

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Kualitas air merupakan salah satu faktor yang perlu dijaga dalam kegiatan budidaya ikan karena berhubungan dengan kondisi lingkungan tempat ikan tumbuh dan berkembang. Air yang tidak sesuai dengan kebutuhan ikan dapat mengganggu pertumbuhan dan kesehatan ikan serta meningkatkan risiko penyakit dan kematian. Oleh karena itu, kondisi air perlu dipantau dan dikelola selama proses budidaya [1].

Dalam pelaksanaannya, kondisi kualitas air dapat berubah selama proses pemeliharaan, sedangkan pemantauan secara manual tidak selalu dapat dilakukan secara terus-menerus. Kondisi ini terutama menjadi kendala ketika pembudidaya tidak berada di lokasi karena perubahan kualitas air tidak dapat segera diketahui dan ditindaklanjuti [2]. Permasalahan tersebut tidak hanya berkaitan dengan kegiatan pengukuran, tetapi juga dengan bagaimana informasi hasil pengukuran digunakan untuk menentukan tindakan yang sesuai.

Permasalahan menjadi lebih kompleks ketika sistem digunakan pada beberapa jenis budidaya dengan karakteristik yang berbeda. Pada rancangan ini, skenario budidaya meliputi ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan sistem bioflok, ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*), dan belut (*Monopterus albus*). Ketiga skenario memiliki kondisi pemeliharaan serta parameter kualitas air yang perlu diperhatikan, sehingga kebutuhan pemantauan dan pengendaliannya tidak dapat disamakan sepenuhnya. Parameter yang menjadi bagian dari rancangan meliputi pH, suhu, kekeruhan, dan ketinggian air.

Pada budidaya ikan nila dengan sistem bioflok, penggunaan kepadatan tebar yang tinggi dapat meningkatkan produktivitas, tetapi juga menghasilkan limbah dari sisa pakan, ekskresi, dan feses yang dapat memengaruhi kualitas air [3]. Sistem bioflok memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk mengolah senyawa organik dan nitrogen menjadi bioflok yang dapat dimanfaatkan kembali dalam sistem budidaya

[3]. Kondisi tersebut membuat pengelolaan kualitas air perlu mempertimbangkan hubungan antara kondisi ikan dan proses biologis di dalam media. Suhu dan pH termasuk parameter yang digunakan dalam pemantauan kualitas air pada budidaya nila [3][4][8].

Pada budidaya ikan mujair, kondisi kualitas air juga dipengaruhi oleh proses pemeliharaan dan karakteristik media budidaya. Penelitian pada pemeliharaan ikan mujair menunjukkan bahwa beberapa parameter kualitas air perlu diamati selama pemeliharaan [5]. Kekeruhan menjadi parameter yang perlu diperhatikan karena peningkatan partikel tersuspensi dapat mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air dan memengaruhi kondisi perairan [2]. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan kondisi air memerlukan tindakan yang sesuai dengan kondisi media budidaya.

Pada budidaya belut, kondisi media pemeliharaan juga memiliki karakteristik yang berbeda. Penelitian pada belut menunjukkan bahwa pH merupakan parameter kualitas air yang dipantau selama pemeliharaan [6][7]. Selain parameter kualitas air tersebut, ketinggian air juga dapat menjadi bagian dari pengelolaan media karena penelitian lain telah mengkaji pengaruh ketinggian air terhadap kinerja produksi, parameter fisiologis, dan kualitas air pada budidaya belut [15]. Dengan demikian, kebutuhan pengendalian pada sistem budidaya belut memiliki pertimbangan yang berbeda dari sistem nila maupun mujair.

Perbedaan karakteristik tersebut menyebabkan sistem yang dirancang perlu menangani beberapa kriteria teknis yang saling berkaitan. Sistem tidak hanya harus mampu membaca beberapa parameter kualitas air, tetapi juga mengolah hasil pembacaan, menentukan kondisi parameter, memilih tindakan pengendalian, mengaktifkan aktuator, dan menyampaikan informasi kepada pengguna. Setiap bagian memiliki kebutuhan dan batasan yang berbeda sehingga pemilihan sensor, mikrokontroler, aktuator, metode kendali, dan komunikasi tidak dapat dilakukan secara terpisah. Sistem juga perlu mempertimbangkan kondisi penggunaan di

lapangan, ketersediaan komponen, biaya, keamanan pengoperasian, dan kemudahan penggunaan oleh pembudidaya.

Dengan demikian, permasalahan yang diangkat mencakup beberapa submasalah dan melibatkan integrasi perangkat keras, perangkat lunak, komunikasi IoT, serta pengetahuan mengenai kualitas air budidaya. Solusi tidak dapat ditentukan hanya dengan memilih satu metode pengukuran atau satu jenis pengendalian karena karakteristik setiap skenario budidaya berbeda. Perancangan juga perlu mempertimbangkan kebutuhan pembudidaya sebagai pengguna serta aspek lingkungan, ekonomi, keselamatan, dan keberlanjutan penggunaan sistem. Kondisi tersebut menjadikan permasalahan pengelolaan kualitas air pada beberapa skenario budidaya sebagai permasalahan keteknikan kompleks yang membutuhkan perancangan sistem yang terintegrasi.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Dalam kegiatan budidaya perikanan, kualitas air perlu dijaga agar tetap sesuai dengan kebutuhan organisme yang dipelihara. Pengelolaan kualitas air dilakukan dengan memantau dan mengendalikan beberapa parameter fisika dan kimia pada rentang yang sesuai. Kondisi air yang tidak sesuai dapat menyebabkan stres, gangguan pertumbuhan, dan masalah kesehatan pada ikan [1].

Parameter kualitas air yang perlu dipantau berbeda sesuai dengan karakteristik komoditas dan metode budidaya yang digunakan. Pada sistem yang dirancang, parameter tersebut meliputi derajat keasaman (pH), suhu, tingkat kekeruhan, dan ketinggian air. Setiap parameter memiliki batas operasional yang perlu dijaga, karena penyimpangan dari kondisi tersebut dapat memengaruhi kondisi lingkungan dan produktivitas budidaya.

Pada budidaya ikan nila sistem bioflok, pH dan suhu merupakan parameter kualitas air yang perlu dipantau. Berdasarkan penelitian Indriati dan Hafiludin, suhu optimal untuk pertumbuhan ikan nila berada pada kisaran 25°C–30°C[8][9]. Selain itu, berdasarkan BSN (SNI 6141:2009), nilai pH yang sesuai berada pada rentang 6,5–

8,5[10]. Penyimpangan terhadap rentang tersebut dapat mengganggu metabolisme ikan serta meningkatkan tingkat stres[8]. Di sisi lain, aktivitas bakteri dalam sistem bioflok juga dipengaruhi oleh kestabilan parameter tersebut sehingga perubahan kualitas air dapat berdampak pada terganggunya keseimbangan ekosistem bioflok secara keseluruhan[4].



Gambar 1.1 Kolam ikan bioflok

Pada budidaya ikan mujair, tingkat kekeruhan air menjadi indikator penting dalam menentukan kualitas lingkungan budidaya. Ikan mujair mampu tumbuh optimal pada rentang pH 6,5–8,5 dengan suhu air sekitar 25°C–30°C. Sementara itu, tingkat kekeruhan yang tinggi menunjukkan meningkatnya kandungan partikel tersuspensi dan akumulasi bahan organik yang dapat mengganggu kualitas habitat ikan[5][12]. Apabila kondisi tersebut tidak segera ditangani, aktivitas fisiologis ikan dapat terganggu sehingga berpotensi menurunkan produktivitas budidaya.

Berbeda dengan kedua sistem budidaya tersebut, budidaya belut memerlukan perhatian khusus terhadap kestabilan nilai pH dan ketinggian air. Nilai pH yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat menyebabkan stres serta menghambat pertumbuhan belut. Secara umum, kisaran pH yang sesuai berada pada rentang 6,5–8,5, sedangkan perubahan pH yang ekstrem dapat mengganggu kelangsungan hidup organisme budidaya[7][13]. Selain itu, kestabilan ketinggian air berpengaruh terhadap volume media pemeliharaan, konsentrasi limbah organik, serta kondisi lingkungan budidaya. Oleh karena itu, pemantauan kedua parameter tersebut menjadi kebutuhan penting dalam mendukung proses budidaya belut[14].

Meskipun setiap komoditas memiliki parameter prioritas yang berbeda, ketiganya memiliki permasalahan yang sama dalam pemantauan kualitas air. Pemeriksaan yang masih dilakukan secara manual dan berkala membuat perubahan kondisi air tidak selalu dapat diketahui secara langsung [11].

Beberapa perangkat telah digunakan untuk membantu pemantauan dan pengelolaan kualitas air, seperti aerator, pH meter, dan termometer air. Setiap perangkat memiliki fungsi dan keterbatasan yang berbeda sesuai dengan parameter yang dipantau atau dikendalikan. Karena itu, solusi yang telah ada perlu dibandingkan untuk menentukan kebutuhan sistem yang akan dirancang.

Tabel 1.1 Solusi yang telah ada

Solusi	Kelebihan	Kekurangan	Referensi
Aerator	Menjaga ketersediaan oksigen, mencegah stres ikan, serta mendukung pertumbuhan optimal.	Konsumsi listrik tinggi, perawatan rutin diperlukan, dan bisa menimbulkan kebisingan.	[15]
<i>pH Meter</i>	Akurat, mudah digunakan, hasil angka jelas	Harus dioperasikan manual setiap kali pengukuran	[16]
Termometer Air (Analog/Digital)	Murah, mudah digunakan.	Tidak bisa otomatis	[17]

1.1.2 Analisis Masalah dan Konstrain

Pengembangan sistem perlu mempertimbangkan beberapa konstrain yang berkaitan dengan kondisi penggunaan dan kebutuhan perancangan. Analisis dilakukan pada aspek ekonomi, lingkungan, serta kesehatan, keselamatan, dan etika.

1. Aspek Ekonomi dalam Konstrain Keterjangkauan Sistem Budidaya Ikan

Analisis Masalah: Sistem ditujukan untuk pembudidaya skala UMKM sehingga biaya perangkat menjadi salah satu pertimbangan dalam perancangan. Penggunaan komponen berspesifikasi industri dapat meningkatkan biaya awal sistem dan tidak selalu diperlukan untuk kebutuhan budidaya yang dirancang. Oleh karena itu, sistem perlu menggunakan komponen yang tersedia di pasaran dengan biaya yang terjangkau dan konsumsi daya yang sesuai.

Konstrain:

- a. Batasan Biaya Produksi: Total biaya perakitan dan pembuatan alat dibatasi maksimal Rp3.000.000.
- b. Efisiensi Operasional: Total konsumsi daya sistem pada kondisi operasi dibatasi tidak melebihi 100 Watt.

2. Aspek Lingkungan Dalam Konstrain Lingkungan pengguna Sistem Budidaya Ikan

Analisis Masalah: Perangkat ditempatkan di lingkungan budidaya yang memiliki kelembapan tinggi dan berpotensi terkena percikan air. Kondisi tersebut dapat memengaruhi ketahanan komponen dan keamanan penggunaan perangkat. Selain itu, komponen yang bersentuhan dengan air kolam perlu diperhatikan agar tidak memengaruhi kondisi air budidaya.

Konstrain:

- a. Pengaturan parameter kualitas air mengacu pada batas yang ditetapkan dalam regulasi dan standar yang relevan, yaitu Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 (Lampiran VI) dan SNI 7550:2009 [18][19].
- b. Perangkat keras harus mampu digunakan pada lingkungan dengan kelembapan dan paparan percikan air.
- c. Material sensor dan komponen yang bersentuhan langsung dengan air kolam harus sesuai untuk digunakan pada lingkungan budidaya.

3. Aspek Kesehatan, Keselamatan (*Safety*), dan Etika dalam Konstrain Penggunaan Sistem Budidaya Ikan

Analisis Masalah: Sistem menggunakan perangkat elektronik dan aktuator yang beroperasi di sekitar media air sehingga aspek keselamatan listrik perlu diperhatikan. Kesalahan isolasi atau pengkabelan dapat menyebabkan gangguan pada perangkat dan membahayakan pengguna maupun ikan. Selain itu, pemasangan sensor dan aktuator perlu mempertimbangkan kondisi fisik ikan serta keamanan komponen yang bersentuhan dengan air.

Konstrain:

- a. Keselamatan Listrik: Rangkaian kelistrikan dan aktuator harus dikondisikan untuk mencegah korsleting serta kebocoran arus yang dapat membahayakan pengguna dan organisme budidaya.
- b. Kesejahteraan ikan: Sensor dan aktuator yang ditempatkan pada kolam harus dipasang tanpa bagian tajam atau konfigurasi yang dapat melukai ikan selama pengoperasian.
- c. Keamanan material: Komponen yang bersentuhan langsung dengan air kolam harus menggunakan material yang sesuai untuk lingkungan budidaya dan tidak mengganggu kualitas air.

1.1.3 Kebutuhan yang harus dipenuhi

1. Sistem harus mampu memantau parameter kualitas air secara berkala untuk memperoleh informasi kondisi air terkini.
2. Sistem harus mampu memberikan notifikasi otomatis ketika nilai parameter melewati batas yang ditentukan.
3. Sistem harus memiliki mekanisme pengendalian otomatis untuk menindaklanjuti parameter yang berada di luar batas yang ditentukan.
4. Perangkat keras harus memiliki ketahanan fisik kondisi yang lembab.
5. Antarmuka sistem harus sederhana dan informatif agar dapat digunakan oleh pembudidaya.

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan kebutuhan yang telah ditetapkan, tujuan dari perancangan ini adalah menghasilkan sistem monitoring dan pengendalian kualitas air berbasis *IoT* yang mampu memantau parameter kualitas air, memberikan notifikasi kepada pembudidaya, dan menjalankan tindakan pengendalian otomatis ketika nilai parameter berada di luar batas yang ditentukan.

1.2 Solusi

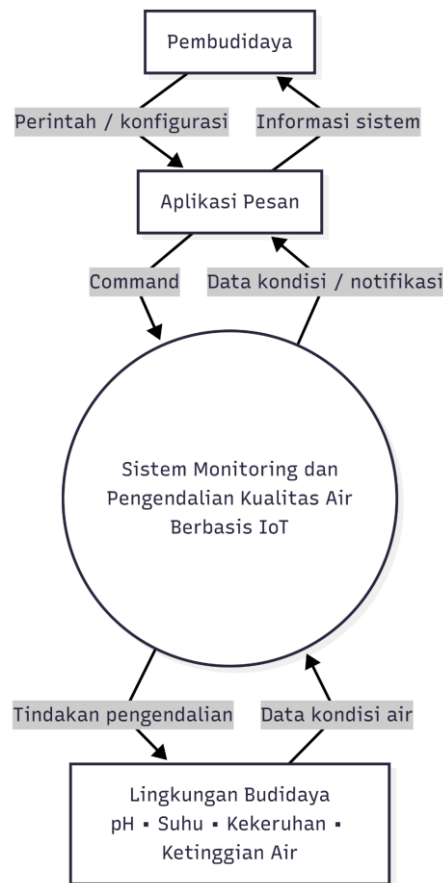
1.2.1 Karakteristik Produk

Karakteristik produk digunakan sebagai acuan dalam menentukan fungsi dan kinerja sistem yang dirancang.

1. ***Sensing Accuracy***, Kemampuan sistem dalam menghasilkan pembacaan parameter kualitas air secara akurat melalui sensor suhu, pH, kekeruhan, dan ketinggian air.
2. ***Processing Speed***, kemampuan sistem dalam memproses data sensor dan menentukan tindakan pengendalian dalam waktu yang sesuai dengan kebutuhan sistem.
3. ***Notification Responsiveness***, Kemampuan sistem dalam mengirimkan data dan notifikasi peringatan.
4. ***System Reliability***, kemampuan sistem untuk beroperasi secara stabil dan konsisten selama periode penggunaan yang ditentukan.
5. ***Control System Responsiveness***, kemampuan sistem dalam merespons perubahan parameter kualitas air melalui pengaktifan aktuator yang sesuai dengan kondisi yang terdeteksi.

1.2.2 Usulan Solusi

Solusi yang diusulkan berupa sistem monitoring dan pengendalian kualitas air berbasis *IoT*. Sistem membaca parameter suhu, pH, kekeruhan, dan ketinggian air, kemudian mengolah hasil pembacaan untuk menentukan kondisi parameter dan tindakan pengendalian yang sesuai.



Gambar 1.2 Context Diagram

Context diagram menunjukkan hubungan sistem dengan lingkungan budidaya dan pengguna. Sistem menerima data kondisi air dari lingkungan budidaya dan memberikan tindakan pengendalian. Pengguna berinteraksi dengan sistem melalui aplikasi pesan untuk mengirimkan perintah dan menerima informasi kondisi serta notifikasi.

1.2.2.1 Solusi 1: Sistem dengan Dosing Pump dan Filtrasi

Solusi 1 menggunakan aktuator yang terpisah untuk setiap parameter kualitas air sehingga proses pengendalian dapat dilakukan secara independen. Pada parameter pH, nilai suhu digunakan sebagai variabel kompensasi dalam perhitungan pH. Nilai pH kemudian diproses menggunakan metode *Fuzzy Sugeno* untuk menentukan tingkat koreksi, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar pengaktifan *dosing pump*. Pada parameter kekeruhan, nilai sensor dibandingkan dengan batas yang ditentukan menggunakan metode *Threshold*. Jika nilai kekeruhan melewati batas

tersebut, pompa filtrasi diaktifkan untuk mengalirkan air melalui *filter*. Pada parameter ketinggian air, sensor mendeteksi kondisi level air dan metode *Threshold* menentukan aktivasi *solenoid valve* untuk mengisi air. Status sensor dan aktuator dapat disampaikan kepada pengguna melalui aplikasi pesan.

1. Pendahuluan & Skenario Operasional

Solusi 1 menggunakan pemrosesan lokal pada mikrokontroler. Data dari sensor dibaca dan diproses di perangkat untuk menentukan tindakan pengendalian pada masing-masing parameter. Ketika nilai parameter berada di luar batas yang ditentukan, aktuator dijalankan sesuai metode pengendalian yang digunakan. Koneksi IoT digunakan untuk mengirimkan data dan status sistem kepada pengguna, sedangkan proses pengendalian tetap dilakukan oleh mikrokontroler.

2. Sensing

Sensor pH dan suhu digunakan untuk memperoleh data kondisi air, dengan nilai suhu digunakan sebagai variabel kompensasi dalam perhitungan pH. Sensor kekeruhan digunakan untuk memperoleh nilai kekeruhan air, sedangkan sensor ketinggian air digunakan untuk mendeteksi kondisi level air. Seluruh hasil pembacaan sensor diproses oleh mikrokontroler sebagai masukan untuk pengambilan keputusan pengendalian.

3. Processing dan Decision-Making

Pengambilan keputusan pada Solusi 1 menggunakan metode pengendalian yang disesuaikan dengan karakteristik setiap parameter. Pada parameter pH, metode *Fuzzy Sugeno* digunakan karena sistem memerlukan tingkat koreksi yang dapat berubah mengikuti kondisi pH. Metode *Threshold* hanya menghasilkan keputusan berdasarkan batas tertentu, sedangkan *Fuzzy Sugeno* dapat mengolah kondisi pH pada beberapa tingkat keanggotaan untuk menghasilkan keluaran durasi aktuasi. Keluaran tersebut digunakan sebagai dasar pengendalian *dosing pump*. Pada parameter kekeruhan dan ketinggian air, metode *Threshold* digunakan karena tindakan pengendalian ditentukan berdasarkan kondisi parameter terhadap batas yang telah ditetapkan.

4. Actuating

Setiap parameter memiliki aktuator yang bekerja secara terpisah. Pada pengendalian pH, hasil *Fuzzy Sugeno* digunakan untuk menentukan durasi aktivasi *dosing pump* dalam menambahkan larutan pengoreksi pH. Pada pengendalian kekeruhan, pompa filtrasi diaktifkan ketika nilai kekeruhan melewati batas yang ditentukan. Sementara itu, solenoid valve diaktifkan ketika sensor ketinggian air mendeteksi kondisi level di bawah batas yang ditetapkan.

5. Notification System

Aplikasi pesan digunakan untuk menyampaikan nilai pembacaan sensor, status aktuator, dan notifikasi kondisi sistem kepada pengguna. Data dikirim melalui koneksi internet dari mikrokontroler ke aplikasi pesan. Pengiriman informasi dilakukan sebagai fungsi komunikasi sistem, sedangkan proses pembacaan sensor dan pengendalian aktuator tetap dijalankan pada mikrokontroler.

1.2.2.2 Solusi 2: Sistem dengan Pengenceran Air dan Solenoid Valve Bersama

Solusi 2 menggunakan satu solenoid valve untuk dua fungsi, yaitu pengendalian pH melalui pengenceran air dan pengaturan ketinggian air. Nilai pH diproses menggunakan *Fuzzy Sugeno* untuk menentukan durasi pembukaan solenoid valve sebagai bagian dari proses pengenceran. Pada saat yang sama, sensor ketinggian air diproses menggunakan metode *Threshold* untuk menentukan kebutuhan pengisian air. Pengendalian kekeruhan tetap menggunakan sensor kekeruhan dan pompa filtrasi. Informasi kondisi sensor dan aktuator disampaikan kepada pengguna melalui aplikasi pesan.

1. Pendahuluan & Skenario Operasional

Solusi 2 menggunakan pemrosesan lokal pada mikrokontroler dengan satu aktuator bersama untuk pengendalian pH dan ketinggian air. Penggunaan satu solenoid valve untuk dua fungsi dapat mengurangi jumlah aktuator yang dibutuhkan sehingga biaya perangkat keras dapat lebih rendah dibandingkan solusi yang menggunakan aktuator terpisah. Ketika pH berada di luar batas yang ditentukan, solenoid valve digunakan untuk mengalirkan air baru berdasarkan keluaran *Fuzzy Sugeno* sebagai

mekanisme pengenceran. Ketika ketinggian air berada di bawah batas yang ditentukan, solenoid valve digunakan untuk mengisi air. Pengendalian kekeruhan tetap dilakukan secara terpisah menggunakan pompa filtrasi.

2. Sensing

Sensor pH dan suhu digunakan untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam perhitungan pH, dengan suhu sebagai variabel kompensasi. Sensor kekeruhan digunakan untuk memperoleh nilai kekeruhan air, sedangkan sensor ketinggian air digunakan untuk mendeteksi kondisi level air. Hasil pembacaan seluruh sensor diproses oleh mikrokontroler sebagai dasar pengambilan keputusan pengendalian.

3. Processing dan Decision-Making

Pengambilan keputusan pada Solusi 2 menggunakan *Fuzzy Sugeno* untuk pengendalian pH dan *Threshold* untuk ketinggian air serta kekeruhan. Pada pengendalian pH, keluaran *Fuzzy* berupa durasi pembukaan solenoid valve untuk melakukan pengenceran air. Pada pengendalian ketinggian air, *Threshold* menentukan kapan solenoid valve perlu dibuka untuk mengisi air. Karena kedua fungsi menggunakan aktuator yang sama, sistem perlu menentukan prioritas ketika perintah pengendalian pH dan ketinggian air muncul pada waktu yang berdekatan. Kekeruhan diproses secara terpisah menggunakan *Threshold* untuk menentukan aktivasi pompa filtrasi.

4. Actuating

Pengendalian pH pada Solusi 2 dilakukan dengan memasukkan air baru melalui solenoid valve berdasarkan durasi keluaran *Fuzzy Sugeno*. Pengenceran digunakan sebagai mekanisme untuk mengubah nilai pH tanpa menambahkan larutan pengoreksi secara langsung. Solenoid valve yang sama juga digunakan untuk mengisi air ketika ketinggian air berada di bawah batas yang ditentukan. Sementara itu, pompa filtrasi digunakan untuk menangani kondisi kekeruhan berdasarkan hasil pengendalian *Threshold*.

5. Notification System

Aplikasi pesan digunakan untuk menyampaikan hasil pembacaan sensor, status solenoid valve dan pompa filtrasi, serta notifikasi kondisi sistem kepada pengguna. Pengolahan data dan pengendalian tetap dilakukan oleh mikrokontroler, sedangkan koneksi internet digunakan untuk mengirimkan informasi kepada pengguna.

1.2.2.3 Solusi 3: Sistem dengan *Dosing Pump* dan Kuras-Isi Air

Solusi 3 mempertahankan pengendalian pH menggunakan sensor pH dan suhu, metode *Fuzzy Sugeno*, serta *dosing pump*. Ketinggian air dikendalikan menggunakan sensor ketinggian dan *solenoid valve*. Perbedaan utama solusi ini terdapat pada pengendalian kekeruhan, yaitu menggunakan mekanisme kuras-isi otomatis sebagai pengganti pompa filtrasi. Ketika nilai kekeruhan melewati batas yang ditentukan, *solenoid valve* pembuangan digunakan untuk mengurangi volume air, kemudian *solenoid valve* pengisian memasukkan air baru hingga ketinggian yang ditentukan tercapai. Informasi kondisi sensor dan aktuator disampaikan kepada pengguna melalui aplikasi pesan.

1. Pendahuluan & Skenario Operasional

Solusi 3 menggunakan pemrosesan lokal pada mikrokontroler untuk membaca sensor dan menentukan tindakan pengendalian. Pengendalian pH dilakukan dengan *dosing pump*, sedangkan kekeruhan ditangani melalui proses pembuangan dan pengisian air. Ketika kekeruhan melewati batas yang ditentukan, sebagian air dikeluarkan dan kemudian digantikan dengan air baru hingga ketinggian yang ditetapkan tercapai. Koneksi *IoT* digunakan untuk menyampaikan informasi kondisi sistem kepada pengguna.

2. Sensing

Sensor pH dan suhu digunakan untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam perhitungan pH, dengan suhu sebagai variabel kompensasi. Sensor kekeruhan digunakan untuk memperoleh nilai kekeruhan air, sedangkan sensor ketinggian air digunakan untuk mendeteksi kondisi level air. Hasil pembacaan sensor diproses oleh mikrokontroler sebagai masukan untuk menentukan tindakan pengendalian.

3. Processing dan Decision-Making

Pengambilan keputusan pada Solusi 3 menggunakan *Fuzzy Sugeno* untuk pengendalian pH dan *Threshold* untuk pengendalian kekeruhan serta ketinggian air. Pada parameter pH, *Fuzzy Sugeno* menentukan tingkat koreksi berdasarkan kondisi pH dan menghasilkan keluaran yang digunakan untuk mengatur durasi *dosing pump*. Pada parameter kekeruhan, *Threshold* menentukan kapan proses pembuangan air dijalankan. Setelah volume air berkurang, sensor ketinggian digunakan untuk mendeteksi kondisi level air dan menentukan proses pengisian hingga batas yang ditetapkan tercapai.

4. Actuating

Dosing pump digunakan untuk mengoreksi pH berdasarkan durasi keluaran *Fuzzy Sugeno*. Untuk mengendalikan kekeruhan, *solenoid valve* pembuangan dibuka ketika nilai kekeruhan melewati batas yang ditentukan sehingga sebagian air keluar dari kolam. Setelah ketinggian air turun, *solenoid valve* pengisian digunakan untuk memasukkan air baru hingga ketinggian yang ditetapkan tercapai.

5. Notification System

Aplikasi pesan digunakan untuk menyampaikan nilai pembacaan sensor, status aktuator, dan notifikasi perubahan kondisi sistem kepada pengguna. Informasi tersebut dikirim melalui koneksi jaringan dari mikrokontroler. Proses pengendalian tetap dilakukan oleh mikrokontroler, sedangkan aplikasi pesan digunakan sebagai antarmuka komunikasi dengan pengguna.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

Analisis usulan solusi dilakukan menggunakan metode House of Quality (HoQ) untuk membandingkan setiap solusi berdasarkan karakteristik produk dan konstrain yang telah ditentukan.

			▲	▲	▲	▲	▲							
	Customer Importance Rating (1=Low, 5=High)	Percent of Customer Importance Rating	Sensing Accuracy	Processing Speed	Notification Responsiveness	System Reliability	Control System Responsiveness		Importance Rating	Percent Of Importance	Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3	
Harga terjangkau	4	18%	△	△	△	△	△		20	8%	△	●	○	
Respons sistem cepat	5	23%		●	●	○	●		90	34%	●	○	○	
Konsumsi daya rendah	4	18%	△	△	△	○	△		28	11%	○	○	●	
Keselamatan dan Kesehatan Ikan	5	23%	●	○	○	●	●		105	40%	●	○	○	
Ketahanan operasional sistem	4	18%				●			20	8%	●	○	○	
	22	100%							263	100%	4.48	3.15	3.21	
Importance Rating			33	48	48	76	58		263					
Percent of Importance			12.55%	18.25%	18.25%	28.90%	22.05%		100.00%					
Solusi 1			●	○	○	●	●		4.27					
Solusi 2			●	○	○	○	○		3.25					
Solusi 3			●	○	○	●	○		3.83					

Relationship	Weight
Weak	△ 1
Medium	○ 3
Strong	● 5

		Importance Rating	Total	Percent of Importance	Total
Sensing Accuracy	Karakteristik Produk	$4 \times 1 + 5 \times 0 + 4 \times 1 + 5 \times 5 + 4 \times 0 = 33$	256	$(33/256) \times 100\% = 12.55\%$	100%
Processing Speed		$4 \times 1 + 5 \times 5 + 4 \times 1 + 5 \times 3 + 4 \times 0 = 48$		$(48/256) \times 100\% = 18.25\%$	
Notification responsiveness		$4 \times 1 + 5 \times 5 + 4 \times 1 + 5 \times 3 + 4 \times 0 = 48$		$(48/256) \times 100\% = 18.25\%$	
System Reliability		$4 \times 1 + 5 \times 3 + 4 \times 3 + 5 \times 5 + 4 \times 5 = 76$		$(76/256) \times 100\% = 28.90\%$	
Control System Responsiveness		$4 \times 1 + 5 \times 5 + 4 \times 1 + 5 \times 5 + 4 \times 0 = 58$		$(58/256) \times 100\% = 22.05\%$	
Harga terjangkau	Konstrain	$4 \times 1 + 4 \times 1 + 4 \times 1 + 4 \times 1 + 4 \times 1 = 20$	263	$(20/263) \times 100\% = 8\%$	100%
Respons sistem cepat		$5 \times 0 + 5 \times 5 + 5 \times 5 + 5 \times 3 + 5 \times 5 = 90$		$(90/263) \times 100\% = 34\%$	
Konsumsi daya rendah		$4 \times 1 + 4 \times 1 + 4 \times 1 + 4 \times 3 + 4 \times 1 = 28$		$(28/263) \times 100\% = 11\%$	
Keselamatan dan Kesehatan Ikan		$5 \times 5 + 5 \times 3 + 5 \times 3 + 5 \times 5 + 5 \times 5 = 105$		$(105/263) \times 100\% = 40\%$	
Ketahanan operasional sistem		$4 \times 0 + 4 \times 0 + 4 \times 0 + 4 \times 5 + 4 \times 0 = 20$		$(20/263) \times 100\% = 8\%$	

Gambar 1.3 Tabel *House of Quality* (HoQ)

Gambar 1.2 menunjukkan hubungan antara karakteristik produk dan konstrain yang digunakan dalam analisis HoQ. Nilai hubungan tersebut digunakan untuk menentukan bobot masing-masing kriteria dan menghitung nilai setiap usulan solusi.

Pada konstrain harga terjangkau, seluruh karakteristik produk diberi hubungan lemah. Sensing accuracy memiliki hubungan dengan harga karena sensor dengan akurasi yang lebih tinggi umumnya membutuhkan biaya yang lebih besar. Processing speed juga berkaitan dengan harga karena perangkat dengan kemampuan pemrosesan lebih tinggi dapat meningkatkan biaya komponen. Notification responsiveness berkaitan dengan kebutuhan perangkat komunikasi, sedangkan system reliability dan control system responsiveness dapat dipengaruhi oleh pemilihan komponen serta aktuator yang digunakan.

Pada konstrain respons sistem cepat, processing speed dan control system responsiveness memiliki hubungan kuat karena keduanya berpengaruh langsung terhadap waktu yang dibutuhkan sistem untuk memproses kondisi dan menjalankan

tindakan pengendalian. Notification responsiveness juga memiliki hubungan kuat karena informasi perlu disampaikan kepada pengguna dalam waktu yang sesuai dengan kondisi yang terdeteksi. System reliability memiliki hubungan sedang karena sistem yang stabil membantu mempertahankan respons secara konsisten. Sementara itu, sensing accuracy tidak diberikan hubungan karena karakteristik tersebut berfokus pada ketepatan pembacaan, bukan waktu respons.

Pada konstrain konsumsi daya rendah, sensing accuracy memiliki hubungan lemah karena kebutuhan daya sensor dapat berbeda sesuai spesifikasi dan metode pengukurannya. Processing speed juga memiliki hubungan lemah karena kemampuan pemrosesan yang lebih tinggi dapat memerlukan sumber daya lebih besar. Notification responsiveness berkaitan dengan penggunaan daya pada komunikasi data, sedangkan control system responsiveness berkaitan dengan penggunaan daya aktuator selama proses pengendalian. System reliability diberi hubungan sedang karena pengoperasian yang stabil dapat dipengaruhi oleh pengelolaan daya sistem.

Pada konstrain keselamatan dan kesehatan ikan, sensing accuracy memiliki hubungan kuat karena kesalahan pembacaan dapat menyebabkan keputusan pengendalian yang tidak sesuai. Processing speed dan notification responsiveness memiliki hubungan sedang karena keduanya mendukung respons terhadap kondisi air, tetapi tidak secara langsung mengubah kondisi air. System reliability dan control system responsiveness memiliki hubungan kuat karena kegagalan sistem atau keterlambatan tindakan pengendalian dapat memengaruhi kondisi lingkungan budidaya.

Pada konstrain ketahanan operasional sistem, system reliability memiliki hubungan kuat karena berkaitan langsung dengan kemampuan sistem untuk beroperasi secara stabil selama periode penggunaan yang ditentukan. Empat karakteristik lainnya tidak diberikan hubungan karena penilaian pada bagian ini difokuskan pada kemampuan sistem untuk mempertahankan operasi secara konsisten.

Berdasarkan hubungan antara konstrain dan karakteristik produk, aspek respons sistem, system reliability, serta keselamatan dan kesehatan ikan menjadi pertimbangan utama dalam analisis. Terdapat trade-off antara kinerja sistem, biaya implementasi, dan konsumsi daya sehingga pemilihan solusi perlu mempertimbangkan ketiga aspek tersebut secara bersamaan.

Perhitungan nilai masing-masing usulan solusi berdasarkan karakteristik produk adalah sebagai berikut:

1. Solusi 1 = $((5 \times 12,55\%) + (3 \times 18,25\%) + (3 \times 18,25\%) + (5 \times 28,90\%) + (5 \times 22,05\%)) / 100\% = 4,27$
2. Solusi 2 = $((5 \times 12,55\%) + (3 \times 18,25\%) + (3 \times 18,25\%) + (3 \times 28,90\%) + (3 \times 22,05\%)) / 100\% = 3,25$
3. Solusi 3 = $((5 \times 12,55\%) + (3 \times 18,25\%) + (3 \times 18,25\%) + (5 \times 28,90\%) + (3 \times 22,05\%)) / 100\% = 3,83$

Berikut perhitungan *House Of Quality* usulan solusi terhadap konstrain, yaitu:

1. Solusi 1 = $((1 \times 8\%) + (5 \times 34\%) + (3 \times 11\%) + (5 \times 40\%) + (5 \times 8\%)) / 100\% = 4,48$
2. Solusi 2 = $((5 \times 8\%) + (3 \times 34\%) + (3 \times 11\%) + (3 \times 40\%) + (3 \times 8\%)) / 100\% = 3,15$
3. Solusi 3 = $((3 \times 8\%) + (3 \times 34\%) + (5 \times 11\%) + (3 \times 40\%) + (3 \times 8\%)) / 100\% = 3,21$

Total jumlah perhitungan tiga usulan solusi terhadap karakteristik produk dan konstrain, yaitu :

1. Solusi 1 = $4,27 + 4,48 = 8,75 / 2 = 4,38$
2. Solusi 2 = $3,25 + 3,15 = 6,4 / 2 = 3,2$
3. Solusi 3 = $3,83 + 3,21 = 7,04 / 2 = 3,52$

1.2.3.1 Analisa Usulan Solusi 1

Usulan Solusi 1 memiliki nilai yang lebih tinggi pada aspek respons sistem, keselamatan dan kesehatan ikan, serta ketahanan operasional. Hal ini berkaitan dengan penggunaan aktuator yang terpisah untuk setiap parameter, sehingga pengendalian masing-masing parameter dapat dilakukan secara independen. Pemisahan aktuator juga mengurangi kemungkinan terjadinya konflik antarproses pengendalian.

Pada aspek keselamatan dan kesehatan ikan, solusi ini memperoleh nilai yang lebih tinggi karena setiap parameter ditangani menggunakan mekanisme pengendalian yang berbeda sesuai kebutuhannya. Pengendalian pH menggunakan *dosing pump*, sedangkan kekeruhan ditangani melalui filtrasi. Pemisahan mekanisme pengendalian tersebut mengurangi ketergantungan antarparameter dalam satu proses aktuasi.

Pada aspek ketahanan operasional, arsitektur solusi bersifat modular karena setiap parameter menggunakan aktuator yang terpisah. Gangguan pada satu subsistem tidak secara langsung menghentikan fungsi pengendalian pada parameter lainnya. Sebagai contoh, gangguan pada sistem filtrasi tidak secara langsung menghentikan pengendalian pH dan ketinggian air.

Keterbatasan solusi ini terdapat pada aspek biaya dan konsumsi daya. Penggunaan aktuator yang terpisah untuk setiap parameter meningkatkan jumlah perangkat keras yang dibutuhkan, yaitu *dosing pump*, pompa filtrasi, dan *solenoid valve*. Jumlah aktuator tersebut meningkatkan biaya implementasi, sedangkan penggunaan pompa filtrasi berkontribusi terhadap konsumsi daya yang lebih tinggi dibandingkan solusi lainnya.

1.2.3.2 Analisa Usulan Solusi 2

Usulan Solusi 2 memiliki keunggulan pada aspek biaya karena menggunakan jumlah aktuator yang lebih sedikit dibandingkan solusi lainnya. Satu solenoid valve digunakan untuk pengenceran pH dan pengisian air, sehingga jumlah perangkat keras yang dibutuhkan dapat dikurangi. Kondisi tersebut dapat menurunkan biaya implementasi sistem.

Pada aspek konsumsi daya, jumlah aktuator yang lebih sedikit dapat mengurangi kebutuhan daya dibandingkan solusi yang menggunakan lebih banyak aktuator. Namun, solusi ini masih menggunakan pompa filtrasi untuk menangani kekeruhan. Penggunaan satu solenoid valve untuk dua fungsi juga memerlukan pengaturan prioritas ketika kebutuhan pengendalian pH dan ketinggian air terjadi pada waktu

yang bersamaan. Kondisi tersebut dapat menambah kompleksitas pengendalian dan memengaruhi respons sistem.

Pada aspek keselamatan dan kesehatan ikan, pengendalian pH dengan pengenceran air dapat memengaruhi kondisi media karena dilakukan dengan menambah air baru ke dalam kolam. Metode tersebut bergantung pada kondisi air yang digunakan untuk pengenceran. Selain itu, penggunaan *solenoid valve* sebagai aktuator bersama membuat gangguan pada aktuator dapat memengaruhi lebih dari satu fungsi pengendalian.

1.2.3.3 Analisa Usulan Solusi 3

Usulan Solusi 3 memiliki keunggulan pada aspek konsumsi daya karena pengendalian kekeruhan tidak menggunakan pompa filtrasi. Mekanisme kuras-isi menggunakan *solenoid valve* sehingga kebutuhan aktuator bermotor dapat dikurangi.

Solusi ini juga mempertahankan *dosing pump* untuk pengendalian pH. Namun, mekanisme kuras-isi memerlukan proses pembuangan dan pengisian air sehingga pengendalian kekeruhan berlangsung melalui perubahan volume air, bukan melalui filtrasi langsung. Proses tersebut dapat membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan filtrasi dan menyebabkan perubahan kondisi media karena sebagian air kolam diganti dengan air baru.

Pada aspek ketahanan operasional, penggunaan *solenoid valve* secara berulang dapat meningkatkan kebutuhan perawatan aktuator. Solusi ini juga tetap menggunakan beberapa aktuator secara terpisah sehingga biaya implementasinya lebih tinggi dibandingkan Solusi 2, tetapi lebih rendah dibandingkan Solusi 1 berdasarkan perbandingan yang digunakan dalam rancangan.

1.2.4 Solusi Yang Dipilih

Berdasarkan hasil perhitungan *House of Quality* (HoQ), Solusi 1 memperoleh nilai akhir tertinggi dibandingkan dua usulan lainnya, yaitu 4,38. Nilai tersebut didukung

oleh skor yang lebih tinggi pada aspek respons sistem, keselamatan dan kesehatan ikan, serta ketahanan operasional. Penggunaan aktuator yang terpisah pada Solusi 1 juga memberikan pemisahan fungsi pengendalian untuk setiap parameter.

Solusi 1 memiliki biaya implementasi dan konsumsi daya yang lebih tinggi dibandingkan beberapa alternatif karena menggunakan aktuator yang terpisah. Namun, berdasarkan hasil HoQ, keunggulan pada respons sistem, keselamatan dan kesehatan ikan, serta ketahanan operasional memberikan nilai akhir yang lebih tinggi. Oleh karena itu, Solusi 1 dipilih sebagai solusi yang digunakan untuk tahap perancangan dan implementasi, dengan *dosing pump* untuk pengendalian pH, pompa filtrasi untuk pengendalian kekeruhan, dan *solenoid valve* untuk pengendalian ketinggian air.

1.2.4.1 Solusi Yang Dipilih Penerapan Ikan Nila Bioflok

Pada penerapan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan sistem bioflok, parameter yang dipantau meliputi suhu dan pH. Rentang suhu yang digunakan adalah 25–30°C, sedangkan rentang pH yang digunakan adalah 6,5–8,5 [4]. Ketika nilai pH berada di luar rentang tersebut, sistem menentukan tindakan pengendalian menggunakan metode *Fuzzy Sugeno*.

Data pH diproses menggunakan metode *Fuzzy Sugeno* dan dipetakan ke dalam tujuh himpunan *fuzzy*, yaitu:

- a. Himpunan Asam: Sangat Asam, Asam, Sedikit Asam
- b. Himpunan Netral: Ideal
- c. Himpunan Basa: Sedikit Basa, Basa, Sangat Basa

Sistem menggunakan *rule base Fuzzy Sugeno* untuk menentukan tingkat pengendalian berdasarkan kondisi pH. Konsekuen pada setiap rule direpresentasikan dalam bentuk nilai durasi aktivasi *dosing pump*. Hasil evaluasi rule kemudian digunakan untuk menentukan durasi aktuasi *dosing pump*. Pompa pH UP digunakan ketika kondisi pH memerlukan penambahan larutan untuk meningkatkan nilai pH, sedangkan pompa pH DOWN digunakan ketika nilai pH perlu diturunkan. Setelah proses *dosing* selesai, sistem memberikan jeda stabilisasi

sebelum melakukan evaluasi pH berikutnya. Jeda ini digunakan untuk memberikan waktu bagi larutan pengoreksi bercampur dengan air sebelum dilakukan pembacaan ulang.

Sistem (Aktuator & Respons)

Berdasarkan hasil defuzzifikasi, sistem akan menghasilkan keluaran aksi secara langsung berupa:

1. Aktivasi Pompa pH UP: Diaktifkan sesuai durasi hasil perhitungan defuzzifikasi ketika kualitas air terdeteksi cenderung asam.
2. Aktivasi Pompa pH DOWN: Diaktifkan sesuai durasi hasil perhitungan defuzzifikasi ketika kualitas air terdeteksi cenderung basa.
3. Mekanisme Stabilisasi: Segera setelah penambahan cairan pengoreksi (pH UP/DOWN) selesai, sistem secara otomatis memberlakukan jeda waktu stabilisasi (sensor *waiting/pause*). Mekanisme ini bertujuan memberikan waktu bagi cairan untuk teraduk dan bereaksi dengan air kolam sebelum sensor kembali membaca nilai pH, sehingga mencegah masalah koreksi berlebih.

Notifikasi Status Kondisi Air

Sistem memberikan kemudahan pemantauan. Saat nilai pH tidak ideal, sistem akan secara otomatis mengirimkan notifikasi peringatan beserta aksi yang diberikan. Selain peringatan dini, sistem juga menyediakan menu interaktif sehingga pengguna dapat mengecek status pH, status air, dan masa stabilisasi dari jarak jauh kapanpun dibutuhkan.

1.2.4.2 Solusi Yang Dipilih Penerapan Ikan Mujair

Untuk penerapan pada komoditas Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*), sistem dirancang untuk memantau dan mengendalikan tingkat kekeruhan air pada tambak ikan. Kekeruhan air merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi kesehatan ikan, proses respirasi, serta kualitas lingkungan budidaya. Sistem menggunakan metode *Threshold* untuk menentukan kondisi kualitas air berdasarkan nilai kekeruhan yang dibaca sensor. Apabila nilai kekeruhan melebihi

batas yang telah ditentukan, sistem akan secara otomatis melakukan tindakan pengendalian guna menjaga kualitas air tetap berada pada kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan ikan mujair.

Data kekeruhan air yang diperoleh dari sensor akan diproses menggunakan metode *Threshold*. Nilai yang terbaca dari sensor akan dibandingkan dengan batas ambang (*threshold*) yang telah ditentukan berdasarkan hasil kalibrasi dan pengujian sistem.

Parameter kekeruhan air akan diklasifikasikan ke dalam beberapa kondisi, yaitu:

- Kondisi Jernih
- Kondisi Sedang
- Kondisi Keruh

Selanjutnya, sistem menerapkan proses pengambilan keputusan berbasis perbandingan nilai sensor dengan batas ambang yang telah ditentukan untuk menentukan tindakan pengendalian. Contoh aturan yang diterapkan adalah sebagai berikut:

- IF Kekeruhan = Jernih THEN Pompa Air = OFF
- IF Kekeruhan = Sedang THEN Pompa Air = ON
- IF Kekeruhan = Keruh THEN Pompa Air = ON

Nilai batas ambang kekeruhan akan ditentukan melalui proses pengujian dan kalibrasi berdasarkan karakteristik sensor, kondisi air tambak, serta kebutuhan kualitas air untuk budidaya ikan mujair. Metode *Threshold* memungkinkan sistem mengambil keputusan secara sederhana, cepat, dan efektif berdasarkan kondisi aktual yang terdeteksi oleh sensor.

Sistem (Aktuator & Respons)

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode *Threshold*, sistem akan menghasilkan keluaran aksi secara langsung berupa:

- Aktivasi Pompa Air: Pompa air akan diaktifkan ketika nilai kekeruhan melebihi batas ambang yang telah ditentukan sehingga proses penggantian atau sirkulasi air dapat dilakukan untuk memperbaiki kualitas air.

- Pompa Air OFF: Pompa air akan dinonaktifkan ketika nilai kekeruhan berada pada rentang yang masih aman dan sesuai untuk budidaya ikan mujair.
- Mekanisme Stabilisasi: Setelah pompa air selesai bekerja, sistem akan memberikan jeda waktu stabilisasi sebelum melakukan pembacaan sensor berikutnya. Mekanisme ini bertujuan memberikan waktu agar kondisi air kembali stabil sehingga hasil pembacaan sensor menjadi lebih akurat dan menghindari aktivasi pompa secara berulang dalam waktu singkat.

Notifikasi Status Kondisi Air

Sistem memberikan kemudahan pemantauan secara *real-time*. Saat nilai kekeruhan melebihi batas yang telah ditentukan, sistem akan secara otomatis mengirimkan notifikasi peringatan beserta informasi tindakan yang dilakukan oleh sistem. Selain peringatan dini, sistem juga menyediakan menu interaktif yang memungkinkan pengguna memantau nilai kekeruhan air, status kualitas air, serta status operasional pompa dari jarak jauh kapanpun dibutuhkan.

1.2.4.3 Solusi Yang Dipilih Penerapan Belut

Untuk penerapan pada komoditas Belut (*Monopterus albus*), sistem difokuskan pada pemantauan dan pengendalian ketinggian air kolam secara otomatis. Ketinggian air yang stabil diperlukan untuk menjaga kondisi lingkungan budidaya tetap sesuai serta mendukung pertumbuhan belut secara optimal. Sistem menggunakan *Water Level Sensor* sebagai pendeteksi level air dan *Solenoid Valve* 12V ½ NC sebagai aktuator pengisian air.

Data ketinggian air diperoleh dari sensor ketinggian air yang bekerja berdasarkan perubahan nilai tegangan analog akibat kontak air pada lempeng sensor. Sensor akan mendeteksi dua kondisi utama, yaitu:

- Air Rendah
- Air Penuh

Ketika sensor mendeteksi kondisi air rendah, mikrokontroler akan memproses sinyal tersebut dan mengaktifkan aktuator pengisian air. Sebaliknya, ketika air telah

mencapai batas yang ditentukan, sistem akan menghentikan proses pengisian secara otomatis.

Sistem (Aktuator dan Respons)

Berdasarkan hasil pembacaan sensor, sistem menghasilkan keluaran berupa:

- *Aktivasi Solenoid Valve: Solenoid valve* terbuka secara otomatis ketika level air berada di bawah batas minimum sehingga air dapat mengalir ke dalam kolam.
- *Penutupan Solenoid Valve: Solenoid valve* tertutup secara otomatis ketika level air telah mencapai batas maksimum yang ditentukan.
- *Real-Time*: Status ketinggian air terus dipantau oleh mikrokontroler untuk memastikan kondisi kolam tetap stabil.

Notifikasi Status Ketinggian Air

Sistem terintegrasi dengan aplikasi pesan untuk memberikan informasi kondisi kolam secara *real-time*. Saat level air rendah, sistem akan mengirimkan notifikasi seperti:

⚠ Ketinggian air rendah dan ketika proses pengisian berlangsung:

● Solenoid Valve ON - Pengisian air aktif

Setelah level air kembali normal, sistem mengirimkan notifikasi:

☑ Ketinggian air normal - Solenoid Valve OFF

Dengan mekanisme tersebut, sistem mampu menjaga ketinggian air kolam belut secara otomatis serta mengurangi kebutuhan pemantauan manual oleh pengguna.