

# Sistem *Wireless Sensor Network* untuk Kontrol Salinitas Air Menggunakan Metode Logika *Fuzzy Mamdani* pada Tambak Ikan Mujair

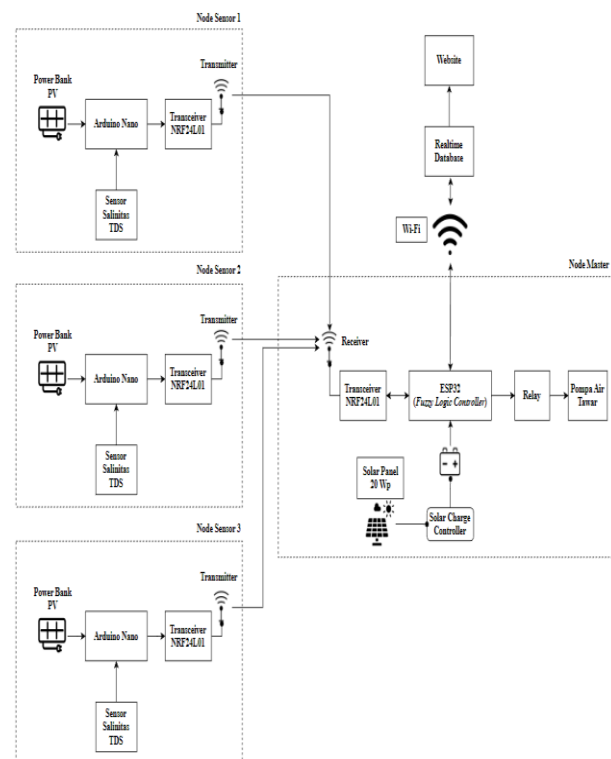
Putu Wibi Yumandana, Ciptian Weried Priandana, Lucky Putri Rahayu dan Arif Musthofa  
Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: ciptian@eea.its.ac.id

**Abstrak**—Usaha budi daya ikan mujair pada BUMDes Delta Mina Sejahtera memerlukan perhatian terkait salinitas air tambak. Hal tersebut memengaruhi pertumbuhan dan keberlangsungan hidup ikan mujair. Ikan mujair air tawar dapat hidup di perairan air asin dengan proses adaptasi yang bertahap, sehingga untuk membudidayakan di perairan asin perlu dilakukan adaptasi terlebih dahulu secara bertahap sekitar 1-2 minggu. Salinitas digambarkan sebagai ukuran yang menggambarkan tingkat keasinan suatu perairan. Parameter ini dipengaruhi oleh evaporasi pada suatu daerah seperti halnya yang terjadi pada Delta Mina Sejahtera. Nilai salinitas ideal bagi pertumbuhan ikan mujair berkisar 7-8 ppt. Kadar garam yang tinggi dapat diturunkan nilainya dengan memberikan air tawar. Karakteristik tambak yang luas dibutuhkan sistem pengambilan dan pengolahan salinitas yang akurat. Dalam mengatasi permasalahan yang timbul, dibuatkan prototipe sistem kontrol salinitas air dengan mengimplementasikan sistem *wireless sensor network* (WSN). Penggunaan *wireless sensor network* bertujuan untuk mendapatkan nilai salinitas yang merata dengan menyebarkan *node sensor* ke beberapa titik pada area tambak yang luas. Data yang didapat dari *node sensor* dikirim ke *node master* dengan menggunakan radio *transceiver*. Pada *node master* terdapat kendali salinitas air menggunakan metode logika *Fuzzy Mamdani*. Pada sistem kontrol yang diimplementasikan, fungsi keanggotaan (*membership function*) terdiri dari dua *input* berupa *error* dan *delta error* dari pembacaan sensor salinitas yang nantinya menghasilkan *output* berupa nilai waktu pengiriman air tawar oleh pompa. Berdasarkan hasil pengujian pada prototipe yang telah dibuat, penerapan WSN dalam mengirimkan data dari *node sensor* ke *node master* mendapat *delay* sebesar 2,4 detik. Pada sistem kontrol salinitas menggunakan logika *Fuzzy Mamdani*, mampu mencapai keadaan salinitas pada *setpoint* senilai 7,5 ppt dengan *error steady state* sebesar 0%. Jika dibandingkan dengan hasil simulasi MATLAB, rata-rata respons waktu yang dibutuhkan sistem prototipe untuk mencapai nilai salinitas akhir 7,5 ppt lebih lambat 1,55 detik.

**Kata Kunci**—Kendali Salinitas, Logika Fuzzy Mamdani, Tambak Ikan Mujair, Wireless Sensor Network.

## I. PENDAHULUAN

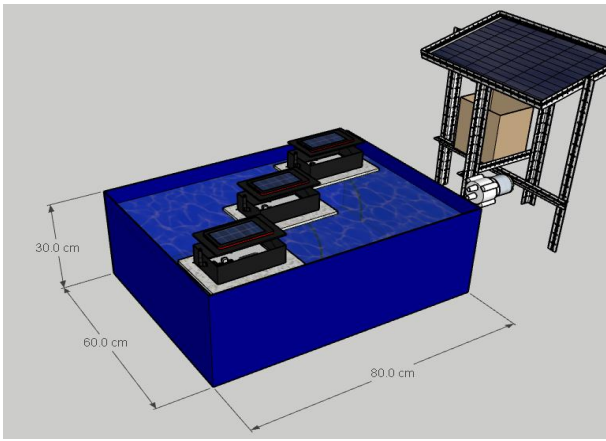
IKAN mujair merupakan ikan air tawar dengan produksi tertinggi dan telah dibudidayakan di seluruh provinsi Indonesia. Ikan mujair juga merupakan sumber protein hewani untuk kebutuhan gizi masyarakat Indonesia karena harganya yang relatif murah serta jumlahnya yang begitu melimpah. Oleh karena itu, ikan mujair menjadi salah satu produk ikan air tawar dan air payau yang paling banyak dikembangkan di Indonesia. Pembudidayaan ikan mujair mayoritas menggunakan media tambak. Tambak ikan mujair terdapat berbagai macam ukuran sesuai dengan kebutuhan pelaku budi daya. Ada yang terbuat dari kolam terpal berukuran 4×3 meter hingga 12×5 meter bahkan lebih,



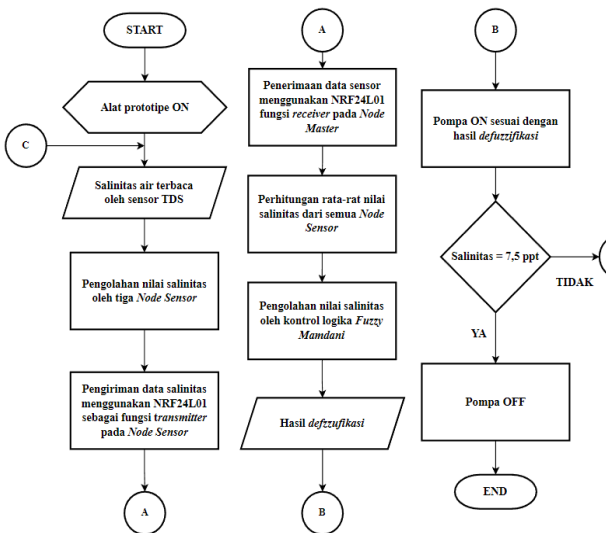
Gambar 1. Arsitektur Sistem Prototipe Kontrol Salinitas.

dengan tingkat kedalaman sekitar 60 hingga 100 cm. Selain tambak yang terbuat dari kolam terpal, ada pula tambak ikan mujair yang terbentuk dari proses pembentukan alam. Tambak ikan mujair yang terbentuk dari alam biasanya memiliki luas permukaan yang jauh lebih besar daripada kolam terpal.

BUMDes Delta Mina Sejahtera selalu memperhatikan kualitas air demi menunjang pertumbuhan dan keberlangsungan hidup ikan mujair untuk mendapatkan hasil panen yang diinginkan. Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pembudidayaan ikan mujair adalah tingkat kandungan garam pada air tambak. Salinitas digambarkan sebagai ukuran yang menggambarkan tingkat keasinan suatu perairan. Parameter ini dipengaruhi oleh evaporasi pada suatu daerah seperti halnya yang terjadi pada Delta Mina Sejahtera. Perubahan kondisi lingkungan pada waktu tertentu menyebabkan kadar garam air tambak menjadi meningkat. Dengan tingginya kadar salinitas air tambak maka dibutuhkan air tawar untuk menurunkan salinitas ke kondisi ideal. Meskipun ikan mujair merupakan ikan yang toleran terhadap salinitas, pertumbuhan dan kesehatan ikan mujair masih dipengaruhi oleh perubahan salinitas dalam air. Salinitas ideal untuk pertumbuhan ikan mujair berkisar 7-8



Gambar 5. Desain Keseluruhan Sistem Prototipe Kontrol Salinitas.

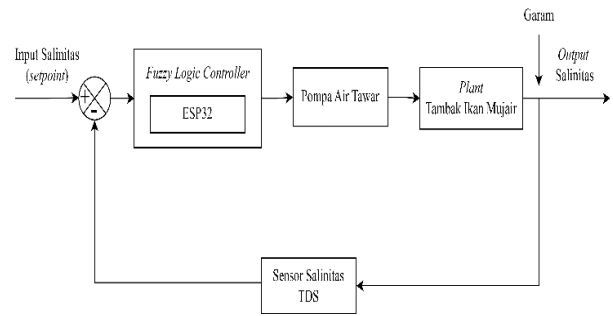


Gambar 6. Flowchart Sistem Prototipe Kontrol Salinitas.

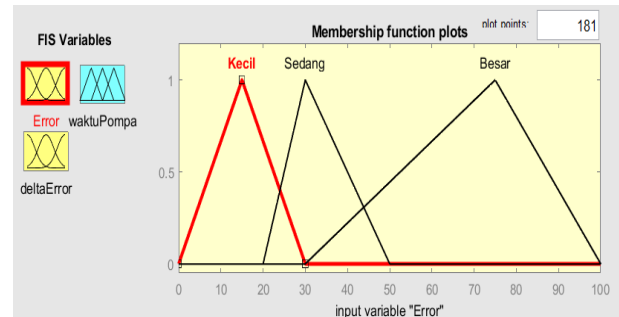
ppt. Area tambak yang begitu luas, maka dibutuhkan pengambilan nilai salinitas dari beberapa titik atau radius tambak agar mendapat nilai salinitas yang merata.

Penelitian ini menggunakan konsep metode logika *Fuzzy Mamdani* untuk mengendalikan salinitas air pada sistem budi daya ikan mujair [1]. *Input* dari kualitas air tambak adalah parameter salinitas yang diubah menjadi dua *membership function* yaitu variabel *error* dan variabel *delta error* [2]. Data tersebut digunakan sebagai *input* pada mesin inferensi *Fuzzy Mamdani*. Setiap data *input* disimpulkan oleh nilai aturan yang ditetapkan. Hasil pengolahan (*output*) tersebut dikeluarkan dalam satuan waktu yang menggambarkan lama pompa mengirimkan air tawar.

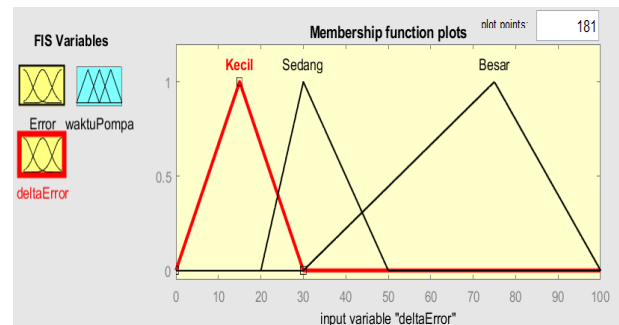
Pembacaan nilai awal salinitas menggunakan sensor TDS. Sensor TDS adalah sebuah sensor yang dapat mengukur kadar garam yang terlarut dalam air. Sensor *Total Dissolved Solid* (TDS) menggunakan prinsip yang sama dengan prinsip konduktivitas di mana menggunakan dua elektroda yang diletakkan dalam suatu cairan. Pada cairan tersebut akan menghantarkan aliran listrik sesuai dengan konsentrasi ion-ion dalam larutan tersebut. Peningkatan konsentrasi ion dalam larutan juga menyebabkan peningkatan nilai konduktivitas. Perbedaan nilai tersebut yang akan diketahui oleh *probe* sensor konduktivitas, kemudian dikonversi menjadi tegangan sebagai hasil keluaran dari sensor TDS [3]. Penelitian ini juga menerapkan *wireless sensor network* (WSN). Dari penerapan WSN, *node sensor* disebar ke



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Kontrol Salinitas.



Gambar 3. Pemodelan *Input* Variabel *Error* pada *Software* MATLAB.



Gambar 4. Pemodelan *Input* Variabel *deltaError* pada *Software* MATLAB.

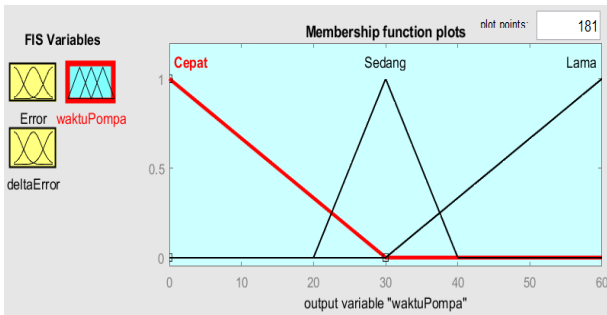
beberapa titik di sekitar tambak sebagai pengambilan salinitas awal. Hasil pembacaan dari *node sensor* akan dikirim ke *node master* menggunakan *transceiver*. *Transceiver* yang digunakan ialah modul *transceiver* NRF24L01. NRF24L01 merupakan modul komunikasi jarak jauh yang menggunakan frekuensi pita gelombang radio 2.4-2.5 GHz ISM (*Industrial Scientific and Medical*). Satu modul bisa melakukan komunikasi dengan 6 modul lain dalam waktu bersamaan [4].

Pada *node master* ini dilakukan pengolahan nilai salinitas dengan metode logika *Fuzzy Mamdani*. Pengolahan nilai salinitas oleh *Fuzzy Mamdani* ini menggunakan mikrokontroler ESP32. ESP32 adalah mikrokontroler *open-source* berbasis *board input/output* yang tersedia *WiFi* yang memungkinkan untuk mengaplikasikan *Internet of Things* (IoT) [5], sehingga mampu menampilkan data salinitas dan hasil *output* melalui *website* [6].

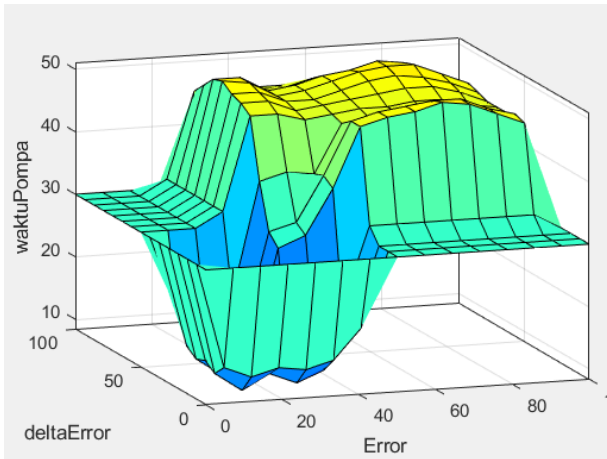
## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Arsitektur Sistem

Dalam mengidentifikasi perubahan salinitas air tambak ikan mujair, prototipe yang dirancang melakukan analisis data salinitas yang diolah menggunakan logika *Fuzzy Mamdani* berdasarkan hasil pengambilan data salinitas dari tiga *node sensor* yang mengapung di permukaan air. Masing-masing jenis *node* menggunakan dua kontroler yang berbeda.

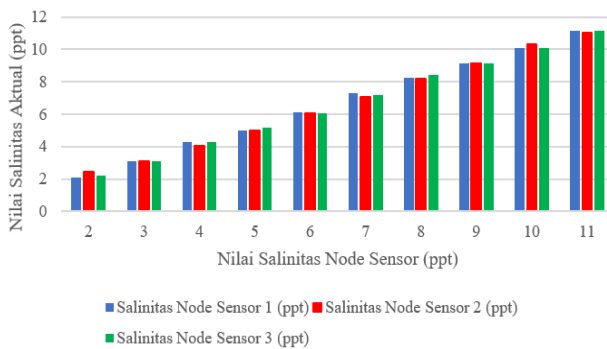


Gambar 7. Pemodelan Output Variabel waktuPompa pada Software MATLAB.



Gambar 8. Surface View dari Input error dan deltaError serta Output waktuPompa.

Grafik Pengujian Sensor TDS



Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai Salinitas Semua Node Sensor Terhadap Nilai Salinitas Aktual.

Kontroler pada *node sensor* menggunakan Arduino Nano sedangkan *node master* menggunakan ESP32 dengan memanfaatkan modul *wifi* yang ada pada ESP32. Pada permukaan kolam disebar tiga *node sensor* dengan mengikuti garis diagonal permukaan kolam. Sedangkan *node master* berada di pinggir kolam.

Peletakan platform *node sensor* dan *node master* ini bersifat statis, namun dapat dipindahkan dengan ketentuan masih dalam jangkauan komunikasi dari jaringan *node*. Saat sistem ini dioperasikan, maka masing-masing *node sensor* membaca nilai salinitas di sekitarnya, kemudian mengirimkan data menuju *node master* melalui jaringan nirkabel yaitu *transceiver* NRF24L01. Kemudian *node master* melakukan kontrol salinitas air dengan metode logika *Fuzzy Mamdani* untuk mendapatkan *output* nilai respons waktu pompa saat mengirim air tawar. Data tersebut sekaligus diakuisisi dan disimpan ke dalam *realtime database* yang nantinya dapat ditampilkan pada *website*. Pengerjaan

Tabel 1. Fuzzy Rule Base

Error	Kecil	Sedang	Besar
deltaError			
Kecil	Cepat (R1)	Cepat (R2)	Sedang (R3)
Sedang	Cepat (R4)	Sedang (R5)	Lama (R6)
Besar	Sedang (R7)	Lama (R8)	Lama (R9)

Tabel 2. Data Pengujian WSN

Waktu Pengiriman Data oleh Transmitter	Waktu Penerimaan Data oleh Receiver	Selisih Waktu Komunikasi Transceiver (detik)
15:34:46	15:34:46	0
15:34:52	15:34:52	0
15:34:58	15:34:58	0
15:35:04	15:35:03	1
15:35:10	15:35:09	1
15:35:16	15:35:15	1
15:35:22	15:35:22	0
15:35:28	15:35:30	2
15:35:34	15:35:36	2
15:35:40	15:35:43	3
15:35:46	15:35:49	3
15:35:52	15:35:56	4
15:35:58	15:36:01	3
15:36:04	15:36:08	4
15:36:10	15:36:14	4
15:36:16	15:36:20	4
15:36:22	15:36:26	4
15:36:28	15:36:32	4
15:36:34	15:36:38	4
15:36:40	15:36:44	4

Dari percobaan yang dilakukan sebanyak 20 kali, didapat rata-rata selisih waktu komunikasi *transceiver* sebesar 2,4 detik.

Tabel 3. Data Pengujian Keseluruhan Sistem

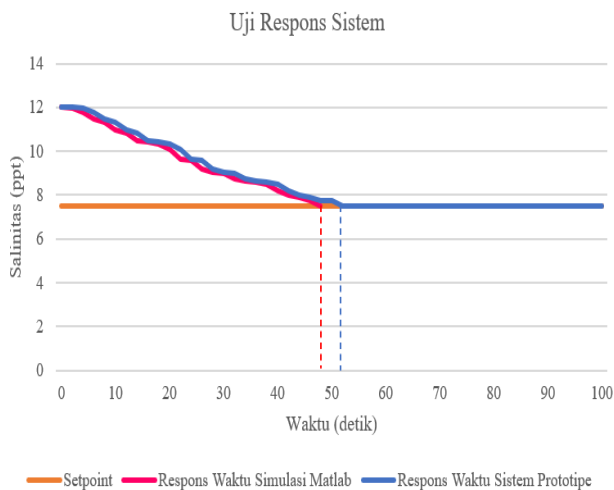
Salinitas awal (ppt)	Salinitas akhir (ppt)	Error steady state (%)	Respons waktu prototipe (detik)	Respons waktu MATLAB (detik)	Selisih respons waktu (detik)
8,50	7,50	0	9,12	9,00	0,12
9,03	7,50	0	11,18	12,00	0,82
9,57	7,50	0	26,63	27,60	0,97
10,07	7,50	0	30,09	31,20	1,11
10,50	7,50	0	33,24	34,80	1,56
11,00	7,50	0	48,30	45,00	3,30
11,49	7,50	0	50,01	47,40	2,61
12,04	7,50	0	50,50	48,60	1,90

Rata-rata selisih respons waktu sistem prototipe dengan simulasi MATLAB sebesar 1,55 detik.

proyek akhir dalam bentuk prototipe, menjadikan proses pengambilan data menggunakan media kolam terpal berukuran 80×60×30 cm dengan volume air sebanyak 72 liter.

### B. Flowchart Sistem

Flowchart proses kerja sistem secara keseluruhan terlihat seperti pada Gambar 3. Prinsip kerja prototipe dimulai dari mendeteksi salinitas air berdasarkan pembacaan tiga sensor TDS. Sensor TDS mengambil nilai salinitas dan diolah menggunakan mikrokontroler Arduino Nano. Dalam satu kesatuan *node sensor* juga terdapat radio *transceiver* NRF24L01 yang bertugas sebagai pengiriman data salinitas menuju *node master*. Karena bertugas dalam mengirim data, maka *transceiver* pada *node sensor* berperan sebagai fungsi *transmitter*. Data salinitas yang telah dikirimkan akan diterima oleh *node master* melalui *transceiver* NRF24L01 juga. *Transceiver* yang bertugas dalam penerimaan data disebut sebagai fungsi *receiver*. Data salinitas yang telah



Gambar 10. Grafik Uji Respons Sistem dengan Menggunakan Uji Coba pada Salinitas Awal Sebesar 12,04 ppt untuk Mencapai Salinitas Akhir 7,5 ppt.

terkumpul akan dihitung nilai rata-ratanya pada mikrokontroler ESP32. Pada ESP32 juga terjadi proses kendali salinitas menggunakan logika *Fuzzy Mamdani* setelah mendapat nilai rata-rata salinitas tersebut. Hasil pengolahan *Fuzzy Mamdani* akan memberikan respons waktu pada pompa dalam pengiriman air tawar dengan tujuan menurunkan nilai salinitas hingga mencapai *setpoint* 7,5 ppt. Jika nilai salinitas tidak sama dengan 7,5 ppt maka pompa air akan terus menyala dan terus melakukan pengambilan nilai salinitas air. Sistem kontrol salinitas pada proyek akhir ini merupakan sistem kontrol tertutup (*close loop*).

### C. Blok Diagram Sistem Kontrol Salinitas

Sistem kontrol salinitas merupakan suatu sistem bersifat *close loop*. Secara skematis memperlihatkan pengendalian salinitas air dalam sistem ini yang dimulai dari *input* yang berupa kadar garam air, kemudian terhubung dengan kontrol logika *Fuzzy* sebagai pengendalian salinitas menggunakan mikrokontroler ESP32. *Plant* dari sistem ini yaitu tambak ikan mujair. *Measurement system* yang digunakan ialah sensor salinitas TDS. Kemudian sistem ini akan bekerja secara berulang ulang sampai *output* salinitas air mencapai nilai 7,5 ppt. Nilai salinitas yang melebihi 7,5 ppt akan memberikan respons pada pompa untuk mengirim air tawar dengan tujuan menurunkan kadar salinitas.

### D. Perancangan Logika Fuzzy Mamdani pada Matlab

Dalam memodelkan sistem kontrol salinitas menggunakan metode logika *Fuzzy Mamdani* dapat dilakukan dengan simulasi melalui *software* MATLAB. Pada simulasi MATLAB terdapat beberapa proses antara lain menentukan *Fuzzifikasi*, *Rule Base*, dan *Defuzzifikasi*.

#### 1) Fuzzifikasi

Proses *fuzzifikasi* merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan derajat keanggotaan dari nilai tegas (*crisp*) suatu *input* pada sebuah himpunan *Fuzzy*. Dalam pemodelan logika *Fuzzy Mamdani* ini, terdapat dua variabel *input* yang digunakan yaitu variabel *error* dan variabel *delta error* (*change of error*). Sedangkan untuk variabel *output* ialah variabel *waktuPompa*. *Error* merupakan selisih antara salinitas referensi yang diinginkan (*setpoint*) dengan salinitas aktual sensor, yang telah dikonversikan ke satuan ppt. Perubahan *error* (*change or error*) merupakan selisih *error*

sekarang dengan *error* sebelumnya. Nilai *error* ini didapat dari persamaan berikut:

$$Error = |SP - PV| \quad (1)$$

Keterangan:

*SP* (*setpoint*) = *Input* salinitas yang diinginkan

*PV* (*present value*) = Nilai aktual salinitas/nilai salinitas saat ini. Sedangkan untuk mendapatkan nilai *delta error* mengikuti persamaan berikut:

$$Delta\ Error = |Error(n) - Error(n - 1)| \quad (2)$$

Keterangan:

*Error(n)* = *error* saat ini

*Error(n-1)* = *error* sebelumnya

#### a. Variabel *Error*

Variabel *Error* dibuat dengan *range* pengukuran dari 0 sampai dengan 100. Nilai ini diperoleh dari kesalahan pengukuran sensor salinitas berdasarkan nilai mutlak selisih *setpoint* dengan salinitas aktual. Adapun pada Gambar 5 merepresentasikan nilai untuk tiap fungsi keanggotaan *input Error*. Pada pemodelan *Fuzzy Mamdani* ini, variabel *Error* dijabarkan menjadi tiga buah *membership function* yaitu *Kecil*, *Sedang*, dan *Besar*.

#### b. Variabel *deltaError*

Variabel *deltaError* dibuat dengan *range* pengukuran dari 0 sampai dengan 100. Nilai ini diperoleh dari nilai mutlak selisih *error* saat ini dengan *error* sebelumnya. Nilai untuk tiap fungsi keanggotaan *input deltaError* direpresentasikan pada Gambar 6. Pada sistem *Fuzzy* tersebut, dijabarkan menjadi tiga buah *membership function* yaitu *Kecil*, *Sedang*, dan *Besar*.

#### c. Variabel *waktuPompa*

Variabel *waktuPompa* (pompa air tawar) merupakan *output* atau hasil akhir dari perhitungan *input* variabel *Error* dan variabel *deltaError*, yang dibuat dengan *range* dari 0 sampai dengan 60 detik. Pada variabel *waktuPompa* memiliki tiga buah *linguistic value* di antaranya *Cepat*, *Sedang*, dan *Lama*. Adapun Gambar 7 merepresentasikan nilai untuk tiap fungsi keanggotaan *output waktuPompa*.

### 2) Fuzzy Rule Base

*Rule base* terdiri dari sekumpulan aturan yang menyatakan suatu kondisi. *Fuzzy rule base* berisi pernyataan-pernyataan logika *Fuzzy Mamdani* yang berbentuk pernyataan *IF-THEN* yang dihubungkan dengan logika operasi *AND*. Setelah melakukan *fuzzifikasi* untuk setiap *input* dan *output* maka langkah berikutnya ialah membuat aturan (*rule base*). Aturan *Fuzzy Mamdani* tersebut dapat diilustrasikan seperti pada Tabel 1.

### 3) Defuzzifikasi

*Defuzzifikasi* adalah suatu proses penegasan ulang tiap himpunan *fuzzy* yang didapat dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, setelah komposisi tiap aturan ditegaskan ulang kemudian akan didapatkan suatu *output* yang merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Suatu contoh, jika diberikan himpunan *fuzzy* dalam *range* tertentu, maka dapat diambil dari *range* tersebut suatu nilai *crisp* sebagai *output*. Metode *defuzzifikasi* yang digunakan adalah menggunakan metode *centroid* atau *Center of Area (COA)*. Alasan digunakan metode *centroid* karena cara pengambilan titik tengah dari tiap daerah *fuzzy* yang sesuai dengan penggunaan kurva triangular. Pada fungsi keanggotaan

“Cepat, Sedang, dan Lama”, mencari nilai tengahnya dapat dihitung luas daerah menggunakan rumus luas segitiga lalu ditambahkan dengan *range* nilai minimum dari fungsi keanggotaan. Setelah mendapatkan luas dan titik tengah, langkah selanjutnya ialah menentukan nilai dari *output* yang diharapkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Output} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{rule}(i) \times \text{CoA} \times \text{luas}(i)}{\sum_{i=1}^n \text{rule}(i) \times \text{luas}(i)} \quad (3)$$

Gambaran pemetaan antara variabel-variabel *input* dan *output* dari sistem kontrol salinitas menggunakan logika *Fuzzy Mamdani* terlihat seperti pada Gambar 8.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Pengujian Node Sensor

Pengujian sensor TDS dilakukan untuk mengkalibrasi sensor yang digunakan pada prototipe dengan cara membandingkan salinitas sebenarnya. Dibutuhkan penyesuaian terhadap tiga sensor TDS yang digunakan agar nilai salinitas yang didapat lebih akurat. Kalibrasi sensor TDS dilakukan dengan metode regresi linier. Nilai ADC yang terbaca oleh sensor TDS dihubungkan dengan nilai salinitas yang diambil menggunakan alat refractometer.

Pada Gambar 9. terlihat karakteristik sensor TDS dari semua *node sensor*. Selanjutnya dilakukan perhitungan persentase *error* untuk setiap sensor TDS. Pembacaan salinitas oleh *node sensor 1* mendapat persentase *error* sebesar 3,03 % atau memiliki tingkat akurasi sebesar 96,97 %. Untuk *node sensor 2* mendapat persentase *error* sebesar 3,50 % atau memiliki tingkat akurasi sebesar 96,50 %. Dan *node sensor 3* mendapat persentase *error* sebesar 3,90 % atau memiliki tingkat akurasi sebesar 96,10 %.

#### B. Hasil Pengujian Wireless Sensor Network (WSN)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan dirangkum pada Tabel 2, penerapan *wireless sensor network* untuk mendapatkan nilai salinitas air yang berbeda-beda di setiap titik dengan menggunakan *transceiver* NRF24L01 mampu mengirimkan dan menerima data dengan rata-rata selisih waktu sebesar 2,4 detik. Terdapat perbedaan waktu tersebut disebabkan oleh terjadinya perhitungan rata-rata nilai salinitas berdasarkan pengambilan data dari tiga *node sensor*, dan terjadi pengolahan logika *Fuzzy Mamdani* terlebih dahulu sebelum ditampilkan pada *serial monitor* sehingga terjadi keterlambatan penerimaan data/informasi selama 2,4 detik. Penerapan *WSN* telah mampu dieksekusi dengan baik oleh *node sensor* dan *node master*. Penerimaan informasi oleh *node master* juga tidak terjadi perbedaan data sehingga dapat dilakukan pengolahan salinitas menggunakan logika *Fuzzy Madani*.

#### C. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Pada prototipe yang telah dirancang mengambil *plant* tambak ikan mujair sebagai lokasi penelitian yang digantikan menjadi kolam terpal berukuran 80×60×30 cm. Kolam terpal berisikan air dengan volume 72 liter. Di permukaannya tersebar *node sensor* dengan peletakan mengikuti garis diagonal permukaan kolam. Sedangkan peletakan *node master* berada di pinggir kolam terpal. Serangkaian *node sensor* dan *node master* menerapkan prinsip *WSN single-hop*.

Derajat keasinan atau salinitas air kolam telah diatur pada *setpoint* tertentu untuk dilakukan uji coba prototipe. Proses kerja prototipe diawali dengan mengecek *led* untuk memastikan semua *node sensor* telah siap dan mampu mengirim data ke *node master*. *Node master* terletak di pinggir kolam terpal dengan memanfaatkan sumber daya matahari sehingga memerlukan panel surya. *Node master* ini terdapat mikrokontroler ESP32 sebagai kontroler logika *Fuzzy Mamdani*, dan terdapat pompa DC sebagai aktuator yang mengirim air tawar ke kolam terpal.

Pengujian yang dilakukan yaitu dengan membandingkan hasil keluaran pada sistem prototipe dengan hasil simulasi MATLAB. Karena hanya menggunakan satu macam pengukuran, maka *input* pada logika *Fuzzy Mamdani* berupa nilai mutlak *error* dan *delta error* yang akan menentukan berapa lama waktu pompa mengirim air tawar. Nilai salinitas akhir pada air yang diinginkan sebesar 7,5 ppt.

Pada Tabel 3 menunjukkan bahwa telah dilakukan pengujian sebanyak delapan kali uji coba nilai salinitas awal yang berbeda-beda. Dari percobaan tersebut terdapat hasil rata-rata selisih respons waktu yang dihasilkan antara percobaan sistem pada prototipe dengan simulasi MATLAB sebesar 1,55 detik.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapat data yang telah terangkum pada Tabel 3. Dari hasil pengujian tersebut dibuat uji respons sistem dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 10. Diambil satu kasus uji data pada percobaan dari Tabel 2 yaitu menguji nilai salinitas awal 12,04 ppt untuk mendapatkan nilai waktu pompa dalam mengirim air tawar hingga nilai salinitas akhir mencapai 7,5 ppt. Pada pengujian salinitas air bernilai 12,04 ppt, untuk mencapai *setpoint* 7,5 ppt dibutuhkan lama waktu pompa dalam mengirim air tawar selama 50,50 detik. Setelah mencapai nilai *setpoint* 7,5 ppt pompa langsung dalam keadaan *OFF* dan tidak terjadi lagi lonjakan nilai atau dalam keadaan *steady*. Sehingga dapat dinyatakan nilai *error steady state* logika *Fuzzy Mamdani* pada prototipe sebesar 0%. Bila dibandingkan dengan pengujian simulasi MATLAB, dengan nilai salinitas awal 12,04 ppt untuk mencapai salinitas akhir 7,5 ppt didapat hasil 48,60 detik atau 1,90 detik lebih cepat daripada sistem prototipe. Hal ini disebabkan karena simulasi pada MATLAB merupakan kondisi atau gambaran ideal dari suatu sistem yang dirancang. Sedangkan pada sistem prototipe ada beberapa faktor yang menjadikan hasil yang didapat memiliki beberapa perbedaan, seperti tingkat akurasi sensor dan kualitas air yang didapatkan.

### IV. KESIMPULAN

Penerapan *wireless sensor network* untuk mendapatkan nilai salinitas air yang berbeda-beda di setiap titik dengan menggunakan *transceiver* NRF24L01 mampu mengirimkan dan menerima data dengan *delay* sebesar 2,4 detik. Dengan hasil *delay* 2,4 detik tersebut tidak terlalu berpengaruh dalam proses pengiriman data dari *node sensor* ke *node master*. Informasi yang diterima oleh *node master* juga tidak terjadi perbedaan data sehingga selanjutnya dapat dilakukan pengolahan salinitas menggunakan logika *Fuzzy Madani*.

Sistem kontrol salinitas menggunakan logika *Fuzzy Mamdani* yang telah dibuat, mampu mencapai keadaan

salinitas pada *setpoint* senilai 7,5 ppt dengan *error steady state* sebesar 0%. Jika dibandingkan dengan hasil simulasi MATLAB, rata-rata respons waktu yang dibutuhkan sistem prototipe untuk mencapai nilai akhir salinitas 7,5 ppt lebih lambat 1,55 detik.

Saran yang dapat disampaikan sebagai bentuk pengembangan penelitian ini ialah penggunaan metode logika *Fuzzy Mamdani* diharuskan lebih banyak mengambil data percobaan agar hasil yang didapatkan lebih maksimal. Saat ini, sistem kontrol salinitas yang dirancang hanya mampu menurunkan nilai salinitas. Maka dari itu, diperlukan mekanisme tambahan sistem kontrol salinitas yang mampu menaikkan serta menurunkan nilai salinitas. Selain itu, dapat juga memperbanyak jumlah *node sensor* dalam penerapan sistem *wireless sensor network*, serta membuat sistem yang tidak sebatas dalam prototipe atau mampu diterapkan langsung pada tambak ikan mujair untuk mendapatkan hasil yang akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Jimsan, B. Surarso, dan S. Suryono, "Monitoring of Pond Water Quality using Fog Network with Fuzzy Rule based Algorithm," dalam 2019 Fourth International Conference on Informatics and Computing (ICIC), IEEE, 2019, hlm. 1–6.
- [2] R. Velázquez-Gonzalez, T. Gomez-Lemus, dan J. Rodriguez-Resendiz, "A pH process Control Embedded on a PLC using Fuzzy Logic," dalam 13th International Engineering Congress, CONIIN 2017, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, hlm. 1–6. doi: 10.1109/CONIIN.2017.7968179.
- [3] Ahmad Reza Hakimi, Muhammad Rivai, dan Harris Pirngadi, "Sistem kontrol dan monitor kadar salinitas air tambak berbasis IoT loRa," Jurnal Teknik ITS, vol. 10, no. 1, hlm. A9–A14, 2021.
- [4] A. Septiano dan T. Ghazali, "NRF24L01 sebagai pemancar/penerima untuk wireless sensor network," Jurnal Tekno (Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering), vol. 17, no. 1, hlm. 26–34, 2020.
- [5] A. Imran dan M. Rasul, "Pengembangan tempat sampah pintar menggunakan ESP32," Jurnal Media Elektrik, vol. 17, no. 2, hlm. 2721–9100, 2020.
- [6] W. Hifzy Faruqy, F. M. S Nursuwar, J. Siliwangi No, dan J. Barat, "Implementasi WSN dengan plug and play sensor pada tambak udang vannamei," E-JOINT (Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology), vol. 02, no. 1, hlm. 19–25, 2021.