control Menggunakan Mikrokontroler NI myRIO,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 9, pp. 2644–2653, 2018, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [23] N. F. M. Mutia Maulida, “Pengembangan Sistem Pakan Budidaya Ikan Keramba Dan Jaring Apung Dengan Pemanfaatan Sensor Ultrasonik Hcsr04 Dan,” *INFOTECH J.*, pp. 101–105, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.unma.ac.id/index.php/infotech/article/view/3405%0Ahttps://ejournal.unma.ac.id/index.php/infotech/article/download/3405/2143>
- [24] P. N. Safiroh W.P, G. F. Nama, and M. Komarudin, “Sistem Pengendalian Kadar PH dan Penyiraman Tanaman Hidroponik Model Wick System,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 10, no. 1, 2022, doi: 10.23960/jitet.v10i1.2260.
- [25] Y. E. Putra, S. R. Sulistiyanti, and M. Komarudin, “Sistem Akuisisi Data Pemantauan Suhu dan Kadar Keasaman (pH) Lingkungan Perairan dengan Menggunakan Unmanned Surface Vehicle,” *Electrician*, vol. 12, no. 3, p. 84, 2018, doi: 10.23960/elc.v12n3.2090.
- [26] M. Komarudin, H. D. Septama, T. Yulianti, and M. A. Wicaksono, “Rekayasa E-Aquaculture untuk Pemantauan Tambak Udang secara Realtime dengan Model Multipoint Node,” *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 2, pp. 395–402, 2021, doi: 10.25126/jtiik.2021824142.