

Implementasi Logika Fuzzy untuk Kontrol pH dan Salinitas Air Tambak

Menik Nurhidayati, Berlian Al Kindhi, dan Fauzi Imaduddin Adhim
Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: berlian@its.ac.id

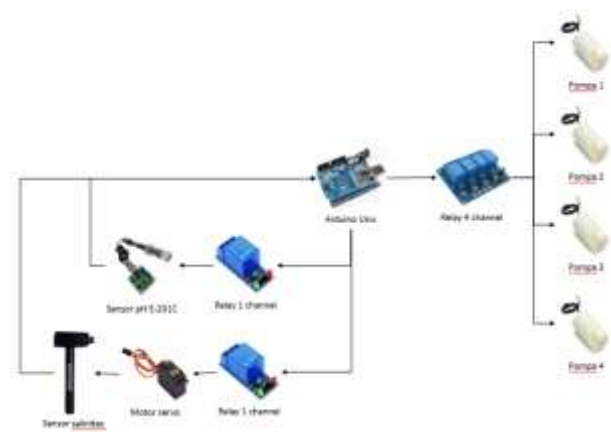
Abstrak—Salah satu aspek yang diperhatikan dalam budidaya udang yaitu pemeliharaan kualitas air. Manajemen kualitas air merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan oleh para pembudidaya untuk meningkatkan produksi udang vannamei. Kegiatan yang dapat dilakukan dalam manajemen kualitas air pemeliharaan adalah monitoring faktor fisika, kimia, biologi dan pengelolaan berupa pemberian perlakuan jika terjadi penyimpangan nilai optimal parameter. pH dalam suatu perairan dapat dijadikan indikator dari adanya keseimbangan unsur-unsur kimia ketersediaan unsur-unsur kimia dan unsur-unsur hara yang sangat bermanfaat bagi kehidupan vegetasi akuatik. Sistem kontrol pH dan salinitas air dengan memanfaatkan metode logika Fuzzy digunakan untuk menjaga nilai pH dan salinitas pada kisaran angka optimal. Proses perancangan dibuat dalam bentuk prototype. Tempat yang digunakan berupa box container dengan volume 90 liter. Beberapa komponen yang digunakan yaitu sensor pH, sensor salinitas, empat buah pompa, Arduino Uno, relay, dan larutan penstabil pH dan salinitas. Pengujian dilakukan menggunakan prototype tambak melalui box container. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor dengan alat ukur. Didapatkan hasil berupa presentase kesalahan untuk sensor Ph awal sebesar 9.55%, sedangkan untuk salinitas awal yaitu 22.08%. Sedangkan untuk presentase untuk pengukuran Ph akhir sebesar 10.54% dan salinitas akhir sebesar 12.44%.

Kata Kunci—Logika Fuzzy, Sensor Ph, Sensor Salinitas.

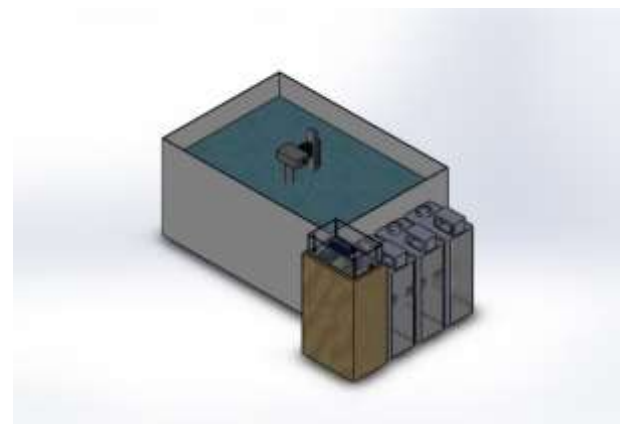
I. PENDAHULUAN

ASPEK-aspek yang perlu diperhatikan dalam usaha budidaya udang Vannamee pola sederhana yaitu persiapan tambak, kualitas benih, teknik penebaran, padat penebaran, manajemen pakan, pemeliharaan kualitas air, dan teknik panen [1]. Penyebab kegagalan dalam budidaya udang Vannamee terjadi saat proses pembesaran, terutama dari manajemen pakan dan kualitas air media pemeliharaan. Manajemen kualitas air merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan oleh para pembudidaya untuk meningkatkan produksi udang vannamee. Kegiatan yang dapat dilakukan dalam manajemen kualitas air pemeliharaan adalah monitoring faktor fisika, kimia, biologi dan pengelolaan berupa pemberian perlakuan jika terjadi penyimpangan nilai optimal parameter [2].

Kualitas air didefinisikan sebagai kesesuaian air bagi kelangsungan hidup dan pertumbuhan biota, umumnya ditentukan oleh beberapa parameter kualitas air saja yang disebut sebagai parameter penentu dan parameter penunjang. Parameter fisika yaitu suhu, kecerahan air, bau dan warna. Parameter kimia diantaranya derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (DO), karbondioksida (CO₂), salinitas, amoniak (NH₃), nitrit dan nitrat (NO₂- dan NO₃-). Parameter biologi yaitu macroinvertebrates, bacteria, phytoplankton, shellfish, tanaman air. Parameter penentu dalam budidaya udang Vanamee adalah suhu, salinitas, pH air, alkalinitas, kecerahan,



Gambar 1. Arsitektur sistem.



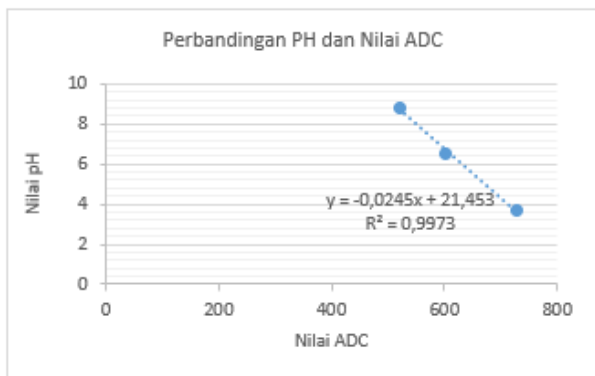
Gambar 2. Layout peralatan.

ketinggian air, oksigen terlarut, nitrit dan amoniak [3]. Sebagian besar manajemen kualitas air ditujukan untuk memperbaiki kondisi kimia dan biologi dalam media budidaya. Faktor fisika sering tidak dapat dikontrol atau tergantung dengan pemilihan lokasi yang sesuai. Faktor fisika sangat tergantung dengan kondisi geologi dan iklim suatu tempat. pH dalam suatu perairan dapat dijadikan indikator dari adanya keseimbangan unsur-unsur kimia ketersediaan unsur-unsur kimia dan unsur-unsur hara yang sangat bermanfaat bagi kehidupan vegetasi akuatik. Suatu perairan yang produktif dan mendukung kelangsungan hidup organisme akuatik terutama ikan yaitu berkisar 6-9 dan perubahan pH sangat berpengaruh terhadap proses kimia dan biologi organisme yang ada di perairan [4]. Dilihat dari ketersediaan teknologi yang dimiliki oleh petani udang, pembesaran udang dapat menerapkan teknologi yang terdiri dari teknologi sederhana, semi intensif, intensif, dan super intensif. Setiap teknologi memiliki nilai parameter yang optimal untuk memantau kualitas air.

Teknik pembesaran udang Vanamee dengan sistem intensif di Instalasi Budidaya Air Payau (IBAP) Lamongan-Jawa Timur meliputi persiapan tambak, persiapan air, penebaran



Gambar 3. Proses kalibrasi menggunakan larutan buffer.



Gambar 4. Grafik regresi linier untuk sensor pH.

benih, pemberian pakan, manajemen kualitas air, hama dan penyakit serta pemanenan [5]. Hasil survey di IBAP menunjukkan bahwa parameter yang diperhatikan dalam menjaga kualitas air adalah pH, suhu, Dissolved Oxygen (DO), tingkat kecerahan air, warna air, dan kadar garam (salinitas).

Hasil pengukuran kualitas air yang dilakukan petani tambak sederhana tidak tercatat dengan baik. Jumlah udang Vaname yang didapat disetiap panen tidak bisa meningkat ataupun konstan, bahkan cenderung tidak stabil. Upaya yang dilakukan oleh petani dalam menjaga kualitas air diantaranya, memberikan Kapur Dolomit untuk menjaga pH air, cairan probiotik EM4 untuk menstabilkan pH, dan menambahkan garam untuk menjaga kadar garam di air. Besar bahan yang ditambahkan dalam menjaga kualitas air juga tidak diperhitungkan dengan baik, hanya berdasarkan perkiraan yang mana tidak selalu berdampak baik bagi air maupun udang. Dari berbagai permasalahan yang dialami petani udang Vaname dibutuhkan suatu sistem kontrol untuk menjaga kualitas air tambak berada di kisaran angka parameter yang diinginkan.

II. PERANCANGAN PROTOTYPE TAMBAK

Pengaplikasian logika fuzzy digunakan untuk mengendalikan nilai ph dan salinitas air tambak dalam kisaran optimal. Pengendalian dilakukan dengan cara menambahkan larutan kapur untuk menjaga kondisi ph dan larutan garam untuk salinitas. Debit larutan yang dikendalikan melalui durasi pompa aktif. Dalam satu detik, pompa mampu mengalirkan cairan sebesar 22 ml, sehingga waktu tersebut nantinya akan diubah kedalam bentuk ml untuk mengetahui besar larutan yang ditambahkan.

Tabel 1.
Hasil pengukuran sensor pH

Larutan ke-	Nilai Ph	Nilai ADC	Nilai Tegangan	Pengukuran sensor
1	4.01	728.27	3.68	4.11
2	6.86	602.37	6.55	6.29
3	9.18	520.08	8.81	9.91

Tabel 2.
Daftar komposisi larutan garam dan nilai salinitas

Larutan ke-	Komposisi larutan (gr NaCl + 100 ml Air)	Nilai salinitas
1	1 gr	10
2	2 gr	19
3	3 gr	29
4	4 gr	40
5	5 gr	45
6	6 gr	51
7	7 gr	56
8	8 gr	68
9	9 gr	72
10	10 gr	80

Pengujian dilakukan dengan mengambil sampel air tambak yang diletakkan kedalam box container, box tersebut direpresentasikan sebagai area tambak.

A. Perancangan Sistem

Beberapa komponen yang dibutuhkan dalam penyusunan sistem ini terangkum dalam Gambar 1. Perangkat kontrol yang digunakan berupa Arduino Uno. Pengendalian Ph dan salinitas dilakukan dengan cara penambahan larutan yang mana dalam hal ini menggunakan empat pompa DC. Pompa 1 digunakan untuk mengalirkan larutan penstabil Ph. Pompa 2 untuk mengalirkan larutan garam dan pompa 3 mengalirkan air sungai. Berbeda dengan ketiga pompa tersebut, pompa 4 digunakan untuk mengeluarkan air dari box container seperti yang ditunjukkan Gambar 2.

B. Kalibrasi Sensor Ph

Sensor Ph yang digunakan yaitu tipe E-201C dan modul Ph 4502C. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan tiga jenis larutan buffer dengan nilai Ph yang telah diketahui yaitu 4.01, 6.86, dan 9.18. Sensor Ph mengambil nilai ADC setiap larutan kemudian dimasukan dalam analisis regresi linier menggunakan Microsoft Excel, sehingga didapatkan persamaan yaitu $y = -0.0245x + 21.453$ seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4. Hasil pengukuran sensor Ph terhadap ketiga jenis larutan buffer terangkum pada Tabel 1.

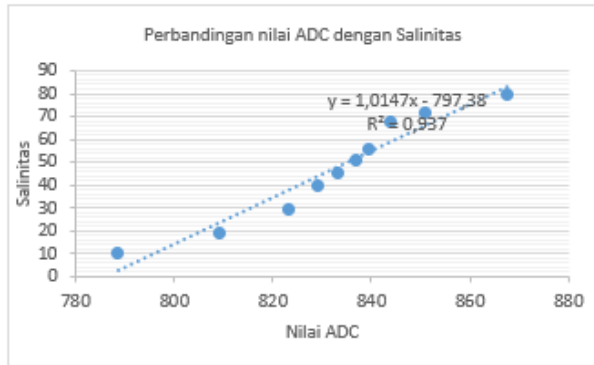
C. Kalibrasi Sensor Salinitas

Bahan yang digunakan untuk melakukan kalibrasi sensor kadar garam menggunakan 10 larutan garam yang memiliki nilai konsentrasi berbeda. Terlihat pada Tabel 2 menunjukkan komposisi larutan garam beserta nilai salinitasnya. Pengukuran nilai salinitas menggunakan alat ukur berupa Refractometer. Pengukuran dilakukan dengan cara mengambil setiap sampel air larutan menggunakan pipet, kemudian meletakkannya diatas permukaan kaca yang terdapat pada Refractometer seperti pada Gambar 5. kegiatan tersebut diulangi hingga 10 larutan.

Tahap kalibrasi dilanjutkan dengan pengukuran nilai ADC pada semua larutan menggunakan sensor kadar garam. Nilai ADC sensor akan terbaca melalui Arduino yang kemudian data tersebut akan disimpan dalam file Microsoft Excel. Pengambilan nilai ADC dilakukan kepada semua larutan.



Gambar 5. Pengukuran salinitas menggunakan Refractometer.



Gambar 6. Grafik regresi linier untuk sensor salinitas.

Selanjutnya nilai ADC dan salinitas yang telah terangkum dimasukkan dalam analisis regresi linier yang terdapat pada Microsoft Excel untuk mendapatkan nilai persamaan garisnya.

Pada Gambar 6 menunjukkan grafik garis linier untuk perbandingan nilai ADC dan salinitas dan persamaan matematika nya yaitu $y=1.0147x - 797.38$. Rumus tersebut nantinya dimasukkan dalam program kalibrasi di Arduino untuk mencari nilai salinitas. Hasil pengukuran nilai salinitas larutan terangkum pada Tabel 3. Tingkat akurasi hasil pengukuran menggunakan sensor mencapai sekitar 93%.

III. PENYUSUNAN LOGIKA FUZZY

Penerapan logika fuzzy mamdani untuk kontrol ph dan salinitas air tambak terdiri dari beberapa tahapan. Dimulai dari basis pengetahuan yang berisi kumpulan aturan (rule) yang berbentuk pernyataan if..then. fuzzifikasi berisi perubahan input sistem yang mempunyai nilai tegas (crisp) menjadi variabel linguistic (fuzzy). Interferensi merupakan tahapan perubahan input fuzzy menjadi output fuzzy dengan cara mengikuti aturan-aturan yang telah ditetapkan dalam basis pengetahuan. Defuzifikasi yaitu proses perubahan hasil dari tahap interferensi menjadi output yang bernilai tegas seperti yang ditunjukkan Gambar 7.

A. Membership Function

Input yang digunakan berupa variabel Ph dan salinitas yang masing-masing memiliki membership function seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13.

$$\mu_{ASAM}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 8 \\ \frac{8-x}{8-7.5}, & 7.5 \leq x \leq 8 \\ 1, & x \leq 7.5 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{NETRAL}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 7 \text{ atau } x \geq 9 \\ \frac{x-7}{7.5-7}, & 7 \leq x \leq 7.5 \\ 1, & 7.5 \leq x \leq 8.5 \\ \frac{9-x}{9-8.5}, & 8.5 \leq x \leq 9 \end{cases}$$

$$\mu_{BASA}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 8 \\ \frac{x-8}{8.5-8}, & 8 \leq x \leq 8.5 \\ 1, & x \geq 8.5 \end{cases}$$

$$\mu_{TAWAR}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 5.5 \\ \frac{5.5-x}{5.5-5}, & 5 \leq x \leq 5.5 \\ 1, & x \leq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{NORMAL}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 4.5 \text{ atau } x \geq 40.5 \\ \frac{x-4.5}{5-4.5}, & 4.5 \leq x \leq 5 \\ 1, & 5 \leq x \leq 40 \\ \frac{40.5-x}{40.5-40}, & 40 \leq x \leq 40.5 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{ASIN}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 39.5 \\ \frac{x-40}{40-39.5}, & 39.5 \leq x \leq 40 \\ 1, & x \geq 40 \end{cases}$$

$$\mu_{SEDIKIT_PH}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 30 \\ \frac{30-x}{30-5}, & 5 \leq x \leq 30 \\ 1, & x \leq 5 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{BANYAK_PH}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \\ \frac{x-30}{30-5}, & 5 \leq x \leq 30 \\ 1, & x \geq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{SEDIKIT_SALINITAS}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 30 \\ \frac{30-x}{30-5}, & 5 \leq x \leq 30 \\ 1, & x \leq 5 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{BANYAK_SALINITAS}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \\ \frac{x-30}{30-5}, & 5 \leq x \leq 30 \\ 1, & x \geq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{SEDIKIT_AIR}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 30 \\ \frac{30-x}{30-5}, & 5 \leq x \leq 30 \\ 1, & x \leq 5 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{BANYAK_AIR}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \\ \frac{x-30}{30-5}, & 5 \leq x \leq 30 \\ 1, & x \geq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{SEDIKIT_OUTLET}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 30 \\ \frac{30-x}{30-5}, & 5 \leq x \leq 30 \\ 1, & x \leq 5 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{BANYAK_OUTLET}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \\ \frac{x-30}{30-5}, & 5 \leq x \leq 30 \\ 1, & x \geq 30 \end{cases}$$

B. Aturan Logika Fuzzy

Aturan-aturan yang akan ditetapkan pada logika fuzzy biasanya berupa if...then. Terdapat 9 aturan (rule) yang akan digunakan seperti terangkum pada Tabel 4.

Tabel 3.
Hasil pengukuran sensor salinitas

Larutan ke-	Komposisi larutan (gr NaCl + 100 ml Air)	Nilai salinitas	Nilai ADC sensor	Hasil pengukuran
1	1 gr	10	788.6	8.90
2	2 gr	19	809.1	21.5
3	3 gr	29	823.1	34.1
4	4 gr	40	829	43.3
5	5 gr	45	833	51.6
6	6 gr	51	836.7	53.7
7	7 gr	56	839.3	60.7
8	8 gr	68	844	65.8
9	9 gr	72	851	73.6
10	10 gr	80	867.7	87.0

Tabel 4.
Aturan logika fuzzy

Rule 1	Jika ph asam dan salinitas tawar, maka P1 banyak_ph, P2 banyak_salinitas, P3 sedikit_air, P4 banyak_outlet
Rule 2	Jika ph asam dan salinitas normal, maka P1 banyak_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 sedikit_air, P4 banyak_outlet
Rule 3	Jika ph asam dan salinitas asin, maka P1 banyak_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 banyak_air, P4 banyak_outlet
Rule 4	Jika ph netral dan salinitas tawar, maka P1 sedikit_ph, P2 banyak_salinitas, P3 sedikit_air, P4 banyak_outlet
Rule 5	Jika ph netral dan salinitas normal, maka P1 sedikit_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 sedikit_air, P4 sedikit_outlet
Rule 6	Jika ph netral dan salinitas asin, maka P1 sedikit_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 banyak_air, P4 banyak_outlet
Rule 7	Jika ph basa dan salinitas tawar, maka P1 sedikit_ph, P2 banyak_salinitas, P3 sedikit_air, P4 banyak_outlet
Rule 8	Jika ph basa dan salinitas netral, maka P1 sedikit_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 sedikit_air, P4 sedikit_outlet
Rule 9	Jika ph basa dan salinitas asin, maka P1 sedikit_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 banyak_air, P4 banyak_outlet

C. Derajat Keanggotaan

1) Rule 1

Jika ph asam dan salinitas tawar, maka P1 banyak_ph, P2 banyak_salinitas, P3 sedikit_air, P4 banyak_outlet.

$$\begin{aligned} \alpha \text{ predikat}_1 &= \mu_{\text{asam}(x)} \cap \mu_{\text{tawar}(x)} \\ \alpha \text{ predikat}_1 &= \min(\mu_{\text{asam}(7.9)}; \mu_{\text{tawar}(4.8)}) \\ \alpha \text{ predikat}_1 &= \min(0.2; 1) \\ \alpha \text{ predikat}_1 &= 0.2 \end{aligned} \tag{7}$$

2) Rule 2

Jika ph asam dan salinitas normal, maka P1 banyak_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 sedikit_air, P4 banyak_outlet.

$$\begin{aligned} \alpha \text{ predikat}_2 &= \mu_{\text{asam}(x)} \cap \mu_{\text{tawar}(x)} \\ \alpha \text{ predikat}_2 &= \min(\mu_{\text{asam}(7.9)}; \mu_{\text{tawar}(4.8)}) \\ \alpha \text{ predikat}_2 &= \min(0.2; 0.6) \\ \alpha \text{ predikat}_2 &= 0.2 \end{aligned} \tag{8}$$

3) Rule 3

Jika ph asam dan salinitas asin, maka P1 banyak_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 banyak_air, P4 banyak_outlet.

$$\begin{aligned} \alpha \text{ predikat}_3 &= \mu_{\text{asam}(x)} \cap \mu_{\text{tawar}(x)} \\ \alpha \text{ predikat}_3 &= \min(\mu_{\text{asam}(7.9)}; \mu_{\text{tawar}(4.8)}) \\ \alpha \text{ predikat}_3 &= \min(0.2; 0) \end{aligned} \tag{9}$$

$$\alpha \text{ predikat}_3 = 0$$

4) Rule 4

Jika ph netral dan salinitas tawar, maka P1 sedikit_ph, P2 banyak_salinitas, P3 sedikit_air, P4 banyak_outlet.

$$\begin{aligned} \alpha \text{ predikat}_4 &= \mu_{\text{asam}(x)} \cap \mu_{\text{tawar}(x)} \\ \alpha \text{ predikat}_4 &= \min(\mu_{\text{asam}(7.9)}; \mu_{\text{tawar}(4.8)}) \\ \alpha \text{ predikat}_4 &= \min(1; 1) \end{aligned} \tag{10}$$

$$\alpha \text{ predikat}_4 = 1$$

5) Rule 5

Jika ph netral dan salinitas normal, maka P1 sedikit_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 sedikit_air, P4 sedikit_outlet.

$$\begin{aligned} \alpha \text{ predikat}_5 &= \mu_{\text{asam}(x)} \cap \mu_{\text{tawar}(x)} \\ \alpha \text{ predikat}_5 &= \min(\mu_{\text{asam}(7.9)}; \mu_{\text{tawar}(4.8)}) \\ \alpha \text{ predikat}_5 &= \min(1; 0.6) \end{aligned} \tag{11}$$

$$\alpha \text{ predikat}_5 = 0.6$$

6) Rule 6

Jika ph netral dan salinitas asin, maka P1 sedikit_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 banyak_air, P4 banyak_outlet.

$$\begin{aligned} \alpha \text{ predikat}_6 &= \mu_{\text{asam}(x)} \cap \mu_{\text{tawar}(x)} \\ \alpha \text{ predikat}_6 &= \min(\mu_{\text{asam}(7.9)}; \mu_{\text{tawar}(4.8)}) \\ \alpha \text{ predikat}_6 &= \min(1; 0) \end{aligned} \tag{12}$$

$$\alpha \text{ predikat}_6 = 0$$

7) Rule 7

Jika ph basa dan salinitas tawar, maka P1 sedikit_ph, P2 banyak_salinitas, P3 sedikit_air, P4 banyak_outlet.

$$\begin{aligned} \alpha \text{ predikat}_7 &= \mu_{\text{asam}(x)} \cap \mu_{\text{tawar}(x)} \\ \alpha \text{ predikat}_7 &= \min(\mu_{\text{asam}(7.9)}; \mu_{\text{tawar}(4.8)}) \\ \alpha \text{ predikat}_7 &= \min(0; 1) \end{aligned} \tag{13}$$

$$\alpha \text{ predikat}_7 = 0$$

8) Rule 8

Jika ph basa dan salinitas netral, maka P1 sedikit_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 sedikit_air, P4 sedikit_outlet.

$$\begin{aligned} \alpha \text{ predikat}_8 &= \mu_{\text{asam}(x)} \cap \mu_{\text{tawar}(x)} \\ \alpha \text{ predikat}_8 &= \min(\mu_{\text{asam}(7.9)}; \mu_{\text{tawar}(4.8)}) \\ \alpha \text{ predikat}_8 &= \min(0; 0.6) \end{aligned} \tag{14}$$

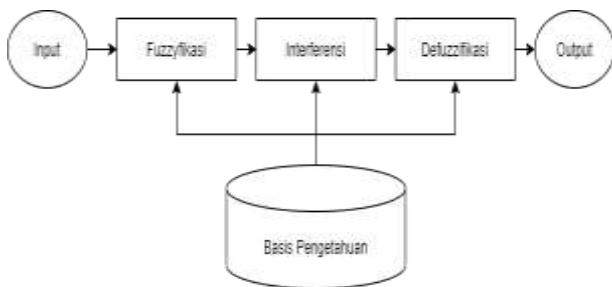
$$\alpha \text{ predikat}_8 = 0$$

9) Rule 9

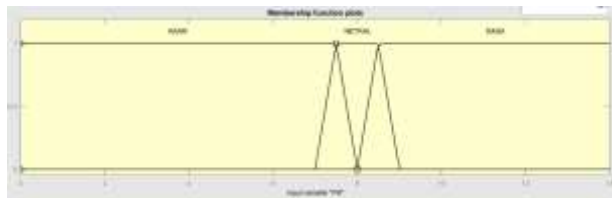
Jika ph basa dan salinitas asin, maka P1 sedikit_ph, P2 sedikit_salinitas, P3 banyak_air, P4 banyak_outlet.

$$\begin{aligned} \alpha \text{ predikat}_9 &= \mu_{\text{asam}(x)} \cap \mu_{\text{tawar}(x)} \\ \alpha \text{ predikat}_9 &= \min(\mu_{\text{asam}(7.9)}; \mu_{\text{tawar}(4.8)}) \\ \alpha \text{ predikat}_9 &= \min(1; 0) \end{aligned} \tag{15}$$

$$\alpha \text{ predikat}_9 = 0$$



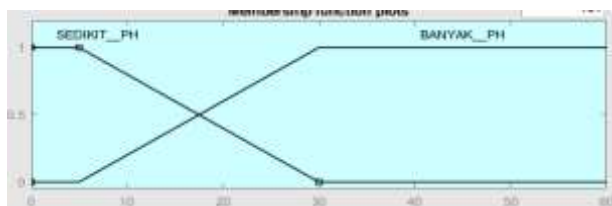
Gambar 7. Blok diagram sistem inferensi fuzzy.



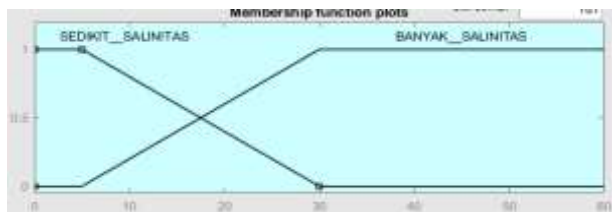
Gambar 8. Grafik keanggotaan Ph.



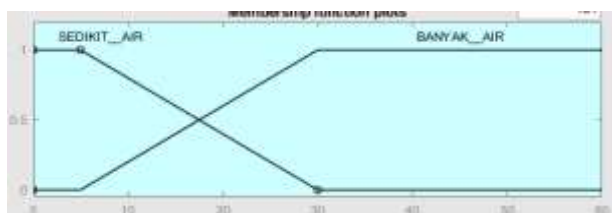
Gambar 9. Grafik keanggotaan salinitas.



Gambar 10. Grafik keanggotaan pompa_ph.



Gambar 11. Grafik keanggotaan pompa_salinitas.

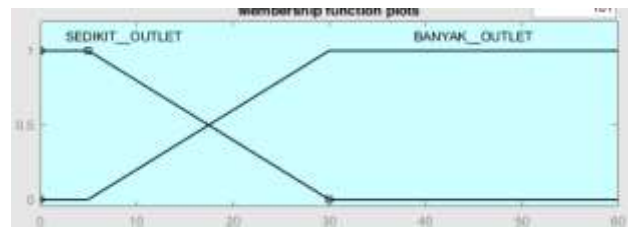


Gambar 12. Grafik keanggotaan pompa_air sungai.

IV. PENGUJIAN SISTEM

Pengujian sistem dilakukans sebanyak 10 kali untuk mengetahui besar larutan yang ditambahkan dalam menjaga Ph dan salinitas air tambak dalam kisaran yang optimal. Pengujian dilakukan pada prototype yang menggunakan box container berukuran 90 liter dengan volume air tambak yang digunakan sekitar 80 liter dengan hasil yg ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Dari hasil pengujian sejumlah 10x maka dapat dihitung besar presentase kesalahan pengukuran untuk parameter Ph dan salinitas.



Gambar 13. Grafik keanggotaan pompa_outlet

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran } pH_{awal} = \frac{\sum_{10} \% \text{kesalahan } pH \text{ setiap pengujian}}{10} \% \quad (16)$$

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran } pH_{awal} = \frac{95.48}{10} \%$$

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran } pH_{awal} = 9.55\%$$

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran salinitas}_{awal} = \frac{\sum_{10} \% \text{kesalahan salinitas setiap pengujian}}{10} \% \quad (17)$$

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran salinitas}_{awal} = \frac{220.76}{10} \%$$

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran salinitas}_{awal} = 22.08\%$$

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran } pH_{akhir} = \frac{\sum_{10} \% \text{kesalahan } pH \text{ setiap pengujian}}{10} \% \quad (18)$$

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran } pH_{akhir} = \frac{105.43}{10} \%$$

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran } pH_{akhir} = 10.54\%$$

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran salinitas}_{akhir} = \frac{\sum_{10} \% \text{kesalahan salinitas setiap pengujian}}{10} \% \quad (19)$$

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran salinitas}_{akhir} = \frac{124.45}{10} \%$$

$$\text{Rata - rata \% kesalahan pengukuran salinitas}_{akhir} = 12.44\%$$

Hasil presentase keseluruhan data digunakan untuk mencari nilai rata-rata seperti perhitungan diatas, sehingga didapatkan untuk presentase kesalahan pengukuran pada Ph awal sebesar 9.55% dan salinitas awal sebesar 22.08%. Kemudian untuk pengukuran Ph dan salinitas akhir sebesar 10.54% dan 12.44%.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil pengamatan perubahan pH dan salinitas di lima titik yang berbeda, maka dapat disimpulkan bahwa dalam satu area lahan sawah tidak cukup hanya menggunakan satu jenis sensor dan proses perubahan nilai parameter tidak dapat berlangsung cepat. Untuk mengatur kadar larutan yang digunakan untuk menstabilkan pH dan salinitas, dapat dikontrol menggunakan Logika Fuzzy yang mana harus dipastikan terlebih dahulu fungsi keanggotaan yang akan digunakan.

Pada sistem ini telah diujikan secara langsung penerapan logika fuzzy dalam pengambilan keputusan untuk menentukan besar volume larutan yang dibutuhkan untuk menjaga Ph dan salinitas dalam kisaran optimal. Hasil pengujian menunjukkan presentase kesalahan dalam pengukuran Ph awal sebesar 9.55% dan salinitas awal yaitu 22.08%. Sedangkan untuk presentase untuk pengukuran Ph akhir sebesar 10.54% dan salinitas akhir sebesar 12.44%. Nilai tersebut didapatkan dari hasil perbandingan antara pengukuran menggunakan alat ukur dengan sensor.

Tabel 5.
Hasil pengujian sistem

Pengujian Ke-	Pengukuran	Ph meter (Ph)	Refractometer (Salinitas)	Sensor Ph	Sensor salinitas	Pompa 1	Waktu pompa aktif		
							Pompa 2	Pompa 3	Pompa 4
1	Sebelum	7.20	9	7.15	9.50	35.78 detik	10.24 detik	10.24 detik	35.78 detik
	Sesudah	7.80	10	8.30	11				
2	Sebelum	12.10	5.5	12.45	6.00	10.24 detik	10.24 detik	10.24 detik	10.24 detik
	Sesudah	10.90	8.5	10.20	8				
3	Sebelum	9.56	5	13.38	3	10.24 detik	38.14 detik	10.24 detik	38.14 detik
	Sesudah	9.15	8	12.95	6.54				
4	Sebelum	7.05	4	7.45	5.58	31.71 detik	10.24 detik	10.24 detik	31.71 detik
	Sesudah	8.31	5	8.57	6.13				
5	Sebelum	4.05	5.5	4.45	5.89	38.14 detik	10.24 detik	10.24 detik	38.14 detik
	Sesudah	5.84	6	6.48	6.39				
6	Sebelum	6.28	3	6.50	3.99	38.14 detik	38.14 detik	10.24 detik	38.14 detik
	Sesudah	7.25	7	7.88	8.45				
7	Sebelum	8.14	9	8.65	10.53	10.24 detik	10.24 detik	10.24 detik	10.24 detik
	Sesudah	8.10	10	8.30	10.01				
8	Sebelum	6.75	5	7.32	5.80	33.12 detik	10.24 detik	10.24 detik	33.12 detik
	Sesudah	7.85	5.5	8.58	6.87				
9	Sebelum	5.15	4	5.78	5.10	38.14 detik	31.45 detik	10.24 detik	38.14 detik
	Sesudah	7.05	6	7.80	6.15				
10	Sebelum	6.85	5	7.31	6.30	33.26 detik	10.24 detik	10.24 detik	33.26 detik
	Sesudah	8.01	6	8.48	6.78				

Tabel 6.
Presentase kesalahan pengukuran

Pengujian Ke-	% kesalahan Pengukuran Ph Awal	% kesalahan Pengukuran Salinitas Awal	% kesalahan Pengukuran Ph Akhir	% kesalahan Pengukuran Salinitas Akhir
1	0.69%	5.56%	6.41%	10%
2	2.89%	9.10%	6.42%	5.88%
3	39.96%	40%	41.54%	18.25%
4	5.68	39.5%	3.13%	22.6%
5	9.88%	7.10%	10.96%	6.5%
6	3.5%	33%	8.69%	20.71%
7	6.27%	17%	2.47%	0.1%
8	8.44%	16%	9.30	24.91%
9	11.45%	27.5%	10.64%	2.5%
10	6.72%	26%	5.87%	13%

DAFTAR PUSTAKA

[1] E. A. Hendarajat, M. Mangampa, and H. Suryanto, "Budidaya udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) pola tradisional plus di kabupaten maros, sulawesi selatan," *Media Akuakultur*, vol. 2, no. 2, pp. 67–70, 2007.

[2] A. Manan and F. R. Putra, "Monitoring kualitas air pada tambak pembesaran udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) di Situbondo, Jawa Timur [Monitoring of water quality on rearing ponds of vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in Situbondo, Jawa Timur]," *J. Ilm. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 6, no. 2, pp. 137–142, 2014.

[3] M. N. Fahmi and others, "Manajemen Kualitas Air pada Pembesaran Udang Vannamei (*Litopenaeus vannamei*) dalam Tambak Budidaya Intensif di Balai Layanan Usaha Produksi Perikanan Budidaya (BLUPPB) Karawang, Jawa Barat," Universitas Airlangga, 2016.

[4] A. Sahrijana, "Variasi waktu kualitas air pada tambak budidaya udang dengan teknologi Integrated Multitrophic Aquaculture (IMTA) di Mamuju Sulawesi Barat," *J. Ilmu Alam dan Lingkung.*, vol. 8, no. 2, 2017.

[5] K. KINZELLA and others, "Teknik pembesaran udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) dengan sistem intensif di instalasi budidaya air payau (IBAP) Lamongan, Jawa Timur," Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga 2017.