

Pengendalian salinitas dan oksigen terlarut pada tambak udang menggunakan metode *fuzzy logic*

Habib Tri Buana¹, Febi Ariefka Septian Putra^{2*}, Dwi Septiyanto³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kab. Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia

¹habib.tri.toi20@polban.ac.id, ^{2*}febi.ariefka@polban.ac.id, ³dwi.septiyanto@polban.ac.id

ABSTRAK

Menjaga kualitas air merupakan salah satu tantangan utama dalam budidaya tambak khususnya budidaya tambak udang. Kualitas air merupakan cerminan kondisi air tambak dalam beberapa parameter seperti oksigen terlarut dan kadar garam (salinitas). Kedua parameter tersebut dikatakan oleh beberapa peneliti menjadi parameter terpenting dalam keberlangsungan hidup udang. Namun, kedua parameter tersebut saling bertolak belakang sehingga rentan terjadi perubahan tingkat kadar pada kedua parameter yang membuat kualitas air tambak sering mengalami kegagalan panen. Maka dari itu, penelitian ini akan dirancang sistem kendali yang dapat beradaptasi dan menjaga kedua parameter tersebut. Sistem kendali ini dikembangkan berdasarkan sistem terdahulu dilakukan sebuah renovasi dengan karakteristik sistem yang *non-linear* dengan teknik pendekatan kendali *Fuzzy Inference System* (FIS) dimana tujuan parameter yang dikendalikan berjalan dengan stabil sesuai *setpoint* salinitas pada nilai 20 ppt dan oksigen terlarut 5,375 ppm dengan rata-rata *error* dibawah 10 persen, *overshoot* dibawah 10 persen, *oscillation* dibawah 5 persen, *rise time* dibawah 60s, dan *settling time* dibawah 60s. Sistem inferensi *fuzzy* diimplementasikan pada Raspberry Pi-4 yang sudah terintegrasi dengan 2 buah sensor dan 3 buah aktuator yang terpasang di tambak udang. Tambak udang akan berupa sistem sebuah *aquarium* berskala kecil dengan dua buah tabung silinder yang akan menjadi sumber utama air tawar dan air berkadar garam. Hasil dari renovasi ini menghasilkan sistem kendali pengaturan kecepatan motor dc untuk menjaga parameter salinitas dan oksigen terlarut dengan nilai rata-rata *error* 0,95 persen, *max overshoot* 5,56 persen, *max undershoot* 5,29 persen, *oscillation* 0 persen, rata-rata *rise time* 14,4s, *response time* 83,37s, dan *settling time* 77,5s.

Kata kunci: oksigen terlarut, logika *fuzzy*, Raspberry, kadar garam

ABSTRACT

Maintaining water quality is a significant challenge in pond cultivation, particularly in shrimp farming. Water quality is reflected through several parameters, with dissolved oxygen (DO) and salinity being the most critical for shrimp survival. These parameters are contradictory and highly sensitive to fluctuations, often leading to crop failure. To address this, an adaptive control system was designed to maintain both simultaneously. The system was developed as an improvement of a previous model, incorporating non-linear characteristics and applying a Fuzzy Inference System (FIS) control approach. Target values were 20 ppt salinity and 5.375 ppm DO, with performance criteria of average error less than 10 percent, overshoot less than 10 percent, oscillation less than 5 percent, rise time less than 60 seconds, and settling time less than 60 seconds. The FIS was implemented on a Raspberry Pi-4, integrated with two sensors and three actuators in a shrimp pond. The pond was modeled as a small-scale aquarium equipped with freshwater and saltwater sources controlled by DC motors. Experimental results showed that the system effectively regulated motor speed to control salinity and DO. It achieved an average error of 0.95 percent, a maximum overshoot of 5.56 percent, a maximum undershoot of 5.29 percent, no oscillation, an average rise time of 14.4 seconds, a response time of 83.37 seconds, and a settling time of 77.5 seconds. These findings demonstrate that the renovated control system successfully stabilized water quality parameters, thereby enhancing shrimp survival in controlled pond environments.

Keywords: dissolved oxygen, fuzzy logic, Raspberry, salinity

1. PENDAHULUAN

Kualitas air kolam tambak udang sangat mempengaruhi pertumbuhan udang yang dibudidayakan, maka dari itu kualitas air pada tambak udang penting untuk diamati dan dijaga khususnya dalam proses tumbuh kembang udang tersebut agar mendukung pertumbuhan optimal [1], [2]. Kualitas air pada proses

budidaya udang bersifat dinamis serta akan berfluktuasi sepanjang waktu [3]. Kualitas air kolam tambak udang memiliki peran utama dalam pertumbuhan biota yang dibudidayakan, di mana kualitas air sangat penting untuk mempertahankan daya dukung yang ada pada air kolam tersebut sehingga mengurangi kemungkinan adanya kegagalan panen [4], [5].

Banyak petani udang masih melakukan *monitoring* secara berkala dan harus mengontrol kondisi kualitas air tambak secara manual. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan sebuah *controlling* atau pengendalian untuk menjaga semua parameter kualitas air tambak secara otomatis dan terukur. Parameter-parameter kualitas air memiliki pengaruh dalam metabolisme tubuh udang, proses pencernaan, keaktifan mencari pakan, dan tumbuh kembang udang [6], yaitu suhu, oksigen terlarut (*dissolved oxygen (DO)*), pH (*Potential of Hydrogen*) dan salinitas air [7], [8].

Salinitas air mempengaruhi Tingkat Kerja Osmotik (TKO), tekanan osmotik pada fase *premolt* dan *intermolt* adalah salinitas yang baik dalam pertumbuhan dan perkembangan udang [9]. Apabila media salinitas memiliki nilai rentang yang rendah, maka pertumbuhan udang semakin rendah [10].

Suhu dan oksigen terlarut adalah faktor utama yang memiliki pengaruh terhadap nafsu makan, metabolisme, serta tumbuh kembang udang. Di mana suhu air sangat mempengaruhi proses kimia maupun biologi dalam air [11]. Kandungan oksigen terlarut dalam air yang mengalami penurunan akan menyebabkan penurunan tingkat keberlangsungan hidup dan produksi udang, selain itu memiliki pengaruh pada kenaikan konversi pakan (*Feed Conversion Ratio/FCR*). Sementara itu, fluktuasi pH air yang besar ($>0,5$) akan berpengaruh terhadap nafsu makan udang. Nilai pH yang tinggi (>8) berdampak pada peningkatan kandungan amonia dalam air, sehingga akan mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan udang [12].

Beberapa penelitian mengenai kualitas air tambak untuk budidaya udang telah banyak dilakukan baik berupa hanya pengamatan jarak jauh, jarak dekat, maupun pengendalian otomatis dengan tujuan yang sama yaitu menjaga semua parameter kualitas air tambak. Tidak hanya itu, pengendalian otomatis memiliki peran penting dalam hal akurasi dan meminimalisir campur tangan manusia agar sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan dengan respon yang cepat dan minimum *error*.

Fuady dkk. (2013) melakukan penelitian mengenai nilai parameter kualitas air budidaya intensif, di mana kadar oksigen terlarut memiliki rentang antara 3,9 – 7,8 mg/L, nilai pH memiliki rentang antara 6,47 – 7,65, nilai parameter suhu memiliki rentang pada 24 – 29 °C, parameter kecerahan memiliki nilai rentang antara 20 – 39 cm, parameter salinitas memiliki nilai rentang pada 15 – 19 ppt, nilai kandungan nitrit pada rentang 0,010 – 0,052 mg/L, dan nilai kandungan amonia pada rentang 0,006 – 0,017 mg/L [13]. Penelitian serupa dilakukan oleh [14], di mana rentang oksigen terlarut pada 4,83 – 6,51 mg/L, parameter pH pada rentang 8,1 – 8,5, parameter suhu pada rentang 28 – 31 °C, parameter salinitas pada rentang 20 – 21 ppt, kandungan nitrit pada 0,3 – 0,4 mg/L, kandungan nitrat pada rentang 1,25 – 1,35 mg/L, serta kandungan amonia pada rentang 0,01 – 0,03 mg/L.

Supriatna dkk. (2020) telah melakukan penelitian terkait hubungan tingkat keasaman (pH) dengan parameter kualitas air pada tambak udang vannamei di daerah Jawa Timur. Penelitian berupa penentuan nilai parameter yang optimal untuk tumbuh kembang udang khususnya udang vannamei dengan metode penelitian analitik dan kajian fenomena intensif. Hasil penelitian didapatkan nilai parameter untuk tumbuh kembang udang yang optimal yaitu oksigen terlarut sebesar 4 – 7 mg/L atau 4 – 7 *part per million* (ppm) dan salinitas sebesar 15 – 25 g/L atau 15 – 25 *part per thousand* (ppt) [15]. Sementara itu, Pudir (2021) telah melakukan penelitian berupa rancangan sebuah alat yang dapat melakukan proses *monitoring* ketiga parameter yaitu oksigen terlarut, pH, dan salinitas secara *real time* dari jarak jauh melalui ponsel pintar dan mengendalikannya agar tetap pada kondisi yang diperlukan [16]. Peneliti menggunakan *platform* IoT dan *Fuzzy Logic* dalam pengendalian dan pemantauan secara jarak jauh dimana alat tersebut dapat memantau ketiga parameter tersebut, kendali *ON – OFF* didapatkan hasil berupa alat dapat mempertahankan kondisi parameter tersebut tetapi *Fuzzy Logic* tidak dapat mengatur sistem kendali *ON – OFF*. Peneliti tidak mencantumkan data hasil respon seperti *error*, *overshoot*, dan *settling time* yang dinilai penting dalam parameter hal ini dikarenakan peneliti hanya menggunakan kendali *ON-OFF*.

Sementara itu, sistem *Water Quality Control and Monitoring* (WQCM) merupakan metode implementasi penelitian yang dilakukan oleh Natan dkk. (2019) [17]. Natan dkk. mengimplementasikan pemantauan dan pengontrolan kualitas air budidaya udang di dalam ruangan dengan parameter yang dijaga yaitu oksigen terlarut, pH, salinitas, dan suhu. Peneliti menggunakan mini-PC dan sebuah mikrokontroler yang sudah terintegrasi di dalam tambak. Hasil penelitian berupa oksigen terlarut

dengan *set point* 6 ppm ditambah gangguan masih terdapat *error* sebesar 6%, *overshoot* 2% dan terdapat osilasi [17]. Parameter seperti suhu, salinitas, dan pH tidak dilakukan pengendalian, hanya berupa *monitoring* yang dikirimkan dengan teknologi IoT ke ponsel pintar. Hal serupa telah dilakukan juga dimana hanya berupa rancangan untuk pemantauan pada sebuah akuarium ikan dengan beberapa parameter yaitu suhu, pH, ketinggian air, pakan ikan, dan salinitas berbasis IoT dan dikirimkan melalui SMS sebagai *early warning system* dan *monitoring* [18].

Fuzzy Logic berbasis mikrokontroler Arduino Uno berhasil dilakukan oleh Wardhany dkk. (2018) dalam menjaga kualitas dengan parameter pH, temperatur, dan salinitas dengan sistem tambak udang berskala kecil di dalam akuarium. Berdasarkan penelitian tersebut, masih terdapat *error steady state* pH sebesar 10,5%, *error* suhu sebesar 0,05% dan salinitas sebesar 14,9% [19]. Penelitian yang dilakukan oleh Junda (2018) hanya berfokus pada perbandingan beberapa tambak dengan beberapa parameter yang dijaga, hasil dari pengamatan tersebut didapatkan hasil terbaik pada tambak ke enam dengan parameter DO berkisar 3,5 – 5,1 mg/L, pH berkisar 7,5 – 8,6, salinitas berkisar 15 – 22 ppt, dan temperatur berkisar 29 – 33 °C [20]. Tangguda dkk (2018) mendapatkan hasil yang terbaik dengan membandingkan tiga air tambak sebagai penentuan parameter terbaik untuk keberlangsungan hidup udang dimana suhu optimal berkisar 28 – 32 °C, pH berkisar 6,8 – 9,0, DO berkisar 4 – 7 mg/L [21].

Penelitian yang dilakukan oleh Umam dan Budiarto (2018) berhasil merancang sistem dengan basis IoT menggunakan SBC Raspberry PI untuk mengontrol dan memantau kualitas air tambak di Madura dengan metode *Fuzzy Logic*, sistem berupa sebuah akuarium kecil dengan integrasi sensor pH, sensor suhu, sensor *ultrasonic* (level), dan sensor tingkat oksigen terlarut (DO). Kesimpulan dari perancangan alat tersebut berhasil dilakukan dan alat dapat bekerja dengan baik dengan kendali *ON – OFF* [22]. Namun, peneliti tidak menjabarkan hasil respon dan *error* dari kendali tersebut. Sedangkan, penelitian yang dilakukan oleh Faruq yaitu sebuah alat rancangan yang dapat terkoneksi dengan internet (IoT) untuk memantau kualitas air tambak udang dari jarak jauh, peneliti hanya berfokus dalam pengambilan data yang akan dikirimkan dari sensor pH, sensor salinitas, sensor suhu, sensor ultrasonik (*level*) ke mikrokontroler Arduino Uno sebagai *input* sensor, Arduino membaca dan mengirimkan hasil data dari sensor kepada SBC Raspberry PI 3 untuk *database* sehingga data tersebut bisa berguna di kemudian hari dengan sistem *cloud* [23].

PID – *Gain Scheduling* dan IoT menjadi metode utama yang dilakukan oleh peneliti Pratama dalam menjaga kualitas air dengan parameter oksigen terlarut (DO), dan suhu berbasis mikrokontroler arduino R3, implementasi dilakukan pada sebuah rancangan alat berskala kecil dengan dua silinder tabung sebagai *supply* asam dan basa untuk menetralkan air yang dijaga. Didapatkan hasil berupa *error* 0%, *overshoot* 5% dan *settling time* 3520 *second* [24]. Sedangkan, penelitian yang sama dilakukan oleh Barus hanya berfokus pada pengendalian pH dengan *plant* yang sama yang dilakukan oleh peneliti diatas, didapatkan hasil berupa *error* 0%, *overshoot* 12,29% dan *settling time* memerlukan selama 95 *second* [25].

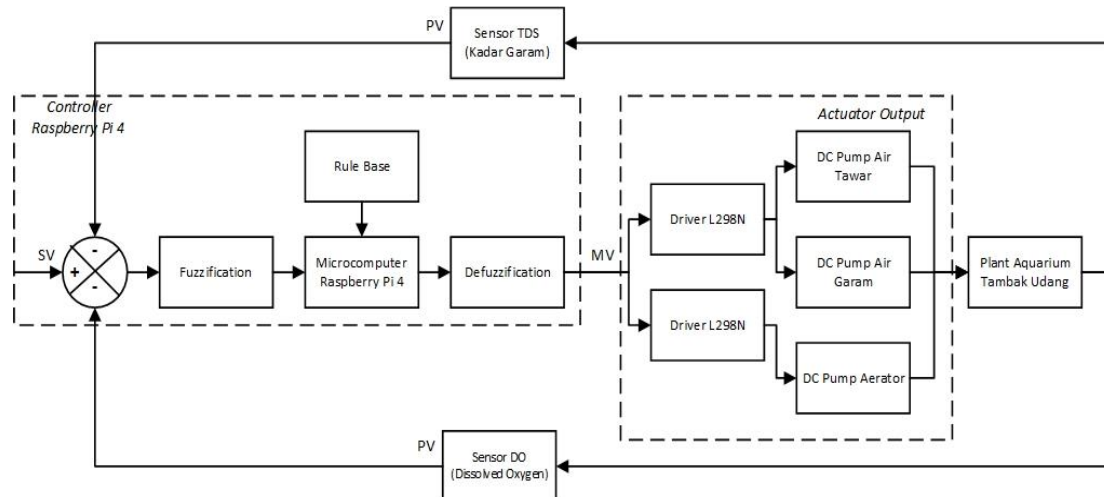
Berdasarkan tinjauan pustaka, terdapat berbagai macam penelitian yang sudah dilakukan berupa regulasi, penentuan parameter yang ideal, dan implementasi baik *monitoring* maupun *controlling* untuk menjaga parameter dalam tambak udang. Maka dari itu, penelitian ini akan berfokus pada sistem kendali untuk mengoptimalkan proses pengendalian dengan ruang lingkup parameter hanya pada kadar oksigen terlarut dan salinitas berbasis Raspberry Pi 4 menggunakan metode *Fuzzy Logic* dengan tujuan menekan *error* <10%, *overshoot* <10%, *oscillation* <5%, *settling time* <180 *seconds*, *response time* <120 *seconds*, dan *rise time* <60 *seconds*.

2. METODE PENELITIAN

Pada bagian metode penelitian, akan dijelaskan terkait bagaimana rancangan diagram blok dari sistem secara keseluruhan dan diagram blok dari perancangan *hardware* serta proses perancangan kendali *fuzzy logic* menggunakan aplikasi MATLAB.

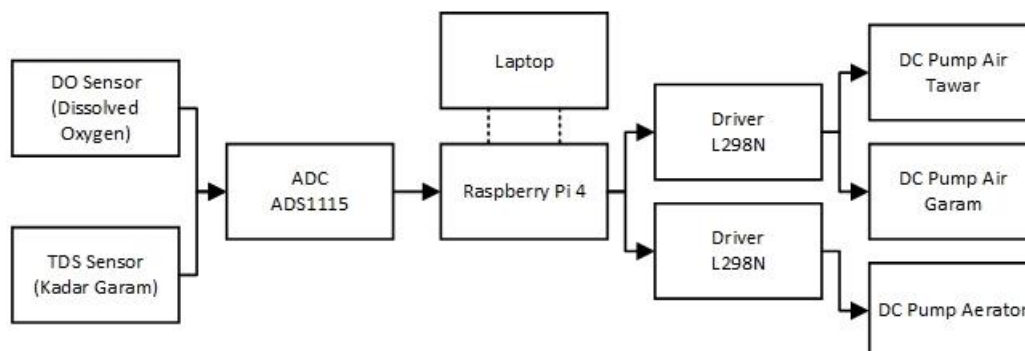
2.1 Diagram Blok Proses *Hardware*

Diagram blok proses merepresentasikan prinsip kerja alat keseluruhan yang digunakan, dan diperlihatkan dalam diagram blok proses *hardware* pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok prinsip kerja alat keseluruhan

Pada Gambar 1, *Set Variable* (SV) sebagai *input* ditentukan dari *controller* yaitu Raspberry Pi 4, SV akan dibandingkan dengan nilai *input* berupa hasil pembacaan dari masing-masing sensor yaitu sensor kadar garam dan sensor tingkat oksigen terlarut sebagai nilai dari *Present Value* (PV). Hasil dari perbandingan tersebut akan memperoleh nilai *error*, nilai *error* ini akan direspon oleh *controller Single Board Computer* (SBC) Raspberry Pi 4 yang akan mengeluarkan *output* berupa nilai hasil dari perhitungan algoritma *Fuzzy Logic* yang ditanamkan. Nilai *output* berupa *Manipulated Value* (MV) yang akan masuk dan diproses oleh *driver* motor L298N, motor *driver* ini akan memproses nilai keluaran dari Raspberry Pi 4 dengan mengkonversikan nilai berupa kecepatan untuk ketiga DC motor dengan sistem *switching* yang terjadi pada *driver L298N H-Bridge*. *Output* akhir akan terbaca kembali oleh sensor sebagai nilai *input* pembandingan pada *controller*.

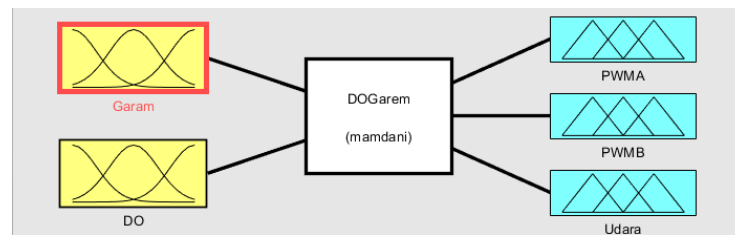


Gambar 2. Diagram blok perancangan hardware

Berdasarkan diagram blok alat pada Gambar 2, sensor *Dissolved Oxygen* (DO) dan sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) akan membaca masing-masing berupa kadar oksigen terlarut dan kadar garam terlarut pada air tambak, nilai yang dikeluarkan sensor yaitu tegangan masing – masing sebesar 0 – 2,3 VDC dan 0 – 3VDC berupa sinyal *analog*. Raspberry Pi 4 tidak dapat menerima sinyal berbentuk *analog* maka dari itu dibutuhkan *converter* berupa *Analog to Digital Converter* (ADC) ADS1115 untuk menjadikan sinyal berupa *digital*. Raspberry Pi 4 berperan sebagai *controller* utama yang saling terhubung dengan laptop sebagai *interface controller*. *Controller* akan memproses sinyal atau nilai yang masuk dari sensor dan menerjemahkan dari sistem yang tertanam berupa *Fuzzy Logic*, *output* sinyal berupa tegangan akan masuk dan diproses oleh *driver* motor L298N sebagai konversi nilai untuk mengendalikan kecepatan motor DC *Aerator* dan *Submersible* dengan proses *switching* yang terjadi pada *driver*.

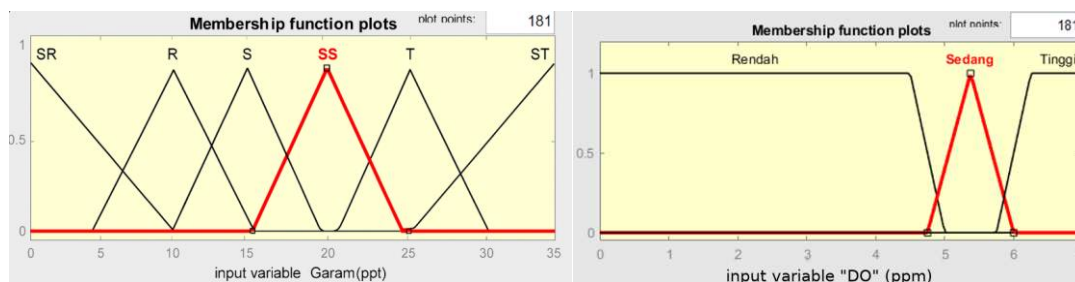
2.2 Perancangan Kendali Fuzzy Logic dengan Software MATLAB

Perancangan kendali *Fuzzy Logic* dengan menggunakan aplikasi MATLAB, penulis menggunakan *toolbox fuzzy logic designer* dengan arsitektur pada Gambar 3.



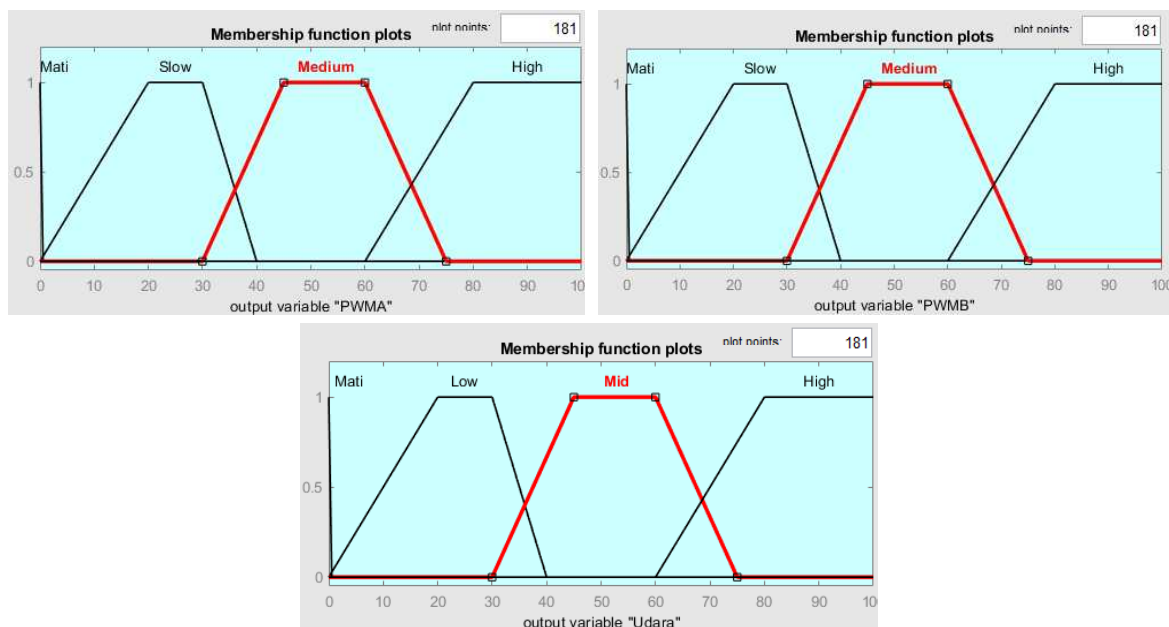
Gambar 3. Rancangan kendali fuzzy logic

Pada Gambar 3, terlihat arsitektur FIS (*Fuzzy Inference System*) yang telah dirancang, terdapat 2 *input* dan 3 *output* dengan menggunakan *Fuzzy Logic* pendekatan Mamdani, metode AND yang digunakan pada komposisi aturan adalah MIN sedangkan OR menggunakan MAX, implikasi menggunakan MIN sedangkan agregasi menggunakan MAX. Pada proses defuzzifikasi menggunakan pendekatan *centroid*. Fungsi keanggotaan untuk 2 input kendali fuzzy logic ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Fungsi keanggotaan input kendali fuzzy logic

Fungsi keanggotaan *output* PWM A, memiliki tiga set himpunan fuzzy, yaitu *slow*, *medium*, dan *high*, untuk fungsi keanggotaan *output* PWM B, yaitu *slow*, *medium*, *high*, dan untuk fungsi keanggotaan *output* PWM C, yaitu *low*, *mid*, *high*, yang tertera pada Gambar 5.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan output kendali logika fuzzy

Setelah set himpunan fuzzy logic ditentukan, selanjutnya dibuat *rule base* (aturan-aturan fuzzy) yang akan digunakan dalam proses *input* menjadi *output* yang dikehendaki. Berikut merupakan *rule base* fuzzy logic yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Rule base kendali fuzzy logic

		Oksigen Terlarut (<i>Dissolved Oxygen</i>)		
Salinitas		Rendah	Sedang	Tinggi
	SR	A) <i>High</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>High</i>	A) <i>High</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>Mid</i>	A) <i>High</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>Low</i>
	R	A) <i>Medium</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>High</i>	A) <i>Medium</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>Mid</i>	A) <i>Medium</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>Low</i>
	S	A) <i>Slow</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>High</i>	A) <i>Slow</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>Mid</i>	A) <i>Slow</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>Low</i>
	SS	A) <i>Mati</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>High</i>	A) <i>Mati</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>Mid</i>	A) <i>Mati</i> ; B) <i>Mati</i> ; C) <i>Low</i>
	T	A) <i>Mati</i> ; B) <i>Medium</i> ; C) <i>High</i>	A) <i>Mati</i> ; B) <i>Medium</i> ; C) <i>Mid</i>	A) <i>Mati</i> ; B) <i>Medium</i> ; C) <i>Low</i>
	ST	A) <i>Mati</i> ; B) <i>High</i> ; C) <i>High</i>	A) <i>Mati</i> ; B) <i>High</i> ; C) <i>Mid</i>	A) <i>Mati</i> ; B) <i>High</i> ; C) <i>Low</i>

Dengan keterangan:

A) = *Output* PWM Motor A

B) = *Output* PWM Motor B

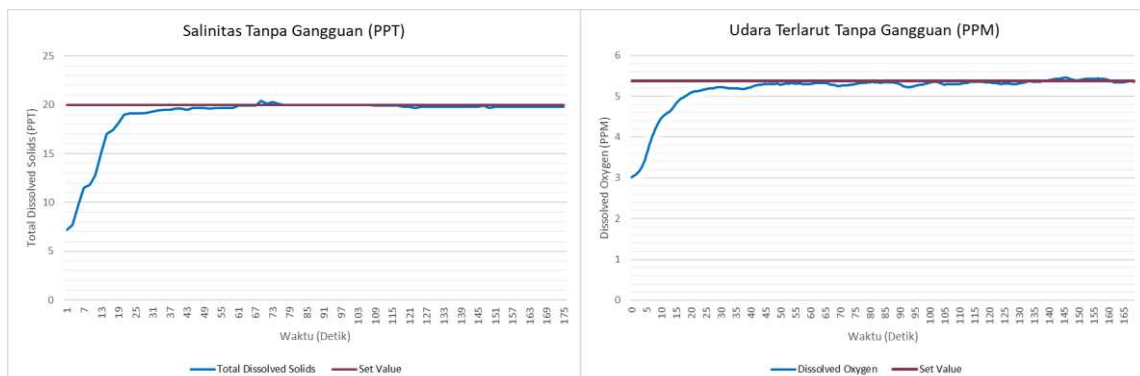
C) = *Output* PWM Motor C Udara

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan, akan memaparkan hasil pengujian yang telah dilakukan, di mana pengujian dilakukan bertujuan untuk melihat performa sistem yang sudah dirancang dan dibuat. Pada tahap pengujian sistem pengendali *fuzzy logic* akan dibagi dua yaitu uji tanpa gangguan dan uji gangguan berupa penambahan kadar garam dan *supply* oksigen melebihi *set-point* untuk melihat apakah pengendali mampu menstabilkan sistem.

3.1 Pengujian Pengendali Fuzzy Logic Salinitas dan Oksigen Terlarut Tanpa Gangguan

Pengujian pengendali *fuzzy logic* dari kondisi *transient* dan program dimulai, *set-point* salinitas sebesar 20 PPT dan *set-point* oksigen terlarut sebesar 5,375 PPM yang ditunjukkan pada Gambar 6.



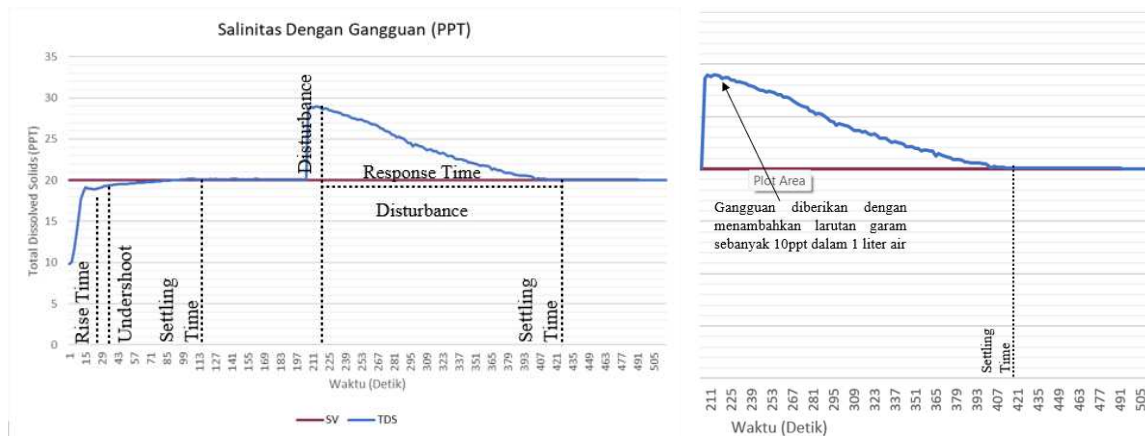
Gambar 6. Grafik pengujian fuzzy salinitas dan DO tanpa gangguan

Berdasarkan pada grafik pengujian *fuzzy logic* salinitas tanpa gangguan di Gambar 6, respon terlihat dengan sistem untuk mencapai *rise time* yaitu 19 detik, *response time* 61 detik, *overshoot* terjadi pada detik 69 dengan *max overshoot* sebesar 2%, mencapai *settling time* pada 77 detik. Pengendalian *fuzzy logic* salinitas tanpa gangguan sistem mampu menjaga nilai *set-point* sebesar 20 PPT. Namun, terjadi penurunan nilai salinitas menjauhi *set-point* pada detik 123 yang menjadi *average error steady state* sebesar 0,969%.

Berdasarkan pada grafik pengujian *fuzzy* DO/Udara Terlarut tanpa gangguan di Gambar 6, respon terlihat dengan sistem untuk mencapai *rise time* membutuhkan 15,5 detik, *undershoot* terjadi pada detik 37,5 dengan *max undershoot* sebesar 3,7%, mencapai *response time* dan *settling time* pada detik 44,5. Pengendalian *fuzzy logic* oksigen terlarut tanpa gangguan sistem mampu mendekati nilai *set-point* sebesar 5,3 PPM sedangkan *set-point* diatur pada nilai 5,375 PPM yang artinya masih terdapat *error* 1,39%. Namun, terjadi penurunan nilai oksigen terlarut menjauhi *set-point* pada detik 70 yang menjadi *average error steady-state* sebesar 0,995%.

3.2 Pengujian Pengendali *Fuzzy Logic* Salinitas dengan Gangguan

Pengujian pengendali *fuzzy logic* pada saat kondisi *transient* dan program dimulai, *set-point* diatur sebesar 20 PPT yang tertera pada Gambar 7.

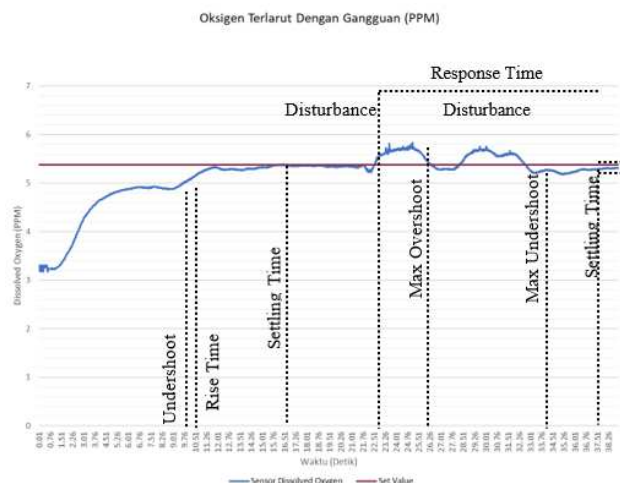


Gambar 7. Grafik pengujian *fuzzy* salinitas dengan gangguan

Berdasarkan pada grafik pengujian *fuzzy logic* salinitas dengan gangguan pada Gambar 7, gangguan diberikan dengan menambahkan garam sebanyak 10 ppt yang terkandung pada 1 liter atau 1000 ml larutan air garam ke dalam *aquarium* tambak udang, respon terlihat sistem dapat mencapai *set-point* dengan *rise time* membutuhkan 14 detik, *undershoot* terjadi pada detik 37,5 dengan *max undershoot* sebesar 5,53%, sistem mencapai *settling time* pada detik 100. Pengendalian *fuzzy logic* salinitas dengan gangguan sistem mampu menjaga *set-point* yang diatur pada nilai 20 PPT setelah diberi gangguan hingga mencapai *settling time* kembali pada detik 413, *response time* selama 213 detik, dan *average error steady-state* sebesar 0,3%.

3.3 Pengujian Pengendali *Fuzzy Logic* Oksigen Terlarut dengan Gangguan

Pengujian pengendali *fuzzy logic* pada saat kondisi *transient* dan program dimulai, *set-point* sebesar 5,375 PPM yang tertera pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengujian *fuzzy* oksigen terlarut dengan gangguan

Berdasarkan Gambar 8 dalam grafik pengujian *fuzzy logic* oksigen terlarut dengan gangguan, gangguan diberikan dengan memberikan supply udara tambahan dan sirkulasi di dalam *aquarium* tambak udang, respon terlihat sistem dapat mencapai *set-point* dengan *rise time* membutuhkan 9,16 detik, *undershoot* awal terjadi pada detik 9,08 dengan *max undershoot* awal sebesar 9,13%, sistem mencapai *settling time* pada detik 15,75. Pengendalian *fuzzy logic* oksigen terlarut dengan gangguan, sistem mampu mendekati nilai *set-point* yang diatur pada nilai 5,375 PPM namun sistem mengalami dua kali *overshoot* dan satu kali *undershoot* setelah diberi gangguan hingga mencapai *settling time*.

kembali pada detik 36,75. Sistem membutuhkan 15 detik total untuk memperbaiki keadaan dengan rincian *max overshoot* sebesar 8,52%, *max undershoot* sebesar 2,8%, *response time* 15 detik, dan *average error steady-state* sebesar 1,55%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil data pengujian yang telah didapatkan pada pengendalian salinitas dan oksigen terlarut dengan metode *fuzzy logic* pendekatan mamdani dapat disimpulkan bahwa sistem secara keseluruhan yang menerapkan pengendali *fuzzy logic* menghasilkan nilai rata-rata *response time* 83,37 detik, nilai *error steady-state* 0,95%, *max overshoot* 5,56%, *max undershoot* 5,29% dan tidak terdapat adanya indikasi osilasi, *rise time* 14,4 detik dan *settling time* 77,5 detik. Untuk penelitian selanjutnya yang akan membahas topik serupa, berikut ini beberapa saran yang dapat penulis sampaikan agar penelitian yang akan dilakukan dapat lebih baik, yaitu menambahkan parameter seperti suhu dan kekeruhan, di mana parameter tersebut sebagai kompensasi oksigen terlarut agar pembacaan oksigen terlarut semakin akurat, serta melakukan pengendalian menggunakan metode *machine learning* seperti ANFIS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini, khususnya kepada Politeknik Negeri Bandung yang sangat membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] S. Bahri and Ridwan, "Monitoring dan Pengaturan Oksigen Terlarut untuk Menjaga Kualitas Air pada Budidaya Udang Vannamei Berbasis Logika Fuzzy," *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, vol. 4, no. 2, pp. 111–120, 2021.
- [2] R. C. Yustihan and M. Taufiqurrohman, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Dissolved Oxygen dan Power of Hydrogen pada Air Tambak Budidaya Udang Vaname Berbasis Internet of Things," *Jurnal Borneo Informatika & Teknik Komputer*, vol. 3, no. 2, pp. 34–44, Oct. 2023.
- [3] H. Ariadi, *Oksigen Terlarut dan Siklus Ilmiah pada Tambak Intensif*. Blitar: Guepedia, 2020.
- [4] H. Latuconsina, *Ekologi Perairan Tropis: Prinsip Dasar Pengelolaan Sumber Daya Hayati Perairan*, 3rd ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2020.
- [5] H. S. Suwoyo, "Kajian Kualitas Air pada Budidaya Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) Sistem Tumpang Sari di Areal Mangrove," *Berkala Perikanan Terubuk*, vol. 39, no. 2, pp. 25–40, Nov. 2012, doi: doi.org/10.31258/TERUBUK.39.2.%25P.
- [6] R. W. Haliman and D. Adijaya, *Udang Vannamei*. Jakarta: Penebar Swadaya, 2005.
- [7] Supono, *MANAJEMEN KUALITAS AIR UNTUK BUDIDAYA UDANG*, 1st ed. Bandar Lampung: AURA (CV. Anugrah Utama Raharja), 2018.
- [8] B. Supriyadi and A. Androva, "Perancangan dan Pembuatan Aerator Kincir Angin Savonius Darrieus sebagai Penggerak Pompa untuk Aerasi Tambak," *Jurnal Riptek*, vol. 9, no. 1, 2015.
- [9] S. Anggoro and Muryati, "Osmotic Respons of Tiger Shrimp (*Penaeus Monodon* Fab.) Juvenile and Adult at Various Level of Molting Stages and Salinity," *Buletin Penelitian dan Pengembangan Industri*, vol. 1, no. 2, pp. 59–63, 2006.
- [10] Muslim, "Efek Salinitas Rendah Terhadap Tingkat Kerja Osmotik dan Pertumbuhan Udang Windu," *Jurnal Ilmu-ilmu Perikanan dan Budidaya Perairan*, vol. 1, no. 1, pp. 43–48, Dec. 2003.
- [11] S. Goddard, *Feed Management in Intensive Aquaculture*, 1st ed. Boston, MA: Springer US, 1996. doi: 10.1007/978-1-4613-1173-7.
- [12] C. E. Boyd and J. F. Queiroz, "The Role and Management of Bottom Soils in Aquaculture Ponds," *INFOFISH International* 2/2014, pp. 22–28, 2014.
- [13] M. F. Fuady, - Haeruddin, and M. Nitisupardjo, "Pengaruh Pengelolaan Kualitas Air terhadap Tingkat Kelulushidupan dan Laju Pertumbuhan Udang VANAME (*Litopenaeus vannamei*) di PT INDOKOR BANGUN DESA, YOGYAKARTA," *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, vol. 2, no. 4, pp. 155–162, Oct. 2013, doi: 10.14710/marj.v2i4.4279.
- [14] A. Maghfiroh, S. Anggoro, and P. W. Purnomo, "Pola Osmoregulasi dan Faktor Kondisi Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang Dikultivasi di Tambak Intensif Mojo Ulujami Pemalang Osmoregulation Patterns and Factors of Vaname Shrimp Conditions (*Litopenaeus vannamei*) Cultivated in Intensive Mojo Ulujami Pemalang," *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, vol. 8, no. 3, pp. 177–184, Jul. 2019, doi: 10.14710/marj.v8i3.24253.

-
- [15] Supriatna, M. Mahmudi, M. Musa, and Kusriani, "Hubungan pH dengan Parameter Kualitas Air pada Tambak Intensif Udang Vannamei (*Litopenaeus Vennamei*)," *Journal of Fisheries and Marine Research*, vol. 4, no. 3, pp. 368–374, Oct. 2020.
- [16] U. Pudín, "Sistem Kendali dan Pemantauan untuk Oksigen Terlarut, pH, dan Suhu Air pada Tambak Udang menggunakan Logika Fuzzy," Tugas Akhir, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2021.
- [17] O. Natan, A. I. Gunawan, and B. S. B. Dewantara, "Design and Implementation of Embedded Water Quality Control and Monitoring System for Indoor Shrimp Cultivation," *EMITTER International Journal of Engineering Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 129–150, Jun. 2019, doi: 10.24003/emitter.v7i1.344.
- [18] F. E. Idachaba, O. J. Olowoleni, A. E. Ibhaze, and O. O. Oni, "IoT Enabled Real-Time Fishpond Management System," in *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2017 Vol 1*, San Fransisco, USA: WCECS 2017, Oct. 2017.
- [19] V. A. Wardhany, H. Yuliandoko, Subono, M. U. Harun AR, and I. G. Puja Astawa, "Fuzzy Logic Based Control System Temperature, pH and Water Salinity on Vanammei Shrimp Ponds," in *2018 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA)*, IEEE, Oct. 2018, pp. 145–149. doi: 10.1109/ELECSYM.2018.8615464.
- [20] M. Junda, "Development of Intensive Shrimp Farming, *Litopenaeus vannamei* In Land-Based Ponds: Production and Management," *J Phys Conf Ser*, vol. 1028, p. 012020, Jun. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1028/1/012020.
- [21] S. Tangguda, M. Fadjar, and E. Sanoesi, "PENGARUH TEKNOLOGI BUDIDAYA YANG BERBEDA TERHADAP KUALITAS AIR PADA TAMBAK UDANG INTENSIF," *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, vol. 6, no. 1, pp. 12–27, Jul. 2018, doi: 10.36706/jari.v6i1.7146.
- [22] F. Umam and H. Budiarto, "Water Quality Control for Shrimp Pond Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System : The First Project," *J Phys Conf Ser*, vol. 953, p. 012134, Jan. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/953/1/012134.
- [23] M. M. Faruq and D. Hirawan, "Water Quality Monitoring System in Vaname Shrimp at Tirtayasa District Based on Internet of Things," *Open Journal System UNIKOM*, vol. 1, 2017.
- [24] T. S. P. Pratama, B. Setiyono, and H. Afrisal, "Sistem Kontrol dan Pemantauan Kualitas Air pada Parameter Oksigen Terlarut dan Suhu," *Transmisi*, vol. 24, no. 1, pp. 38–47, Mar. 2022, doi: 10.14710/transmisi.24.1.38-47.
- [25] D. K. Barus, B. Setiyono, and H. Afrisal, "Sistem Kontrol dan Monitoring Kualitas Air pada Parameter pH," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 10, no. 4, pp. 626–632, Dec. 2021, doi: 10.14710/transient.v10i4.626-632.

