

RANCANG BANGUN COOLSTORAGE IKAN NELAYAN SKALA KECIL DENGAN THERMOELECTRIC BERBASIS ESP DAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS (IOT) MENGGUNAKAN FUZZY MAMDANI DAN TSUKAMOTO

Anggi Aulia Zahra¹⁾, Rindu Marito Nababan²⁾, dan Suci Airtami Hutoma Amir³⁾, Iman Fahrudi⁴⁾
^{1, 2, 3, 4)}Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam
Jalan Ahmad Yani Batam Centre, Kecamatan Batam Kota, Batam 29461
e-mail: iman@polibatam.ac.id⁴⁾

ABSTRACT

Indonesia has a vast marine area, making it the main source of livelihood for fishermen through fishing. However, fresh fish is highly perishable, requiring effective storage methods to maintain its freshness. One of the problems faced by fishermen is the limited storage time with ice cubes that melt quickly. To overcome this, a coolstorage system based on Thermoelectric Cooler (TEC) technology without harmful refrigerants was developed, which is able to maintain cold temperatures by absorbing heat. This system is equipped with Internet of Things (IoT) technology for real-time temperature monitoring using ESP32 and DS18B20 temperature sensors, which display data through LCD and webbased interface. Based on the test, the combination of ice cubes with the help of TEC shows the best performance, able to reduce the temperature from 3°C to 0,13°C within 30 minutes and maintain it stably. The test results are high accuracy with an average error in temperature of 26%. In addition, the IoT monitoring performance is able to send data to the website with an average speed of 499ms per cycle. The use of fuzzy logic methods with Mamdani and Tsukamoto approaches shows different results, where Mamdani fuzzy is more responsive to temperature changes, while Tsukamoto fuzzy provides more stable temperature control. This system is designed to help smallscale fishermen maintain the quality of fish efficiently and environmentally friendly, so that the fish remains fresh to the hands of consumers.

Keywords: Coolstorage, Fuzzy, Thermoelectric, ESP32, IoT.

ABSTRAK

Indonesia memiliki wilayah laut yang luas, menjadikannya sumber utama penghidupan nelayan melalui penangkapan ikan. Namun, ikan segar sangat mudah rusak sehingga membutuhkan metode penyimpanan yang efektif untuk menjaga kesegarannya. Salah satu masalah yang dihadapi nelayan adalah keterbatasan waktu penyimpanan dengan es batu yang cepat mencair. Untuk mengatasi hal ini, dikembangkan sistem coolstorage berbasis teknologi Thermoelectric Cooler (TEC) tanpa refrigeran berbahaya, yang mampu mempertahankan suhu dingin dengan menyerap panas. Sistem ini dilengkapi teknologi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan suhu secara real-time menggunakan ESP32 dan sensor suhu DS18B20, yang menampilkan data melalui LCD dan antarmuka berbasis web. Berdasarkan pengujian, kombinasi es batu dengan bantuan TEC menunjukkan kinerja terbaik, mampu menurunkan suhu dari 3°C ke 0,13°C dalam waktu 30 menit dan mempertahankannya secara stabil. Hasil pengujian akurasi tinggi dengan rata-rata error pada suhu 26%. Selain itu performa monitoring IoT mampu mengirim data ke website dengan kecepatan rata-rata 499ms per siklus. Penggunaan metode logika fuzzy dengan pendekatan Mamdani dan Tsukamoto menunjukkan hasil yang berbeda, di mana fuzzy Mamdani lebih responsif terhadap perubahan suhu, sedangkan fuzzy Tsukamoto memberikan kontrol suhu yang lebih stabil. Sistem ini dirancang untuk membantu nelayan skala kecil menjaga kualitas ikan secara efisien dan ramah lingkungan, sehingga ikan tetap segar hingga ke tangan konsumen.

Kata Kunci: Coolstorage, Fuzzy, Thermoelectric, ESP32, IoT.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah yang memiliki 2/3 perairan lebih luas di banding daratan. Oleh karena itu, sumber daya pada laut menjadi salah satu mata pencaharian pokok bagi para nelayan. Salah satu komoditas laut yang banyak dicari nelayan adalah ikan. Ikan sebagai sumber protein hewani yang banyak disukai oleh masyarakat Indonesia sebagai bahan pangan sehari-hari [1]. Setelah para nelayan berlayar biasanya hanya menyimpan hasil tangkapan mereka pada wadah penyimpanan yang diisi dengan es batu yang akan mencair seiring waktu. Untuk memastikan

kualitas kesegaran ikan para nelayan harus secepat mungkin menyimpan ikan pada wadah penyimpanan yang bersuhu dingin.

Nelayan dapat dibedakan menjadi nelayan tradisional dan modern berdasarkan teknologi peralatan tangkap ikan yang mereka gunakan. Nelayan modern menggunakan teknologi canggih dan menghasilkan lebih banyak uang dibandingkan dengan nelayan tradisional karena mereka memiliki wilayah produksi yang lebih luas untuk menangkap ikan di perairan yang lebih luas [2]. Berdasarkan ciri-cirinya nelayan dibedakan menjadi dua, yaitu nelayan skala besar dan nelayan kecil. Nelayan skala besar sering disebut sebagai nelayan industri atau pengusaha perikanan

dimana mereka tidak langsung terjun langsung dalam penangkapan. Sedangkan nelayan skala kecil yang pada dasarnya berasal dari nelayan tradisional yang belum menggunakan alat tangkap yang maju, biasanya hasil tangkapan ikan yang didapatkan dijual untuk memenuhi kebutuhan pokok.

Salah satu jenis makanan yang mudah rusak adalah ikan, terutama ikan segar. Ikan segar memiliki insang merah muda, pupil hitam, mata cembung, kornea bening, dan mata jernih. Daging ikan segar tidak meninggalkan bekas jika ditekan, dan warnanya cerah dan elastis. Jika kualitas ikan menurun, sisik kuat, mengkilap, dan tertutup lendir jernih, insang menjadi keabuan, berlendir, dan bau, dan ikan akan berbau busuk dan biasanya mengapung jika tidak segar lagi. Ikan yang belum didinginkan oleh es disebut ikan segar atau basah.[3].

Suhu menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi pembusukan ikan. Suhu ini menunjukkan bahwa ikan hasil tangkap akan mempertahankan kondisi terbaik dengan kondisi fisik dan kimia yang stabil. Pada buku yang ditulis oleh Pratama et al [4] untuk menjaga kualitas dan kesegaran ikan perlu dilakukan pendinginan dengan menjaga agar suhu mendekati 0°C. Pada penelitian Lacapa et all [5] menganalisis berdasarkan SNI dan karakteristik pembusukan ikan menunjukkan hasil bahwa pendinginan akan memperpanjang masa penyimpanan ikan selama 5-6 hari pada suhu 0°C. Kemudian masa simpan ikan dapat bertahan selama 9-14 hari pada suhu 0°C. Sehingga dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa pada proses penyimpanan ikan suhu yang lazim untuk dipertahankan adalah direntang suhu 0-5°C.

Proses pengolahan dan mempertahankan kualitas ikan merupakan peran penting dalam industri perikanan, produksi ikan yang tinggi tidak akan terjadi tanpa kedua proses tersebut. Bagi masyarakat untuk memanfaatkan produk perikanan secara optimal, pengurangan kadar air dalam tubuh ikan adalah tujuan utama dari proses mempertahankan kualitas ikan. Ini dilakukan agar bakteri tidak dapat berkembang biak. Untuk mempertahankan kualitas ikan, metode pembekuan dan suhu dingin juga umum digunakan untuk mempertahankannya. Penyimpanan makanan dalam suhu beku dapat membantu mempertahankan kesegaran ikan [6]. Para nelayan percaya bahwa kotak penyimpanan yang digunakan tidak berfungsi dengan baik karena es batu yang digunakan untuk membekukan ikan cepat mencair dan hanya bertahan beberapa jam. Suhu dalam kotak akan terus meningkat hingga mendekati suhu ruangan, mengurangi kualitas tangkapan ikan. Oleh karena itu, nelayan menghadapi kesulitan untuk memastikan bahwa ikan dalam kondisi segar saat dikirim ke pelanggan [7].

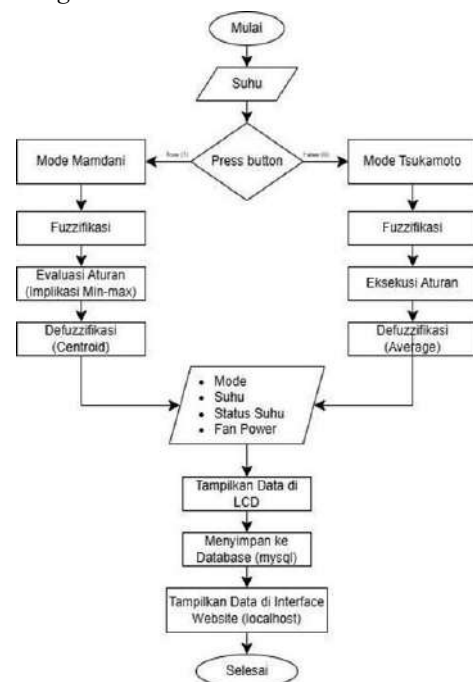
Melihat dari latar belakang tersebut maka dari itu dibutuhkan pengembangan alat untuk dapat membantunmempertahankan kesegaran ikan dengan membuat *coolstorage* yang dikombinasikan dengan

komponen *Thermoelectric Cooler (TEC)*. *Thermoelectric Cooler (TEC)* digunakan sebagai bakteriostatik atau modul penanganan untuk mempertahankan kualitas ikan dinilai lebih efektif, efisien, portabel, dan ramah lingkungan dibanding menggunakan balok es yang mudah mencair. Penggunaan balok es sebagai pendingin sementara membuat kondisi fisik ikan hasil tangkapan gampang rusak ketika terjadi guncangan selama pengiriman dikarenakan bongkahan balok es yang besar dan kasar. Pecahan balok es tersebut mengakibatkan luka dan memar pada fisik badan ikan, apabila kondisi fisik luar tubuh ikan rusak mengakibatkan bakteri pembusukan akan lebih cepat berkembang biak dan tekstur ikan akan berubah [8]. Modul ini digunakan untuk mempertahankan temperatur yang berada pada *coolstorage* dan menyerap kalor yang dihasilkan oleh termoelektrik [9].

Alat ini diperuntukkan untuk nelayan skala kecil yang menggunakan sistem *Internet of Things (IoT)* yang dapat di monitor oleh internet tanpa memerlukan interaksi langsung dengan batuan ESP32 untuk memonitoring proses pendinginan ikan dengan menerima data hasil dari sensor suhu DS18B20 kemudian data diolah dan ditampilkan pada LCD serta *Interface* pada *website*. Dalam monitor sistem ini tidak cukup hanya dalam kondisi dingin, tetapi juga memerlukan kondisi sejuk atau lainnya. Maka dari itu diperlukan metode dalam monitoring sistem ini yaitu menggunakan metode *fuzzy* yang digunakan untuk mengatur suhu pada *coolstorage* dengan range 0 hingga 1. Pada sistem ini menggunakan dua metode *fuzzy*, yaitu *fuzzy mamdani* dan *fuzzy tsukamoto* untuk mendapatkan perbandingan hasil data yang diperoleh.

II. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

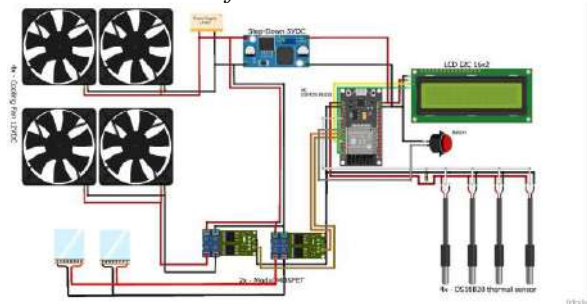


Gambar. 1. Perancangan Sistem

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 sistem akan dirancag agar dapat membaca suhu sebagai input dan diolah menjadi keluaran berupa kecepatan kipas. Sistem ini menggunakan 2 mode yaitu mamdani dan tsukamoto. kedua mode ini akan mengolah data input suhu menjadi output yang mampu mengontrol kecepatan kipas berdasarkan suhu yang dibaca. Output akan ditampilkan pada LCD dan juga pada *Interface* website. Sistem ini diintegrasikan dengan database mysql untuk menyimpan data sehingga data tersebut dapat ditampilkan pada *Interface* website yang berbasis localhost.

B. Perancangan Desain Elektrikal

Tahap ini merupakan perancangan dari rangkaian komponen – komponen yang akan digunakan yaitu diantaranya power supply, step down, modul peltier, kipas, ESP32, LCD, sensor DS18B20 yang dapat dilihat pada Gambar 2. Seluruh komponen diintegrasikan untuk memungkinkan alat atau system mampu melakukan monitoring suhu, mengontrol elemen pendingin seperti modul peltier dan kipas, dan menampilkan informasi melalui LCD dan *Interface*.

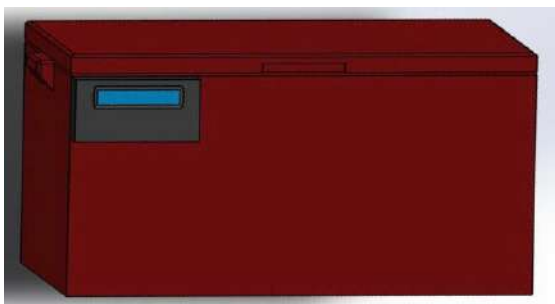


Gambar. 2. Desain Elektrikal

C. Perancangan Desain Mekanikal

Perancangan mekanikal menggunakan cooler box 50 liter dengan dimensi 59 x 39 x 36 cm. Cooler box merupakan bahan utama untuk membangun struktur utama alat, bahan ini dapat menahan air agar tidak keluar dan dapat menjaga kestabilan suhu pada alat.

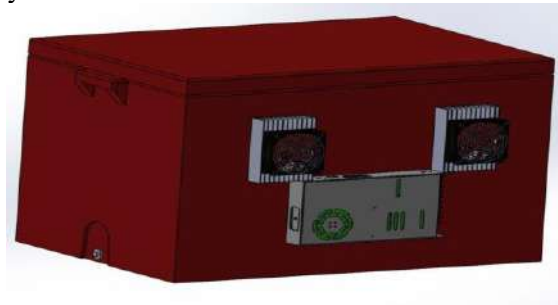
Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3, berikut adalah desain mekanikal dari tampak depan kondisi box tertutup. Pada desain tersebut terlihat permukaan luar dan terdapat satu box untuk meletakkan komponen – komponen yang sudah dirangkai.



Gambar. 3. Desain mekanikal tampak depan

Sedangkan pada Gambar 4 adalah desain mekanikal tampak belakang dengan kondisi box tertutup. Desain

di bawah memperlihatkan bagian belakang box jika tertutup, terdapat dua thermoelectric peltier dan power supply.



Gambar. 4. Desain mekanikal tampak belakang

D. Perancangan Fuzzy

Logika fuzzy adalah suatu pendekatan komputasi yang memanfaatkan fungsi derajat keanggotaan sebagai ciri utama dari penalaran logikanya untuk memberikan keputusan. Logika fuzzy berdasar pada pemrograman dengan Bahasa alami yang bekerjasama dengan memanfaatkan teknik-teknik kendali secara konvensional [10]. Logika fuzzy memanfaatkan pemetaan ruang masukan ke ruang keluaran. Pada sistem Rancang Bangun Coolstorage Ikan ini akan menggunakan dua metode fuzzy yang berbeda yaitu fuzzy mamdani dan tsukamoto sebagai kontrol kipas dan suhu. Dalam sistem inferensi fuzzy, fuzzy mamdani dan fuzzy tsukamoto merupakan metode yang populer dalam menangani ketidakpastian dan penentuan keputusan berdasarkan aturan fuzzy.

• Fuzzy Mamdani

Fuzzy mamdani pertama kali dikenalkan oleh Ebrahim Mamdani dalam rancang bangun sistem kontrol pada tahun 1975. Metode ini memanfaatkan aturan IF-THEN rule dan sering dikenal dengan metode min-max untuk mendapatkan output [11]. Untuk menghasilkan output pada fuzzy mamdani, ada beberapa tahapan yang harus dilakukan diantara lain:

1. Pembentukan himpunan fuzzy (fuzzyfikasi)
Pada implementasi logika fuzzy, variabel input dan output dibentuk menjadi himpunan fuzzy untuk membuat kedua variabel saling terhubung.
2. Implikasi
Penerapan implikasi dilakukan untuk menentukan bentuk akhir atau output berdasarkan aturan fuzzy yang telah ditetapkan. Pada metode mamdani umumnya menggunakan implikasi Min untuk menentukan hubungan antara premis (kondisi) dengan kesimpulan (aksi). Pembentukan rule secara umum adalah "Jika x adalah A maka y adalah B dan dievaluasi menggunakan operator logika fuzzy min untuk OR.
$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$$
3. Agregasi
Tahapan ini akan menggabungkan keluaran dari semua aturan yang telah dibentuk menjadi suatu

fungsi fuzzy tunggal. Metode yang umum digunakan pada logika mamdani adalah metode max. Rumus komposisi yaitu:

$$\mu_{\text{output}}(z) = \max(\mu_1(z), \mu_2(z), \dots, \mu_n(z))$$

4. Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi merupakan tahap akhir untuk menginterpretasikan himpunan fuzzy kedalam nilai tegas (crisp) yang digunakan sebagai output atau penentuan keputusan. Umumnya menggunakan metode centroid, berikut rumus yang digunakan:

$$z_* = \frac{\sum_i z_i \cdot \mu(z_i)}{\sum_i \mu(z_i)}$$

Penjelasan:

- z_i : Nilai crisp pada domain output.
- $\mu(z_i)$: Derajat keanggotaan dari z_i .

• Fuzzy Tsukamoto

Pada logika Fuzzy tsukamoto setiap konsekuen yang pada aturannya berbentuk IF-THEN harus dipresentasikan dengan himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton [12]. Hasil akhir dari fuzzy tsukamoto menggunakan rata-rata berbobot untuk menghasilkan output yang tegas (crisp) [13]. Pada logika fuzzy tsukamoto ada beberapa tahapan untuk menghasilkan output atau keputusan diantara lain:

1. Fuzzyfikasi

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan variabel yang berhubungan dalam proses penentuan atau pengambilan keputusan. Setiap variabel input akan ditentukan fungsi fuzzyfikasi yang sesuai.

2. Pembentukan Aturan Fuzzy

Untuk mendapatkan hasil yang menyatakan hubungan antara variabel input dan output adalah dengan membentuk aturan fuzzy. Aturan yang digunakan adalah aturan IF-THEN menggunakan operasi AND. Pernyataan yang diikuti dengan "If" disebut sebagai antisiden dan yang diikuti oleh "then" disebut dengan konsekuen.

Jika $(a_1 \text{ adalah } A_1) \cap \dots \cap (a_n \text{ adalah } A_n) \text{ maka } (b \text{ adalah } k)$

3. Analisis Logika Fuzzy

Aturan yang ditetapkan akan menghasilkan nilai crisp (Z_i) berdasarkan derajat keanggotaan (α_i) input. Dimana $f(\alpha_i)$ adalah fungsi monoton dari aturan yang digunakan.

$$Z_i = f(\alpha_i)$$

4. Defuzifikasi

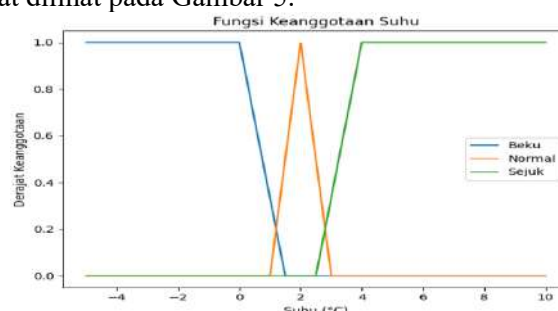
Tahapan terakhir yaitu defuzifikasi yang dimana pada metode tsukamoto menggunakan metode rata-rata berbobot (average).

$$z = \frac{\sum(\alpha_i \cdot z_i)}{\sum \alpha_i}$$

Dimana:

- z_i : Nilai output crisp dari setiap aturan.
- α_i : Derajat kebenaran dari aturan tersebut.

Pada umumnya untuk menentukan output dari fuzzy mamdani dan tsukamoto melalui beberapa tahapan yang sama. Tahap awal yang perlu diperhatikan dalam membangun sistem logika fuzzy adalah mengubah himpunan tegas (crisp) ke himpunan fuzzy atau disebut juga dengan *fuzzyfication* [14][15]. Tahap fuzzyfication ini adalah melakukan penentuan variabel dan fungsi keanggotaan. Pada penelitian ini terdapat satu input berupa suhu yang mempunyai 3 variabel, yaitu sejuk, normal, dan beku dengan fungsi keanggotaan yang dapat dilihat pada Gambar 5.



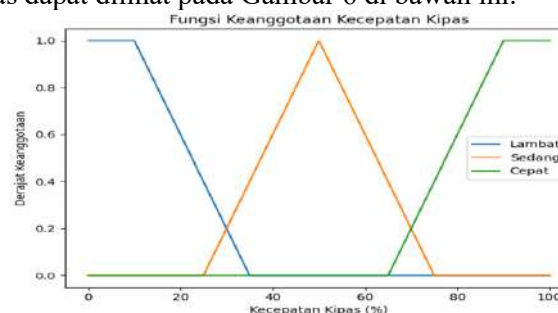
Gambar. 5. Grafik Fungsi Keanggotaan Suhu

$$\mu_{\text{Beku}} = \begin{cases} 1 & , \text{jika } \text{input}f \leq 0 \\ 1,5 - \text{input}f & , \text{jika } 0 < \text{input}f \leq 1,5 \\ 0 & , \text{jika } \text{input} > 1,5 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Normal}} = \begin{cases} 0 & , \text{jika } \text{input}f < 1 \\ \frac{\text{input} - 1}{2 - 1} & , \text{jika } 1 < \text{input}f \leq 2 \\ \frac{3 - \text{input}f}{3 - 2} & , \text{jika } 2 < \text{input}f \leq 3 \\ 0 & , \text{jika } \text{input} > 3 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Sejuk}} = \begin{cases} 0 & , \text{jika } \text{input}f \leq 2,5 \\ \frac{\text{input}f - 2,5}{4 - 2,5} & , \text{jika } 2,5 < \text{input}f \leq 4 \\ 0 & , \text{jika } \text{input} > 4 \end{cases}$$

Selain itu, pada penelitian ini terdapat satu output berupa kecepatan kipas yang mempunyai 3 variabel yaitu, low, medium, dan high. Untuk range kecepatan kipas dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar. 6. Fungsi Keanggotaan Kecepatan Kipas

Dalam proses inferensi, ditetapkan beberapa aturan yang digunakan untuk menarik kesimpulan. Berikut adalah beberapa aturan yang diidentifikasi dalam penelitian ini sebagai berikut :

- Jika suhu “Sejuk”, maka kecepatan kipas “High”.
- Jika suhu “Normal”, maka kecepatan kipas “Medium”.
- Jika suhu “Beku”, maka kecepatan kipas “Low”.

E. Perancangan Sistem Monitoring

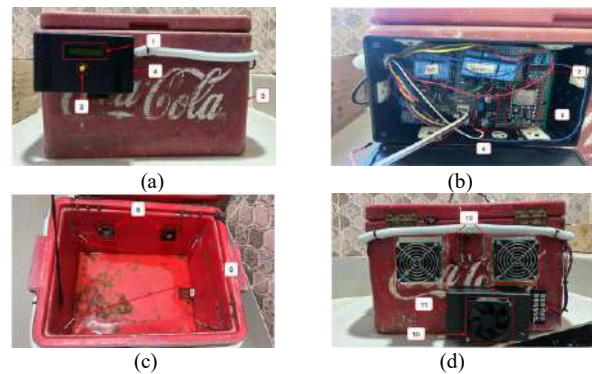
Sistem monitoring menggunakan Internet of Things (IoT) yang digunakan untuk memonitoring suhu, sistem ini menggunakan suhu DS18B20 untuk mengukur nilai suhu secara real time. Monitoring ini memiliki sistem pengiriman data suhu, yang diawali dari sensor suhu DS18B20 yang akan mendeteksi suhu ruangan pada coolstorage yang dihasilkan dari komponen pendingin, seperti thermoelectric peltier yang akan menghasilkan data, dimana data tersebut akan dikirimkan ke ESP32 untuk diolah. Setelah itu, ESP32 akan mengirimkan data hasil sensor ke database melalui jaringan Wi-Fi untuk disimpan, diproses dan ditampilkan melalui dashboard website yang dapat diakses dengan server localhost.

Dalam implementasinya diperlukan sistem manajemen basis data seperti mysql dan perangkat lunak yang menyediakan server lokal dengan berbasis open source. Mysql adalah perangkat lunak atau bisa juga disebut dengan database yang digunakan untuk menyimpan seluruh data mentah yang didapat dari sensor maupun output dari fuzzy [16]. Sedangkan xampp adalah perangkat lunak untuk menjalankan server lokal seperti mysql untuk pengembangan aplikasi web.

Dalam implementasinya hal pertama yang akan dilakukan adalah pengumpulan data yang dilakukan oleh sensor yang terhubung pada ESP32. Data yang dikumpulkan kemudian akan dikirim ke server lokal dengan memanfaatkan permintaan HTTP GET. Untuk bisa menyimpan data yang sudah dikirim, diperlukan program PHP yang berjalan pada xampp untuk menerima dan menyimpan data didalam database mysql. Selanjutnya data yang sudah tersimpan akan ditampilkan pada antarmuka berbasis web atau dashboard sehingga dapat menampilkan data secara real time.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini membahas hasil rancangan coolstorage yang telah di implementasikan dengan kontrol logika fuzzy mamdani dan tsukamoto, untuk menjaga stabilitas suhu ikan pada saat penyimpanan ikan. Hasil perancangan ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar. 7. Coolstorage (a) Tampak depan, (b) Elektrikal, (c) Tampak dalam, (d) Tampak belakang

Keterangan :

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1. LCD 12C 16x2 | 7. Mosfet Modul |
| 2. Pushbutton | 8. Fan |
| 3. Box Coolstorage | 9. Sensor Suhu DS18B20 |
| 4. Panel Elektrikal | 10. Cooling Fan |
| 5. ESP32 | 11. Powe Supply |
| 6. Stepdown DC to DC | 12. Peltier Modul |

Setelah merancang dan membangun sistem hasil pengujian sistem pada penggunaan metode atau logika fuzzy mamdani dan tsukamoto menunjukkan keandalan yang berbeba dalam menjaga agar suhu tetap optimal sebagai penyimpanan ikan. Kedua metode tersebut berhasil diimplementasikan sebagai kontrol kecepatan kipas berdasarkan suhu yang terbaca oleh sensor untuk memungkinkan suhu tetap terjaga. Beberapa pengujian dilakukan untuk menganalisis hasil dari implementasi kedua metode terhadap rancang bangun sistem pendingin.

Pengujian pertama dilakukan dengan monitoring suhu terhadap 3 media pendingin yaitu menggunakan media es batu, Thermoelectric Cooler (TEC) dan es batu dengan bantuan Thermoelectric Cooler (TEC). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keandalan dan efektivitas media pendingin dalam menurunkan dan mempertahankan suhu. Dengan menempatkan media es batu didalam kotak pendingin. Kemudian kotak pendingin akan dimonitoring perubahan suhunya dengan menggunakan sensor DS18B20 untuk membaca suhu. Seluruh data yang tampil pada LCD dan *Interface* selama pengujian dapat dilihat pada Tabel I. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil data setiap 30 menit dalam 12 jam.

TABEL I
PENGUJIAN SISTEM MONITORING SUHU TERHADAP 3 MEDIA PENDINGIN

No	Suhu °C		
	Es Batu	TEC	Es Batu + TEC
1	9,38	29	3,06
2	8,94	28	0,13
3	7,81	28	0,19
4	5,22	27	0,19
5	2,31	25	0,37
6	1,37	23	0,56
7	1,44	20	0,44
8	1,31	19	0,31

9	1,25	18	0,25
10	1,44	16	0,88

Kemudian dilakukan perbandingan terhadap ketahanan media pendingin untuk mengevaluasi perbandingan ketiga media pendingin dalam menurunkan dan mempertahankan suhu rendah pada rentang waktu tertentu. Pada pengujian menggunakan media es batu, penurunan suhu terjadi dengan dari 9°C turun ke 1,37°C dalam waktu 3 jam. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa media es batu mampu menurunkan suhu dengan signifikan namun memiliki keterbatasan dalam menjaga dan mempertahankan suhu dengan konsisten dalam jangka waktu yang lama karena terjadi proses pencairan yang cepat dari es batu. Sedangkan dengan media Thermoelectric Cooler (TEC) tanpa bantuan es batu membutuhkan waktu yang cukup lama mencapai performa yang maksimal untuk menurunkan suhu. Thermoelectric Cooler (TEC) memungkinkan kontrol suhu yang lebih presisi dan tahan lama dibandingkan dengan media es batu karena tidak memerlukan penggantian media pendingin secara berkala. Akan tetapi kinerja TEC akan bergantung pada sumber daya listrik yang tersedia sehingga akan ada tantangan yang dihadapi jika lokasi pada penggunaan sistem ini memiliki sumber daya yang tidak stabil. Performa terbaik unggul pada media dengan kombinasi es batu dengan bantuan Thermoelectric Cooler (TEC), dimana suhu awal tidak terlalu tinggi dikarenakan es batu sudah membantu menyebarkan suhu dingin pada kotak pendingin. Keunggulannya ditunjukkan pada performanya yang mampu menurunkan suhu dari 3°C ke 0,13°C dalam waktu setengah jam.

Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap seberapa cepat sistem dalam mengirim data ke interface website. Dalam pengujian ini jaringan Wi-Fi dan waktu respon server akan mempengaruhi kinerja dalam pengiriman data ke server. Berdasarkan hasil pengujian, sistem dengan ESP dan sensor suhu DS18B20 mampu mengirim data ke website dengan kecepatan rata-rata 499ms per siklus. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring berbasis website dengan server localhost cukup efektif dan menunjukkan keandalannya dalam menampilkan data secara real time yang dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II PENGUJIAN KECEPATAN SISTEM DALAM MENGIRIM DATA KE WEBSITE

No	Waktu Pengambilan Data	Waktu Data Terkirim Pada Website	Selisih Waktu
1	12:19:49,570	12:19:50,952	382ms
2	12:24:50,946	12:19:51,131	815ms
3	12:19:51,149	12:19:51,463	314ms
4	12:19:51,524	12:19:51,844	320ms
5	12:19:51,934	12:19:52,073	861ms
6	12:19:52,091	12:19:52,275	184ms
7	12:19:53,169	12:19:53,895	726ms

8	12:19:53,913	12:19:54,039	874ms
9	12:19:54,112	12:19:54,249	137ms
10	12:19:54,296	12:19:54,668	372ms
Rata - Rata			499ms

Pengujian juga dilakukan terhadap keandalan sensor suhu DS18B20 dalam melakukan pengukuran suhu yang konsisten dan akurat pada berbagai kondisi. Parameter yang diuji untuk mengukur kinerja dan keandalan sensor yaitu keakuratan hasil, pengukuran yang konsisten dan toleransi terhadap perubahan suhu.

TABEL III
PENGUJIAN KEANDALAN SENSOR SUHU DS18B20

No	Suhu Termometer Digital (°C)	Suhu Sensor DS18B20 (°C)	Error (%)
1	1,5	1,25	17
2	0,7	0,5	29
3	1,1	0,69	37
4	1	0,88	12
5	1,2	0,62	48
6	2,1	1,19	43
7	1,6	1,25	22
8	1,6	1,37	14
9	1	0,69	31
10	2,4	2,25	6,25
Rata - Rata			26

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel III, perhitungan error untuk setiap data dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$Error = \frac{\text{Nilai Termometer} - \text{Nilai DS18B20}}{\text{Nilai Termometer}} \times 100\%$$

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel III, terdapat perbedaan hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan sensor dan termometer digital. Data menunjukkan sensor DS18B20 memiliki kesalahan rata-rata sebesar 26% jika dibandingkan dengan termometer digital. Namun, untuk mengetahui apakah sensor dapat bekerja dengan baik maka harus dilakukan validasi terhadap datasheet resmi. Berdasarkan datasheet resmi yang dapat diakses di internet, sensor DS18B20 memiliki resolusi pengukuran dengan tingkat kesalahan $\pm 0,5^\circ\text{C}$ dalam rentang suhu -10°C hingga $+85^\circ\text{C}$. Pengujian ini menunjukkan bahwa sensor DS18B20 memiliki respons yang lambat atau kurang sensitif terhadap suhu rendah, sehingga menghasilkan tingkat kesalahan yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi sensor pada suhu rendah tidak optimal, sehingga kurang cocok digunakan dalam kondisi suhu yang sangat rendah.

Pengujian logika fuzzy logic controller dilakukan untuk menganalisis kinerja logika fuzzy dalam sistem kontrol kipas dan suhu secara otomatis berdasarkan inputan suhu. Pengujian ini menunjukkan bagaimana logika fuzzy dapat memberikan keputusan atau output

untuk mengatur kecepatan kipas berdasarkan suhu yang terbaca oleh sensor. Pengujian dilakukan terhadap dua logika fuzzy yaitu mamdani dan tsukamoto untuk mengetahui kinerja logika dalam memberikan keputusan. Hasil dapat dilihat pada Tabel IV dan V. Pengujian ini dilakukan dengan memonitoring suhu selama 12 jam dengan pengambilan data setiap 30 menit sekali.

Logika fuzzy mamdani melakukan pendekatan berbasis aturan (rule-based system) yang dimana input berupa suhu dan output berupa kecepatan kipas dihubungkan melalui fungsi keanggotaan. Proses yang pertama kali dilakukan adalah mengubah input suhu menjadi derajat keanggotaan sesuai himpunan fuzzy yang sudah ditentukan seperti "Beku", "Normal", dan "Sejuk". Untuk menghasilkan ouput, aturan ifthen akan diterapkan dan digabung menjadi satu himpunan fuzzy menggunakan metode min-max. Himpunan fuzzy tersebut akan diubah menjadi nilai tegas (crisp) atau dikenal dengan proses defuzzifikasi. Pada logika fuzzy tsukamoto tidak jauh berbeda alur tahapannya dengan fuzzy mamdani. Perbedaan terdapat pada fungsi keanggotaannya yang monoton dan menggunakan metode rata-rata berbobot pada proses defuzzifikasi untuk menghasilkan ouput.

TABEL IV PENGUJIAN FUZZY MAMDANI LOGIC CONTROLLER UNTUK PENGATUR SUHU

No	Input Suhu	Output Keanggotaan Kecepatan Kipas			
		Beku	Normal	Sejuk	PWM
1	7,87	0	0	1	255
2	4,44	0	0	1	255
3	1,06	0,293	0,06	0	81
4	0,31	0,793	0	0	54
5	0,25	0,83	0	0	55
6	0,19	0,873	0	0	55
7	0,31	0,793	0	0	54
8	0,44	0,706	0	0	53
9	0,37	0,753	0	0	54
10	0,31	0,793	0	0	54
11	0,37	0,753	0	0	54
12	0,37	0,753	0	0	54
13	0,31	0,793	0	0	54
14	0,37	0,753	0	0	54
15	0,37	0,753	0	0	54
16	0,44	0,706	0	0	53
17	0,5	0,666	0	0	53
18	0,5	0,666	0	0	53
19	0,56	0,626	0	0	53
20	0,56	0,626	0	0	53
21	0,69	0,54	0	0	52
22	0,56	0,626	0	0	53
23	0,69	0,54	0	0	52
24	0,88	0,413	0	0	52

Berdasarkan fungsi keanggotaan yang didefinisikan jika diketahui input atau suhu yang terbaca 1,06 maka suhu tersebut akan masuk dalam rentang beku dan

normal. Berikut rumus dan perhitungan untuk mencari nilai keanggotaannya:

$$\mu_{Beku} = \frac{1,5 - 1,06}{1,5 - 0} = 0,2933$$

$$\mu_{Normal} = \frac{10,6 - 1}{2 - 1} = 0,06$$

Selanjutnya dilakukan implikasi atau perhitungan terhadap ouput pwm berdasarkan rule yang sudah ditetapkan yaitu jika beku maka low dan jika normal maka medium.

$$A1 = 10 + (35 - 10) \times 0,2933 = 17,3325$$

$$B1a = 25 + (50 - 25) \times 0,06 = 26,5$$

$$B1b = 75 + (75 - 50) \times 0,06 = 73,5$$

Setelah mendapat nilai untuk masing-masing area yang memiliki nilai keanggotaan, dilakukan defuzzifikasi untuk mendapat nilai output dengan rumus total moment dibagi total luas area.

$$L1 = \frac{(17,3325 - 10) \times 0,2933}{(10 - 17,3325) \times 0,2933} = 2,151$$

$$L2 = \frac{(26,5 - 17,3325) \times 0,06}{2} = 2,591$$

$$L3 = \frac{(26,5 - 17,3325) \times 0,06}{2} = 0,045$$

$$L4 = \frac{(75 - 73,5) \times 0,06}{2} = 0,045$$

$$L5 = (73,5 - 26,5) \times 0,06 = 2,82$$

$$M1 = \frac{(17,3325 + 10) \times 2,151}{2} = 29,398$$

$$M2 = \frac{(35 + 17,325) \times 2,591}{2} = 67,800$$

$$M3 = \frac{(26,5 + 25) \times 0,045}{2} = 1,158$$

$$M4 = \frac{(50 + 73,5) \times 0,045}{2} = 3,341$$

$$M5 = \frac{(73,5 + 26,5)}{2} = 141$$

$$Z = \frac{29,398 + 67,800 + 1,158 + 3,341 + 141}{2,151 + 2,591 + 0,045 + 0,045} = 31,7161\%$$

$$PWM = \frac{31,7161}{100} \times 255 = 80$$

Berdasarkan penelitian pada logika kontrol fuzzy mamdani untuk pengaturan suhu, hasil analisis menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengatur kipas berdasarkan suhu yang terdeteksi. Pada suhu rendah (0,19°C hingga 0,44°C), sistem cenderung mengaktifkan keberadaan "Keanggotaan Beku", yang menunjukkan bahwa kipas beroperasi pada kecepatan rendah dengan nilai PWM sekitar 54 hingga 55. Ini menunjukkan bahwa sistem tidak memerlukan pendinginan intensif pada suhu rendah. Pendinginan intensif pada suhu rendah. Namun, saat suhu meningkat (melebihi 0,44°C), terjadi peralihan keanggotaan yang lebih seimbang antara "Keanggotaan Beku" dan "Keanggotaan Normal", di mana nilai PWM meningkat mencapai puncaknya 255 pada suhu 7,87°C, yang

menunjukkan bahwa kipas beroperasi pada kecepatan maksimum untuk mendinginkan sistem secara efisien.

Sistem ini dirancang menjadi tiga kategori keanggotaan fuzzy untuk keluaran kipas "Keanggotaan Beku", "Keanggotaan normal", dan "Keanggotaan Sejuk". Keanggotaan Beku lebih banyak terjadi pada suhu rendah dengan kecepatan kipas yang rendah, sedangkan pada suhu yang lebih tinggi, Keanggotaan Sejuk menjadi lebih dominan, dan kipas beroperasi pada kecepatan maksimum. Keanggotaan Normal hampir tidak dimanfaatkan dalam rentang suhu yang diuji. Secara keseluruhan, pengujian ini menunjukkan bahwa Fuzzy Mamdani Logic Controller berfungsi dengan efektif dalam mengatur kecepatan kipas sesuai dengan suhu lingkungan.

TABEL V PENGUJIAN FUZZY TSUKAMOTO LOGIC CONTROLLER UNTUK PENGATUR SUHU

No	Input Suhu	Output Keanggotaan Kecepatan Kipas			
		Beku	Normal	Sejuk	PWM
1	7,06	0	0	1	255
2	4,81	0	0	1	255
3	1,31	0,126	0,31	0	83
4	0,5	0,666	0	0	68
5	0,25	0,83	0	0	79
6	0,31	0,793	0	0	76
7	0,37	0,753	0	0	99
8	0,25	0,83	0	0	79
9	0,31	0,793	0	0	76
10	0,31	0,793	0	0	76
11	0,37	0,753	0	0	99
12	0,37	0,753	0	0	99
13	0,37	0,753	0	0	99
14	0,44	0,706	0	0	71
15	0,44	0,706	0	0	71
16	0,56	0,626	0	0	65
17	0,44	0,706	0	0	71
18	0,44	0,706	0	0	71
19	0,37	0,753	0	0	99
20	0,5	0,666	0	0	68
21	0,56	0,626	0	0	65
22	0,62	0,587	0	0	63
23	0,94	0,373	0	0	49
24	0,69	0,54	0	0	60

Berdasarkan fungsi keanggotaan yang didefinisikan jika diketahui input atau suhu yang terbaca 0,31 maka suhu tersebut akan masuk dalam rentang beku. Berikut rumus dan perhitungan untuk mencari nilai keanggotaannya:

$$\mu_{Beku} = \frac{1,5 - 0,31}{1,5 - 0} = 0,793$$

Selanjutnya dilakukan implikasi atau perhitungan terhadap output pwm berdasarkan rule yang sudah ditetapkan yaitu jika beku maka low.

$$Z1 = 0,793 \times (35 - 10) + 10 = 29,833$$

Setelah mendapat nilai untuk z1, dilakukan defuzzifikasi untuk mendapat nilai output pwm:

$$Z = \frac{29,833 \times 0,793}{0,793} = 29,833\%$$

$$PWM = \frac{29,833}{100} \times 255 = 76$$

Berdasarkan data yang disajikan dalam Tabel V, suhu yang terdeteksi oleh sensor DS18B20 dikategorikan ke dalam tiga keanggotaan fuzzy yaitu Beku, Normal, dan Sejuk. Setiap kategori menghasilkan nilai PWM (Pulse Wide Modulation) yang digunakan untuk mengatur kecepatan kipas. Pada suhu tinggi, seperti 7,06°C dan 4,81°C, keanggotaan kategori Sejuk mengungguli dengan nilai 1, yang menghasilkan output PWM tertinggi sebesar 255. Ini menunjukkan bahwa kipas bekerja pada kecepatan penuh untuk dengan cepat menurunkan suhu

Pada suhu yang lebih rendah, seperti 1,31°C hingga 0,5°C, keanggotaan untuk kategori Normal dan Beku meningkat, dan output PWM secara bertahap menurun. Pada suhu 0,5°C, nilai PWM turun menjadi sekitar 68, yang menunjukkan bahwa kecepatan kipas mulai menurun untuk menjaga suhu tetap stabil tanpa penurunan suhu yang terlalu besar. Ini menunjukkan bahwa sistem dapat beradaptasi dengan baik dalam mengatur suhu saat suhu mulai menurun. Hal ini menunjukkan bahwa sistem menjaga kecepatan kipas tetap rendah untuk mencegah suhu terlalu membeku dan menjaga suhu di bawah batas ideal. Ini penting untuk menghindari pembekuan yang berlebihan, yang dapat merusak ikan, dan untuk menjaga kualitas ikan saat disimpan. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa metode Tsukamoto memungkinkan kontrol suhu yang stabil sambil menurunkan suhu secara bertahap seiring dengan kecepatan kipas.

Selanjutnya dilakukan perbandingan terhadap output yang dihasilkan oleh fuzzy mamdani dan tsukamoto. Data diambil secara acak dengan mengambil masing-masing lima sample dari ketiga aturan yang sudah ditetapkan. Tujuan dari pengujian ini untuk memverifikasi dan memvalidasi output dari kedua logika dalam memberi keputusan terhadap setiap kategori suhu. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel V1.

TABEL VI PERBANDINGAN ANTARA FUZZY MAMDANI DAN FUZZY TSUKAMOTO

No	Suhu	PWM Mamdani	PWM Tsukamoto
1	7.5	255	255
2	4	255	255
3	3,5	210	255
4	2	127	191
5	1.8	127	165
6	1.4	123	102
7	1,1	92	51

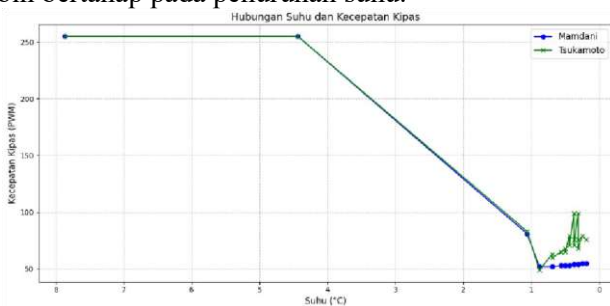
8	0,8	51	55
9	0,5	53	68
10	0,31	54	76

Tabel VI menunjukkan perbandingan hasil PWM Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Tsukamoto. Ini menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan dalam variasi output atau kekuatan fan yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut. Kedua metode menghasilkan PWM maksimal (255) pada suhu tinggi (misalnya, 7,5°C dan 4°C), yang menunjukkan bahwa sistem memberikan kecepatan kipas penuh untuk menurunkan suhu pada suhu ini, yang menunjukkan bahwa keduanya memiliki respons yang sama pada suhu tinggi.

Namun, perbedaan mulai terlihat pada suhu menengah seperti pada suhu 3,5°C dan 2°C. Pada suhu ini, metode Mamdani mengalami penurunan kecepatan kipas yang lebih tajam dengan PWM 210 dan 127, sementara Tsukamoto mengalami penurunan yang lebih bertahap dengan PWM 225 dan 191. Perbedaan ini menunjukkan bahwa Mamdani cenderung memberikan respons yang lebih agresif terhadap penurunan suhu, sedangkan Tsukamoto memberikan respons yang lebih halus dan stabil terhadap perubahan suhu.

Pada suhu yang lebih rendah terutama suhu sangat rendah seperti pada suhu 0,31°C, Metode Mamdani memberikan PWM 54, yang menunjukkan penurunan kecepatan kipas secara linear seiring dengan penurunan suhu, sedangkan metode Tsukamoto memberikan PWM 76, yang menunjukkan bahwa kecepatan kipas pada suhu rendah tetap lebih tinggi secara konsisten. Ini menunjukkan bahwa metode Tsukamoto memberikan nilai yang lebih konsisten dan stabil pada suhu beku, tanpa mengalami perubahan yang signifikan.

Secara keseluruhan, hasil perbandingan menunjukkan bahwa Mamdani lebih responsif dan agresif dalam merespon penurunan suhu, dengan penurunan kecepatan kipas yang lebih tajam pada suhu rendah. Sebaliknya, Tsukamoto memiliki kontrol suhu yang lebih stabil dan konsisten, dengan perubahan yang lebih bertahap pada penurunan suhu.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Fan Power

Berdasarkan grafik pada Gambar 8, metode Mamdani menghasilkan perubahan output atau fan power yang lebih dinamis dan responsif terhadap suhu, menunjukkan respons yang lebih cepat terhadap perubahan suhu. Sebaliknya, Tsukamoto menghasilkan

output yang lebih konsisten pada suhu rendah, dengan perubahan kipas yang bertahap pada suhu kategori "Normal" dan "Sejuk". Secara keseluruhan, Mamdani lebih agresif dalam merespon perubahan suhu. Meskipun kedua metode ini berfungsi dengan baik, mereka memiliki fitur yang berbeda dalam memberikan keputusan kecepatan kipas.

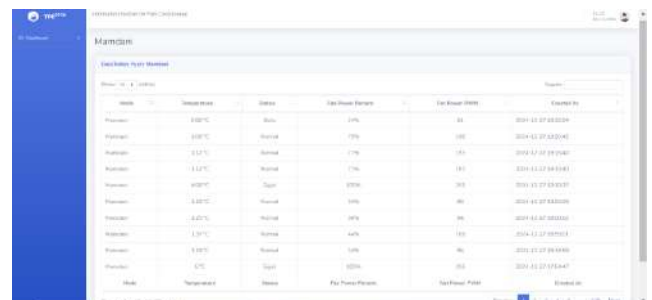
Penelitian ini juga mengintegrasikan *Interface* berbasis website yang dijalankan pada server localhost. *Interface* ini dilengkapi dengan fitur login dan logout juga menampilkan grafik, dan keseluruhan data output yang terbaca dengan mengintegrasikan database yaitu mysql. *Interface* ini dirancang dengan menggunakan php dan dijalankan menggunakan xampp sebagai server localhost. *Interface* ini memiliki 4 tampilan atau halaman utama yaitu login, temperature, mamdani dan tsukamoto. Tampilan dapat dilihat pada Gambar 7, 8 dan 9, 10, 11.



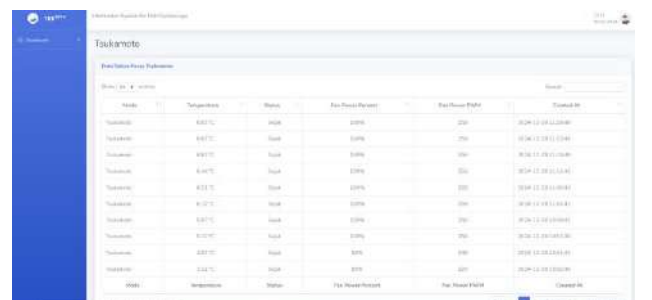
Gambar 9. Interface Website Halaman Login



Gambar 10. Interface Website Halaman Temperature



Gambar 11. Interface Website Halaman Mamdani



Gambar 12. Interface Website Halaman Tsukamoto

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan sistem pendingin untuk ikan nelayan dalam skala kecil dengan menggunakan media pendingin es batu dan TEC dengan mengaplikasikan metode fuzzy mamdani dan tsukamoto. Penelitian ini melakukan perbandingan terhadap ketahanan media pendingin dalam menjaga kualitas ikan dan dapat disimpulkan bahwa media es batu dengan bantuan TEC menunjukkan hasil dengan performa terbaik. Perbandingan antara metode fuzzy mamdani dan fuzzy tsukamoto juga memberikan gambaran bahwa kedua metode tersebut memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing dalam pengendalian kontrol kecepatan kipas bergantung pada kebutuhan sistem.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Maleiku, "Hasil Laut dan Kehidupan Nelayan Pulau Pura Kabupaten Alor Nusa Tenggara Timur," *J. Kaji. Sos. dan Budaya*, vol. 6, no. 2, pp. 55–62, 2022.
- [2] N. Manggopa, J. A. Andaki, L. K. Rarung, S. Suhaeni, and S. V Rantung, "Persepsi Anak Nelayan terhadap Usaha Nelayan Tradisional di Desa Bolangitang Kecamatan Bolangitang Barat Kabupaten Bolaang Mongondow Utara," *Akulturas J. Ilm. Agrobisnis Perikan.*, vol. 10, no. 1, pp. 185–193, 2022.
- [3] Y. M. T. N. Apituley, L. M. Soukotta, and M. Wattimury, "Penetapan Harga Jual Ikan Segar Dikota Ambon," *BALOB E J. Pengabd. Masy.*, vol. 2, no. 2, pp. 60–66, 2023, doi: 10.30598/balobe.2.2.60-66.
- [4] G. B. Pratama, *No Title TEKNOLOGI PENYIMPANAN DINGIN DAN PENGARUHNYA PADA KUALITAS IKAN*. 2024.
- [5] R. Lacapa, U. Tangke, and I. W. Laitupa, "Studi Kemunduran Mutu Ikan Dasar Hasil Tangkapan Gill Net pada Suhu Ruang dan Penyimpanan Dingin," *J. Sains, Sos. dan Hum.*, vol. 1, no. 2, pp. 14–25, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.52046/jssh.v1i2.14-25>
- [6] R. Ufie and R. R. Lekatompessy, "Kaji Kapasitas Pendinginan Ikan Dengan Menggunakan Es Dalam Kemasan Plastik," *ALE Proceeding*, vol. 2, no. April, pp. 243–247, 2021, doi: 10.30598/ale.2.2019.243-247.
- [7] H. Sunarsono and S. Ardo Wibowo, "Perancangan Storage box Sebagai Media Penyimpanan Ikan Untuk Nelayan Tradisional," vol. 20, no. 1, pp. 218–224, 2022.
- [8] R. Yudianto and A. Yudhana, "Sistem Pemantau Suhu Cooler Box Berbasis Telemetri Dengan Thermoelectric Cooler Sebagai Bakteriostatik Pada Ikan," *J. ELTIKOM*, vol. 6, no. 2, pp. 126–139, 2022, doi: 10.31961/eltikom.v6i2.551.
- [9] J. Panji and W. Supanto, "RANCANG BANGUN COOLSTORAGE UNTUK PENGAWETAN IKAN."
- [10] N. Hidayati, K. Kasini, and A. Permata, "No Title Penerapan Sistem Inferensi Fuzzy untuk Menentukan Jumlah Pembelian Produk Berdasarkan Data Persediaan dan Penjualan dengan Menggunakan Metode Mamdani (Studi: Kasus RM Habibi)," *J. Tek. Ind. Terintegritasi*, vol. 7, no. 3, pp. 1835–1842, 2024.
- [11] M. Basyir, A. Finawan, Z. Zamzami, and ..., "Analisa Penyebaran Covid-19 dengan Menggunakan Fuzzy Logic," *Pros. Semin. ...*, vol. 4, no. 1, 2020, [Online]. Available: <http://ejurnal.pnl.ac.id/semnaspnl/article/view/2660%0Ahttp://ejurnal.pnl.ac.id/semnaspnl/article/viewFile/2660/2210>
- [12] S. Maryam, E. Bu'ulolo, and E. Hatmi, "No Title Penerapan Metode Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Tsukamoto dalam Menentukan Harga Mobil Bekas," *J. Informatics, Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 10–14, 2021.
- [13] S. Widaningsih, "Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin di Bulog Sub. Divisi Regional (Divre) Cianjur," *Infoman's*, vol. 11, no. 1, pp. 51–65, 2017, doi: 10.33481/infomans.v11i1.21.
- [14] I. Ummah, N. Yannuansa, and I. Mufarrihah, "Pengaruh Penentuan Domain, Fungsi Keanggotaan Dan Rule Dalam Membangun Sistem Fuzzy," *J. Tecnosienza*, vol. 6, no. 1, pp. 165–175, 2021, doi: 10.51158/tecnosienza.v6i1.607.
- [15] S. Basriati, M.Sc and E. Safitri, M.Mat, "Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto dalam Menentukan Jumlah Produksi Tahu," *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 18, no. 1, p. 120, 2021, doi: 10.24014/sitekin.v18i1.11022.
- [16] R. F. Ramadhan and R. Mukhaiyar, "Penggunaan Database Mysql dengan Interface PhpMyAdmin sebagai Pengontrolan Smarthome Berbasis Raspberry Pi," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 129–134, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.55.