

Sistem Kontrol Suhu dan Monitoring TDS Air pada Akuarium Anakan Ikan Koi Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis IoT

Muhtarom Silo Setjo Dwiryo

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : muhtarom.18020@mhs.unesa.ac.id

Endryansyah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : endryansyah@unesa.ac.id

Abstrak

Pada proses pemeliharaan anakan ikan koi, diperlukan kondisi lingkungan air yang bagus untuk menunjang pertumbuhan dan perkembang biakannya. Kondisi air yang bagus dapat dilihat dari beberapa parameter kualitas, diantaranya suhu dan TDS (*Total Dissolved Solids*). Kisaran suhu yang baik digunakan untuk pertumbuhan anakan ikan koi adalah 25-27°C. Sedangkan TDS air yang baik untuk anakan ikan koi adalah <100 ppm (*parts per million*). Biasanya suhu dan TDS air diukur secara manual dengan thermometer dan TDS meter. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sistem yang bisa melakukan kontrol terhadap suhu dan memonitor TDS air akuarium anakan ikan koi secara otomatis berbasis logika fuzzy. Dalam penelitian ini, metode yang dipakai ialah metode kuantitatif. Hasil uji perbandingan sensor suhu DS18B20 dan termometer menunjukkan nilai rata-rata error 2,1 %. Sedangkan perbandingan hasil uji sensor TDS SEN0244 dengan TDS meter menghasilkan rata-rata error 6,9 %. Hasil pengujian keseluruhan juga memperlihatkan bahwa sistem bisa bekerja sesuai yang diharapkan. Hal tersebut ditandai dengan respon output pendingin yang dapat menyala jika hasil pengukuran sensor tidak memenuhi set point, dan akan mati saat sudah sesuai memenuhi set point.

Kata Kunci: ESP32, IOT, Logika Fuzzy, suhu, TDS

Abstract

In the process of koi fish cultivation, good quality of water are needed to support their growth and breeding. Good water conditions can be seen from several quality parameters, including temperature and TDS (*Total Dissolved Solids*). Good temperature for the growth of koi fish is in the range of 25-27°C. While, the TDS of good water for koi fish is <100 ppm (*parts per million*). The temperature and TDS of water are usually measured manually with thermometer and TDS meter. The objective of this reaserch is creat a system that can controls automatically temperature and monitors TDS of koi fish aquarium water based on fuzzy logic. And, the method used this research is quantitative method. The result of a comparison test of the temperature sensor DS18B20 and the thermometer shows the average error value 2,1 %. While proportion of the result of TDS SEN0244 sensor test with TDS meter produces an average of error in 6,9 %. The overall test result shows that the system can work properly. This is indicated by the cooling output response which can turn on if the sensor measurement results don't match to the set point, and will turn off when it matche to the set point.

Keywords: ESP32, Fuzzy Logic, IOT, TDS, temperature

PENDAHULUAN

Ikan hias ialah kategori atau golongan ikan yang tidak diperuntukan untuk keperluan konsumsi, tapi dipelihara untuk kebutuhan hiasan atau kendahan. Diantara spesies ikan hias air tawar yang cukup banyak dipelihara oleh kebanyakan orang ialah anakan ikan koi. Anakan ikan koi banyak diminati

karena warna-warnanya yang indah dan bentuk tubuhnya yang terlihat bagus. Selain itu, banyak juga pecinta koi yang percaya bahwa anakan ikan koi dapat membawa keberuntungan.

Karena banyaknya peminat anakan ikan koi, ikan ini menjadi komoditas yang permintaanya terus naik dari tahun ke tahun. Bahkan budidaya

anakan ikan koi terus dikembangkan hingga hasil produksinya dapat menembus pasar ekspor secara global. Menurut DJPB, sebanyak 361.405 ekor anakan ikan koi diproduksi dari target produksi yaitu 241.500 pada triwulan III tahun 2019 (DJPB, 2019). Anakan ikan koi, ekspornya dari tahun ke tahun nilainya terus meningkat. Diketahui bahwa nilai ekspor mencapai angka 12 juta dollar di tahun 2010, kemudian pada tahun 2011 mengalami peningkatan hingga 20 juta dollar. Bahkan di tahun 2016 mengalami peningkatan lagi hingga nilai 65 juta dollar. Kondisi pasar dan permintaan anakan ikan koi yang meningkat membuat para pelaku budidaya terpacu untuk melakukan peningkatan usahanya (Ulfiana *et al.*, 2012).

Dalam proses pemeliharaan anakan ikan koi, diperlukan kondisi air yang baik agar ikan dapat tumbuh dan hidup dengan sehat. Kondisi air dapat dilihat dari beberapa parameter yang memengaruhi kualitas air. Salah satu parameter yang memengaruhi kualitas air adalah TDS dan suhu. Suhu air yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan ikan, karena faktor suhu cukup memengaruhi metabolismenya. Kisaran suhu yang baik bagi pertumbuhan anakan ikan koi yaitu sekitar 25-27°C (Emaliana *et al.*, 2016). Sedangkan TDS yang ideal untuk pertumbuhan anakan ikan koi adalah di bawah 100 ppm (Rendy Saputra, 2021). Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 menyebutkan bahwa angka TDS yang diizinkan maksimum sebesar 1.000 ppm (mg/L). Oleh karena itu, parameter suhu dan TDS sangat penting untuk dikontrol dalam memelihara anakan ikan koi.

Biasanya TDS dan suhu diukur dengan TDS meter dan termometer. Akan tetapi, pengukuran dengan alat tersebut harus dilakukan secara manual dan tidak bisa realtime. Pemelihara yang terkendala dengan kesibukan, akan kesulitan untuk melakukan pengontrolan. Maka, dalam penelitian ini penulis berinisiatif membuat alat sistem kontrol otomatis untuk pengontrolan suhu dan TDS pada akuarium ikan koi.

Slamet Indriyanto (2020) telah melakukan penelitian tentang penggunaan sensor DS18B20 pada sistem untuk memonitoring temperatur air kolam anakan ikan koi. Akan tetapi, mikrokontroler yang digunakan adalah ESP8266. Selain itu, objek penelitian tersebut adalah benih ikan koi. Pada penelitian ini, penulis menggunakan ESP32 sebagai mikrocontroller, dimana ESP32 memiliki pin yang lebih banyak daripada ESP8266. Serta, objek yang

digunakan yaitu ikan koi yang kondisinya masih anakan.

Selain itu, penelitian sebelumnya yang terkait adalah penelitian yang dilakukan oleh R. Kharisma dan S. Thaha (2020). Penelitian tersebut mengulas tentang monitoring TDS pada akuarium ikan hias. Pada penelitian itu, mikrokontroler yang digunakan adalah ESP8266 dan *interface* yang dipakai adalah aplikasi telegram. Dalam penelitian yang dilakukan oleh penulis, LCD dan aplikasi Blynk diterapkan sebagai *interface*.

KAJIAN PUSTAKA

Suhu

Suhu menjadi faktor pembatas utama pada kehidupan organisme akuatik. Suhu mempunyai pengaruh universal dalam pertumbuhan dan distribusinya. Sebab, organisme akuatik sering kali kurang dapat mentoleransi perubahan, termasuk ikan hias yang dalam penelitian ini adalah anakan ikan koi (Adrian dkk, 2021). Menurut Masitoh *et al.* (2015) suhu yang ideal untuk pertumbuhan ikan koi berada pada kisaran 26-30°C. Apabila suhu akuarium kurang dari kisaran tersebut, akan menurunkan nafsu makan ikan dan sebaliknya. Bila suhu akuarium lebih tinggi dari kisaran tersebut, kadar oksigen dalam air akan menjadi berkurang (Zulfa dan Purnama, 2022).

TDS (*Total Dissolved Solids*)

Parameter yang menyatakan kualitas air dari sisi kuantitas padatan terlarut yang terkandung dalam larutan disebut dengan TDS (*Total Dissolved Solids*). Contoh dari parameter TDS antara lain logam, garam, mineral, dan zat organik. Satuan yang biasanya digunakan untuk menyatakan nilai TDS adalah mg/L atau *parts per million* (ppm). Jika nilai TDS tinggi, maka jumlah padatan yang terlarut pada air cukup banyak. Nilai TDS secara kuantitatif dapat diukur dengan suatu alat yaitu TDS meter. Dalam pemeliharaan ikan hias pada akuarium, TDS termasuk parameter yang amat penting untuk dikontrol, karena menyatakan seberapa aman air yang digunakan sebagai media pemeliharaan (Karomari dan David, 2023).

Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 ialah sensor yang digunakan untuk mendeteksi terjadinya perubahan suhu pada suatu benda secara digital. Sensor ini menggunakan satu kabel, cara kerjanya yaitu mengubah besaran panas yang terdeteksi menjadi listrik yang kemudian diubah menjadi *output* analog ataupun

digital (Rafiuddin, 2013). Sensor DS18B20 juga dapat dikategorikan sebagai sensor kimia. Hal ini dikarenakan sensor DS18B20 mendeteksi banyaknya zat kimia dengan mengubah besaran kimia kedalam besaran listrik. Ketelitian dari pembacaan sensor ini adalah 9 hingga 12 bit (Askar dkk, 2022).



Gambar 1. Sensor DS18B20
(Sumber : Askar dkk., 2023)

Sensor SEN0244

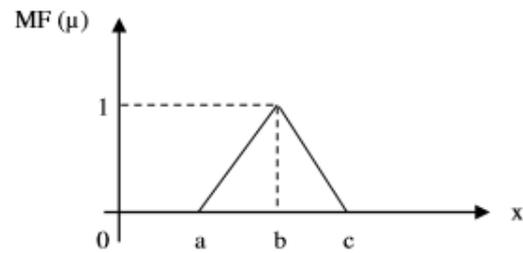
Sensor SEN0244 adalah sensor yang dapat membaca nilai TDS pada suatu larutan atau cairan dengan mendeteksi konduktivitasnya. Pada cairan dengan kandungan mineral yang banyak, nilai konduktivitasnya akan bernilai besar sehingga nilai outputnya juga tinggi. Sedangkan cairan dengan mineral yang sedikit, outputnya akan menjadi rendah. Dalam penggunaannya, sensor TDS tersambung dengan pin ADC Arduino untuk mendeteksi tegangan yang berubah. Pada pembacaan sensor TDS, satuan yang dipakai ialah ppm. Ppm menyatakan kuantitas zat yang terlarut (Pratama, 2017).



Gambar 2. Sensor SEN0244
(Sumber : Kharisma, 2020)

Logika Fuzzy dan Kontrol Fuzzy

Logika fuzzy adalah logika yang derajat keanggotaannya berada pada nilai antara 0 dan 1, yang mana logika ini tidak sama dengan logika Boolean Klasik yang memiliki nilai hanya 0 dan 1. Variabel dari logika fuzzy dapat dinyatakan dalam beberapa model antara lain segitiga, gaussian, trapezoidal, sigmoid dan gaussian-bell.

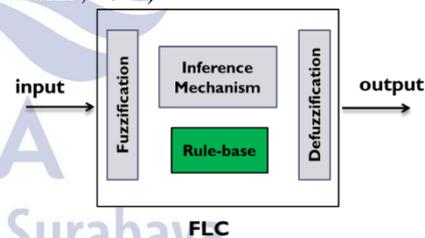


Gambar 3. Himpunan Fuzzy Bentuk Segitiga
(Sumber : Wahab, 2017)

Fungsi keanggotaan atau membership function, merupakan fungsi yang berguna untuk memetakan nilai derajat keanggotaan pada interval 0 dan 1 dari variabel himpunan. Fungsi keanggotaan dibentuk dari himpunan fuzzy yang ditransformasi menjadi persamaan fungsi. Sebagai contoh, persamaan himpunan segitiga pada gambar 2.3 yang ditransformasi menjadi persamaan fungsi sebagai berikut

$$f(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (1)$$

dimana x nilai dari variabel dan $f(x, a, b, c)$ fungsi derajat keanggotaan. Sedangkan a adalah nilai awal, b nilai tengah, dan c nilai akhir variabel (Wahab dkk., 2017).



Gambar 4. Diagram Fuzzy Logic Controller
(Sumber: Wahab, 2017)

Kontrol fuzzy atau fuzzy logic controller (FLC) adalah sebuah skema sistem kontrol yang dirancang dengan penerapan konsep himpunan fuzzy. Proses penyusunan FLC melalui tiga tahap, yaitu tahap fuzzifikasi, mekanisme inferensi, dan tahap defuzzifikasi. Mekanisme secara keseluruhan dari fuzzy logic controller dapat dilihat pada gambar 2.4. Fuzzifikasi adalah tahap awal, yang mana nilai tegas atau crisp variabel diubah menjadi nilai fuzzy. Nilai fuzzy tersebut kemudian dimasukkan sebagai input untuk tahap inferensi. Pada tahap inferensi, terdapat proses pengambilan keputusan dari input atau masukan yang diolah

berdasar pada basis aturan (*rule base*) yang ditetapkan. Tahap akhir yaitu defuzzifikasi, dimana nilai output pada tahap inferensi yang berupa nilai *fuzzy* akan diubah lagi menjadi nilai tegas (Wahab dkk., 2017).

Fuzzy Mamdani

Salah satu algoritma *fuzzy logic* adalah model *fuzzy mamdani*. Metode *fuzzy mamdani* disebut juga dengan metode *min-max*. Metode yang digagas oleh Embrahim Mamdani pada tahun 1975 ini memperkirakan karakteristik tertentu yang tersimpan di dalam model. Metode mamdani digunakan sebagai model untuk karakteristik estimasi, yang mana nilai set input yang tersedia "relatif kecil". (Nur Rohman, 2020).

Dalam metode *fuzzy mamdani*, terdapat empat tahapan untuk mendapatkan *output* (Kusumadewi dan Purnomo, 2004). Pertama, pembentukan himpunan *fuzzy* (*fuzzyfikasi*), dimana himpunan *fuzzy* dibentuk dari variabel input dan *output* yang dibagi ke dalam satu atau lebih himpunan. Kedua, aplikasi fungsi implikasi dimana variabel *input* dan *output* yang didapatkan kemudian diterapkan pada fungsi implikasi. Fungsi implikasi yang dipakai ialah *min*. Ketiga, pembentukan komposisi aturan dimana fungsi implikasi yang didapatkan selanjutnya ditentukan komposisi tiap-tiap aturannya. Metode yang dipakai pada inferensi ialah metode *max*. Terakhir adalah penegasan (*defuzzyfikasi*), yang mana komposisi aturan-aturan *fuzzy* yang didapatkan, digunakan sebagai input pada tahap penegasan, dan outputnya ialah bilangan dalam domain himpunan *fuzzy* tersebut. Maka, bila terdapat *range* tertentu dari suatu himpunan *fuzzy*, harus bisa diambil *output* dari nilai *crisp* tertentu. Dalam metode mamdani, terdapat beberapa metode *defuzzyfikasi* yang biasanya dipakai antara lain *centroid*, *mean of maximum*, *bisector*, *largest of maximum* dan *smallest of maximum*.

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) ialah suatu konsep dalam dunia teknologi yang memanfaatkan konektivitas internet agar dapat bermanfaat secara luas. Dimana koneksi tersebut secara terus-menerus terhubung. Sehingga, dengan koneksi itu manusia dapat menyambungkan mesin-mesin, peralatan, dan benda lainnya dengan sensor jaringan serta aktuator guna mendapatkan informasi atau data dan mengelola kinerja tersebut secara otomatis. Maka,

IoT memberikan kemampuan pada mesin-mesin untuk dapat bekerja sama secara sinergis, bahkan dapat memungkinkan nya untuk berlaku secara independen dengan dasar informasi baru yang didapatkan. Secara mendasar, IoT terdiri atas tiga piranti, yaitu sensor untuk mengumpulkan informasi, koneksi internet yang berfungsi untuk menghubungkan antar perangkat serta server untuk mengumpulkan dan menganalisa data yang didapatkan oleh sensor (Arafat, 2016).

ESP 32

ESP 32 merupakan mikrokontroler generasi penerus ESP8266 yang diperkenalkan oleh *Espressif System*. Keunggulan ESP 32 dibandingkan dengan mikrokontroler lainnya adalah pin *out* dan pin analog lebih banyak, kelebihan dalam kapasitas memori dan memiliki *low energy bluetooth 4.0*.



Gambar 5. ESP32

(Sumber: Muliadi, 2020)

ESP32 sudah memiliki modul *wifi* untuk chip prosesor *dual core* yang dapat dijalankan pada instruksi Xtensa LX16. Maka, ESP 32 sangat menunjang pembuatan sistem yang menerapkan *Internet of Things* (Wahyudi, 2014). Memori ESP32 terbagi dalam 520 kB SRAM, 448 kB ROM, *flash* memori 4 MB, dan dua 8 Kb RTC memori. Pada chip tersebut terdapat 18 pin ADC (12-bit), dua unit I2C dan empat unit SPI. Kelebihan utama dari ESP 32 ialah harganya yang cukup murah, memiliki pin I/O yang jumlahnya memadai, mudah diprogram dan terdapat adaptor *wifi* (Wagyana, 2019).

Blynk

Blynk adalah *software* sistem operasi untuk Android ataupun iOS yang berfungsi sebagai kendali pada perangkat mikrokontroler yang dihubungkan dengan jaringan internet (Sedayu dkk, 2019). *Software Blynk* mudah sekali diaplikasikan pada Android ataupun iOS, karena tidak terikat pada chip atau komponen manapun. Akan tetapi, *Blynk* harus mendukung *board* dan terdapat akses *wifi* agar dapat berkomunikasi dengan *hardware* yang digunakan.



Gambar 6. Aplikasi Blynk
(Sumber : digiwarestore.com,2023)

Peltier dan KipasDC

Peltier atau biasa disebut pendingin termoelektrik (*Thermoelectric Cooler/ TEC*) ialah piranti yang kedua sisinya dapat membuat perbedaan suhu bila menerima arus listrik DC pada kedua kutubnya (semi konduktor). Cara kerja peltier didasarkan pada efek peltier, yaitu bila tegangan atau arus DC diberikan pada elemen peltier, salah satu sisi elemen panasnya diserap sehingga menjadi dingin dan sisi yang lain panasnya dilepas sehingga menjadi panas. Beda potensial ini mengakibatkan aliran arus listrik lewat material termoelektrik sehingga dihasilkan efek peltier. Gejala ini sering disebut juga dengan pompa kalor (Rusli, 2019).



Gambar 7. Peltier
(Sumber : Nur Rohman, 2020)

Kipas DC adalah perangkat sederhana yang memiliki baling-baling yang bisa berputar dan menggerakkan udara tapi tidak bisa mengubah suhu. Kipas DC dapat membuang atau mengalirkan kalor dari peltier menuju udara. Sumber tegangan yang diperlukan untuk kipas DC adalah 12 Volt. Untuk mengatur nyala dan matinya kipas dalam penelitian ini diatur oleh kontroller (Nur Rohman, 2020).



Gambar 8. Kipas (fan) DC
(Sumber : Pradypta, 2022)

METODE

Pada penelitian ini, metode yang dipakai oleh penulis adalah pendekatan kuantitatif. Menurut Sugiyono (2017), metode kuantitatif ialah kaidah penelitian yang digunakan untuk meneliti suatu populasi atau sampel dimana analisis data bersifat kuantitatif atau statistik. Pengumpulan data dilakukan menggunakan instrumen penelitian. Tujuan dari metode ini adalah untuk menguji hipotesis yang ditetapkan.

Tahapan Penelitian

Berdasarkan rancangan yang sudah dibuat oleh penulis, penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu studi literatur, pengumpulan alat dan bahan, perancangan hardware, perancangan software, pemodelan kontrol fuzzy, pengujian dan pengambilan data serta analisa dan pembahasan. Secara garis besar, tahap-tahap penelitian ini ditampilkan oleh Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Tahapan Penelitian

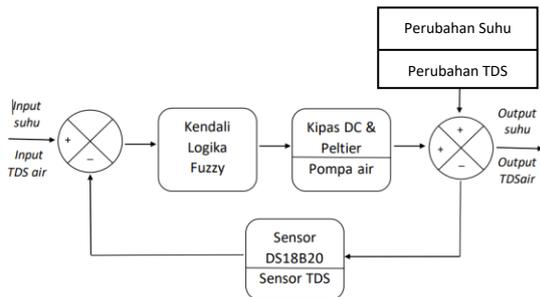
Studi Literatur

Di tahap ini, penulis mengkaji referensi-referensi yang relevan sebelum melakukan penelitian. Dari beberapa literatur yang dipelajari dan penelitian sebelumnya, ditemukan rumusan masalah yang digunakan sebagai dasar untuk penelitian ini. Literatur-literatur yang penulis pelajari berupa jurnal, buku, video dan artikel, memberikan informasi mengenai sensor TDS, logika fuzzy, ESP32 dan kipas DC serta perancangan hardware dan software.

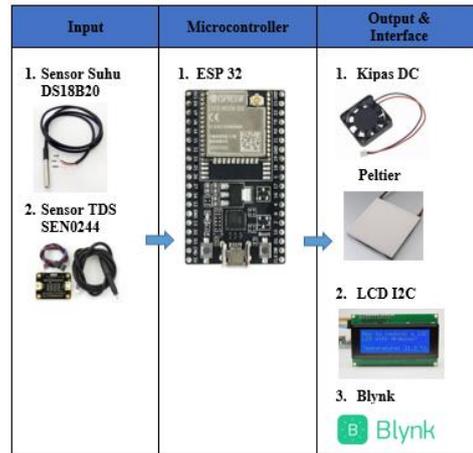
Desain Sistem

Desain sistem dari penelitian ini diperlihatkan oleh diagram blok di Gambar 10, dimana pengendalian parameter suhu akuarium dikontrol oleh logika

fuzzy. Blok diagram pada penelitian ini ialah *closed loop*, yang mana pengendali langsung dipengaruhi oleh sinyal *output*. Pengendali ini berguna untuk meminimalisir kesalahan sistem.



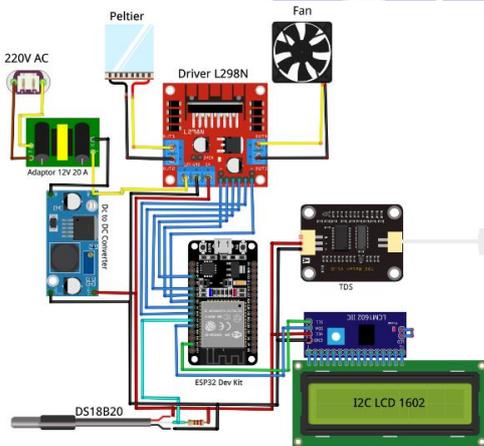
Gambar 10. Diagram Blok Sistem



Gambar 12. Alur Sistem Hardware

Perancangan Hardware

Dalam penelitian ini mikrokontroler yang digunakan untuk mengolah data ialah ESP32, dengan logika fuzzy sebagai pengendali input yang masuk dari hasil pengukuran sensor suhu DS18B20 dan sensor TDS SEN0244. Sensor DS18B20 digunakan dalam pembacaan *input* temperatur air. Sedangkan TDS air akuarium dibaca dengan sensor SEN0244. Gambar 11 menunjukkan *wiring* atau pengkabelan sistem hardware. Sedangkan Gambar 12 menunjukkan alur sistem hardware pada penelitian ini

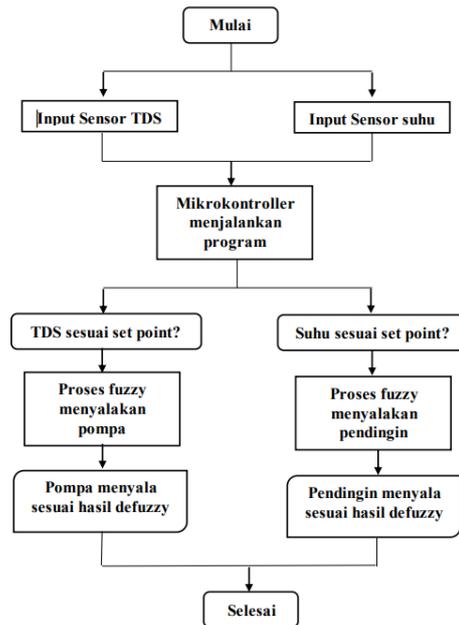


Gambar 11. Rangkaian Wiring Hardware

Pada sistem hardware, *input* berupa sensor suhu DS18B20 dan sensor TDS SEN0244, sedangkan proses sistem menggunakan ESP32. *Output* pendingin menggunakan peltier dan Fan DC, dengan *interface* aplikasi Blynk dan LCD untuk menampilkan hasil pengukuran input dan operasi sistem.

Perancangan Software

Dalam penelitian ini, sistem software dirancang dengan logika fuzzy mamdani dan program Arduino IDE. Aplikasi ini dipilih karena sesuai dengan logika yang digunakan. Alur sistem software pada penelitian ini ditunjukkan oleh *flowchart* pada Gambar 13.



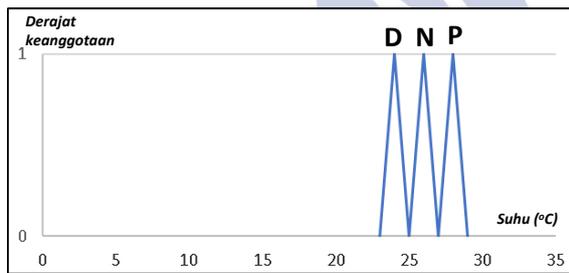
Gambar 13. Flowchart sistem software

Mekanisme sistem software dimulai dari *input* nilai suhu serta TDS yang terdeteksi oleh sensor suhu DS18B20 dan sensor TDS SEN0244. Kemudian mikrokontroler ESP32 memproses masukan dengan cara menjalankan program. Jika nilai *input* suhu telah memenuhi range set point, respon *output* tidak diaktifkan. Tapi jika suhu tidak memenuhi nilai *set point*, program fuzzy akan bekerja untuk mengaktifkan respon kipas DC dan peltier hingga suhu mencapai *set point*.

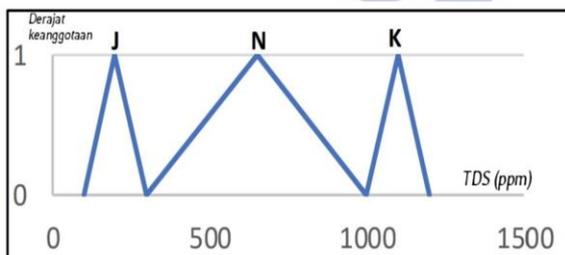
Pemodelan Kontrol Fuzzy

Dalam penelitian ini dipakai logika *fuzzy* mamdani untuk mendesain sistem kontrol. Metode *fuzzy* mamdani disebut pula dengan metode *min-max*. Dalam metode mamdani, setiap rule berupa sebab-akibat (implikasi) anteseden ataupun AND (konjungsi) punya derajat keanggotaan yang bentuknya *minimum* (*min*), sementara itu konsekuen gabungannya memiliki bentuk maksimum (*max*) (Septiawan, 2013).

Pada penelitian ini, sistem kontrol memakai 2 *input* dan 2 *output*. *Input* pertama berupa nilai suhu yang dibaca oleh sensor DS18B20. *Input* kedua yaitu nilai TDS yang terbaca oleh sensor SEN0244. Kedua input tadi kemudian diproses oleh kontrol *fuzzy* untuk mendapatkan *output* berupa tegangan. Kemudian tegangan tadi direpresentasikan dengan respon berupa pendingin dan pompa air. Fungsi keanggotaan (*membership function*) untuk tiap-tiap himpunan direpresentasikan oleh kurva segitiga di Gambar 14 serta Gambar 15.



Gambar 14. Himpunan *fuzzy* Input suhu



Gambar 15. Himpunan *fuzzy* Input TDS

Himpunan input suhu terdiri dari tiga kategori yaitu dingin (D), normal (N), panas (P). Sedangkan himpunan input TDS anggotanya terdiri dari jernih(J), normal (N), dan keruh (K). Nilai linguistik dari kedua input tadi dapat dirangkum pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Nilai Keanggotaan dari *Input* Suhu

Nilai Keanggotaan	Nilai Linguistik
<25°C	Dingin (D)
25-27°C	Normal (N)
>27°C	Panas (P)

Tabel 2. Nilai Keanggotaan dari *Input* TDS

Nilai Keanggotaan	Nilai Linguistik
100-299	Jernih (J)
300-999	Normal (N)
>1000	Keruh (K)

Output untuk menghasilkan kualitas air yang diinginkan ada dua yaitu Kipas(Kp) dan Pompa(Pm). Respon *output* atau keluaran adalah nilai PWM (*Pulse width Modulation*), ada dua kategori PWM yang digunakan, yaitu N (nyala) dan M (mati) dengan N bernilai 255 artinya pendingin peltier dan kipas menyala, dan M bernilai 0 artinya pendingin mati. Nilai keanggotaan dan linguistik dari *output* dapat dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Keanggotaan dari *Output*

Nilai Keanggotaan	Nilai Linguistik
0	Mati (M)
255	Nyala (N)

Rule Base

Setelah pemodelan kontrol *fuzzy* dibuat, kemudian dirancang basis aturan (*rule base*). sistem dapat dilihat di Tabel 4.

Tabel 4. *Rule Base Fuzzy*

DS18B20 \ TDS	D	N	P
J	KiM,PoM	KiM,PoM	KiN,PoN
N	KiM,PoM	KiM,PoM	KiN,PoN
K	KiN,PoN	KiN,PoN	KiN,PoN

Keterangan Tabel 4:

kondisi sensor suhu DS18B20

D : dingin

N : normal

P : panas

kondisi sensor TDS (*Total Dissolved Solid*)

J : jernih

N : normal

K : keruh

- KiM : kipas mati
- KiN : kipas nyala
- PoM : pompa mati
- PoN : pompa nyala

Pengambilan Data

Proses pengambilan data terdiri dari 4 tahap, yaitu pengujian sensor suhu, pengujian sensor TDS, pengukuran perubahan TDS Akuarium, pengujian sistem kontrol suhu serta pengujian sistem kontrol TDS.

Pengukuran suhu dilakukan untuk menguji nilai akurasi dari sensor DS18B20. Caranya adalah membandingkan hasil pembacaannya dengan termometer standar. Pengujian dilakukan dengan cara mencelupkan sensor yang sudah menyala ke dalam air yang diukur suhunya. Pada saat bersamaan, termometer juga dicelupkan ke dalam air yang sama. Kita tunggu beberapa saat hingga sensor dan termometer mencapai angka yang stabil. Kemudian dicatat suhu yang terbaca dan dimasukkan ke dalam tabel.

Pengukuran TDS dilakukan untuk menguji nilai akurasi dari sensor SEN0244. Caranya dengan membandingkan hasil pembacaannya dengan TDS meter standar. Pengukuran dilakukan dengan cara mencelupkan sensor yang sudah menyala ke dalam. Pada saat bersamaan, TDS meter juga dicelupkan ke dalam air yang sama. Kemudian, kita tunggu beberapa saat hingga sensor dan TDS meter mencapai angka yang stabil. Hasil yang terbaca dicatat dan dimasukkan ke dalam tabel.

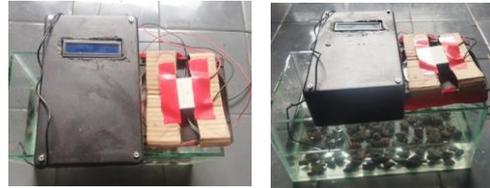
Pengukuran Perubahan TDS Akuarium dilakukan dengan mengukur nilai TDS air akuarium secara real time. Hasilnya dicatat setiap 6 jam sekali. Pengukuran ini dilakukan dengan variable control yaitu jumlah anakan ikan koi 5 ekor dan berat pakan total yang diberikan dalam sehari sebanyak 3 gram dengan volume airakuarium 1,5 liter.

Sistem kontrol suhu diuji dengan melakukan tes terhadap respon alat pada input suhu air yang berbeda-beda. Saat suhu input air di atas *set point*, kita lihat apakah alat bekerja untuk mendinginkan suhu hingga mencapai nilai *set point*. Kemudian kita catat berapa suhu akhir air yang dapat dicapai.

Pengujian sistem kontrol TDS dilakukan dengan menguji respon alat pada input TDS air yang berbeda-beda. Saat TDS input air di atas *set point*, kita lihat apakah alat bekerja untuk menurunkan TDS hingga mencapai nilai *set point*. Kemudian kita catat berapa TDS akhir air yang dapat dicapai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil alat yang dirancang ditunjukkan Gambar 16. Di sebelah kiri adalah kenampakan alat tampak atas dan sebelah kanan adalah kenampakan tampak depan. Gambar tersebut menunjukkan kenampakan rangkaian alat secara keseluruhan, dimana box sistem dan kipas DC ditempatkan.



Gambar 16. Hasil Perancangan Alat

Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Sensor DS18B20 berfungsi melakukan pembacaan terhadap suhu dengan sinyal digital. Hasil pengukuran sensor ini merupakan nilai panas suatu zat dalam satuan derajat celsius ($^{\circ}\text{C}$). Berdasarkan pengujian, sensor DS18B20 akurasi cukup tinggi, yakni $0,5^{\circ}\text{C}$ dengan *range* suhu -10°C sampai $+85^{\circ}\text{C}$. Uji perbandingan menggunakan termometer digital dilakukan agar diketahui akurasi sensor ini. Caranya yaitu membandingkan hasil pengukuran suhu dari sensor dengan hasil pengukuran termometer digital. Hasil pengujiannya ditampilkan pada Tabel 5.

Untuk menghitung persentase *error* yang didapat dari pengukuran sensor DS18B20 digunakan persamaan 2 sebagai berikut

$$\text{Error}(\%) = \frac{(\text{Nilai Termometer} - \text{Nilai Sensor suhu})}{\text{Nilai Termometer}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan menggunakan rumus (1), diambil contoh dari percobaan 1 dari Tabel 5 untuk menghitung nilai *error* di bawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Error}(\%) &= \frac{(28,8 - 28,3)}{28,8} \times 100\% \\ &= 1,7\% \end{aligned}$$

Melalui perhitungan di atas, didapat juga nilai *error* untuk percobaan lainnya. Hasil perhitungan nilai *error* suhu secara keseluruhan dirangkum pada Tabel 5. Sedangkan rata-rata *error* pengukuran suhu dari sensor DS18B20 dihitung dengan persamaan (2)

$$\text{Rata-rata error}(\%) = \frac{\sum \text{Error}}{\sum \text{Percobaan}} \times 100\% \quad (2)$$

Dari data Tabel 5 dihitung rata-rata *error* pengukuran suhu menggunakan rumus (2) sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata } error (\%) &= \frac{1,7+2,1+2,0+1,9+2,4+1,7+2,0+2,7+2,5+2,0}{\Sigma \text{Percobaan}} \times 100\% \\ &= \frac{21}{10} \times 100\% \\ &= 2,1 \% \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor DS18B20

No.	Waktu (Jam)	Suhu Termometer (°C)	Suhu Sensor (°C)	Error (%)
1	07.00	28,8	28,3	1,7
2	09.00	28,9	28,3	2,1
3	11.00	30,2	29,6	2,0
4	13.00	31,4	30,8	1,9
5	15.00	29,8	29,1	2,4
6	07.00	28,7	28,2	1,7
7	09.00	29,9	29,3	2,0
8	11.00	29,4	28,6	2,7
9	13.00	31,8	31,0	2,5
10	15.00	30,4	29,8	2,0
Rata-rata error				2,1

Pengujian tersebut dimaksudkan agar diketahui perbedaan hasil pembacaan sensor suhu dengan keadaan aktual. Dalam penelitian ini, selain untuk mengetahui validitas data dari sensor, dicari juga nilai *error* dari pengukuran sensor. Pada pengujian ini, temperatur air diukur memakai sensor dan thermometer pada variasi waktu yang berbeda-beda.

Pengujian Sensor TDS SEN0244

Sensor TDS ialah sensor yang berfungsi untuk mengukur mineral terlarut atau TDS (*total dissolved solids*). Agar diketahui akurasi dari pembacaan sensor TDS, uji perbandingan dilakukan dengan pengukuran menggunakan TDS meter. Hasil pengujian tersebut ditampilkan di Tabel 6.

Persentase *error* dari pengukuran sensor DS18B20 dapat dihitung dengan persamaan (3)

$$Error(\%) = \frac{(\text{Nilai TDS meter} - \text{Nilai Sensor TDS})}{\text{Nilai TDS meter}} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan menggunakan rumus (3), diambil contoh dari percobaan 1 dari Tabel 6 untuk menghitung nilai *error* di bawah ini:

$$\begin{aligned} Error (\%) &= \frac{(126-103)}{126} \times 100\% \\ &= 18 \% \end{aligned}$$

Melalui perhitungan di atas, didapat juga nilai *error* untuk percobaan lainnya. Hasil perhitungan nilai *error* suhu secara keseluruhan dirangkum pada Tabel 6. Sedangkan rata-rata *error* pengukuran sensor TDS dihitung menggunakan persamaan (2).

Dari data Tabel 6 dihitung rata-rata *error* pengukuran TDS menggunakan rumus (2) sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata } error (\%) &= \frac{18,3+5,8+4,5+3,6+6,4+5,3+4,7+3,5+10,6}{10} \times 100\% \\ &= \frac{69,1}{10} \times 100\% \\ &= 6,9 \% \end{aligned}$$

Tabel 6. Hasil Pengujian Sensor SEN0244

No.	Nilai TDS Sensor (ppm)	Nilai TDS meter (ppm)	Error (%)
1	103	126	18,3
2	147	156	5,8
3	234	245	4,5
4	298	309	3,6
5	498	532	6,4
6	118	126	6,4
7	219	208	5,3
8	326	342	4,7
9	441	457	3,5
10	115	104	10,6
Rata-rata error			6,9

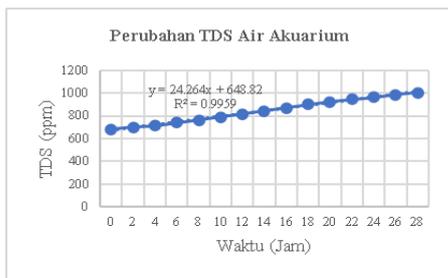
Perhitungan di atas dimaksudkan agar diketahui beda hasil antara pengukuran sensor TDS dengan keadaan aktual. Selain untuk mengetahui tingkat validitas data pembacaan sensor, pengujian ini juga dilakukan agar diketahui nilai *error* dari pengukuran sensor. Pada pengujian ini, TDS air diukur dengan sensor dan TDS meter pada variasi waktu yang berbeda-beda.

Pengukuran Perubahan TDS Akuarium

Pengukuran TDS akuarium secara periodik dilakukan agar diketahui waktu berubahnya TDS akuarium dari kondisi awal pengisian ikan dan pakan untuk mencapai titi keruh 1.000 ppm tanpa kontrol sistem. Pada Tabel 7 ditunjukkan perubahan TDS akuarium tiap jangka waktu 2 jam. Pengukuran perubahan TDS dilakukan dengan variabel kontrol yaitu jumlah anakan ikan koi 15 ekor dan berat pakan total yang diberikan dalam sehari sebanyak 10 gram dengan volume air akuarium 3 liter.

Tabel 7. Hasil Pengukuran TDS Akuarium

No.	Waktu Perubahan (Jam)	TDS Aktual (ppm)	Perubahan TDS Air (ppm)
1	0	684	0
2	2	699	15
3	4	712	13
4	6	743	31
5	8	763	20
6	10	788	25
7	12	815	27
8	14	843	28
9	16	872	29
10	18	902	30
11	20	926	24
12	22	944	18
13	24	964	20
14	26	985	21
15	28	1004	19
Rata-rata perubahan TDS			21,3



Gambar 17. Grafik Perubahan TDS Air Akuarium

Dari data Tabel 7 didapatkan informasi bahwa TDS akuarium berubah hingga mencapai batas titik keruh 1.000 ppm selama 28 jam (1 hari 4 jam) tanpa pengurasan tanpa kontrol sistem, dengan rata-rata perubahan TDS tiap 2 jam sebesar 21,3 ppm. Grafik pada Gambar 17 menunjukkan bahwa perubahan nilai TDS air akuarium cukup konsisten yang ditunjukkan oleh nilai R^2 grafik yaitu 0,9959.

Hasil Sistem Kontrol Suhu

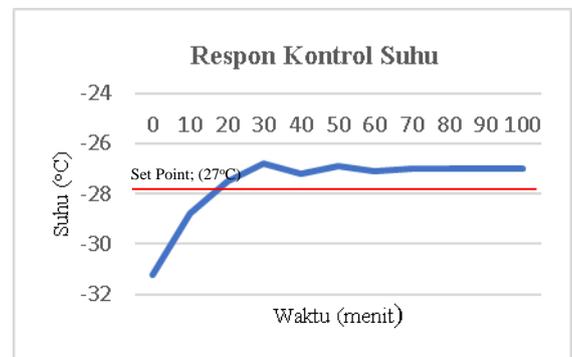
Hasil pengujian sistem kontrol suhu ditunjukkan oleh Tabel 8, dimana suhu air akuarium dikontrol dan diberi out put secara *real time*. Pengujian respon kendali sistem dilakukan dengan interval setiap 10 menit. Hasil pembacaan dicatat dan direkam dalam grafik pada Gambar 18.

Pengujian tersebut membuktikan bahwa sistem bisa bekerja sesuai harapan. Pada kondisi suhu air dingin ($\leq 27^\circ\text{C}$), pendingin tidak menyala. Saat suhu air $>27^\circ\text{C}$ pendingin akan menyala untuk menurunkan dan menstabilkan suhu. Karakteristik

parameter performansi sistem diperlihatkan pada Tabel 9.

Tabel 8. Hasil Pengujian Sistem Kontrol Suhu

No.	Waktu (menit)	Suhu Sensor ($^\circ\text{C}$)	Respon Pendingin
1	0	31,2	Menyala
2	10	28,8	Menyala
3	20	27,5	Menyala
4	30	26,8	Mati
5	40	27,2	Menyala
6	50	26,9	Mati
7	60	27,1	Menyala
8	70	27	Mati
9	80	27	Mati
10	90	27	Mati



Gambar 18. Grafik Respon Sistem Kontrol Suhu

Tabel 9. Performansi Sistem Kontrol Suhu

Parameter Respon	Performa Kontrol
$Rise\ time$	21,8 menit
$Settling\ time$	50,2
$\% Overshoot$	0,74%

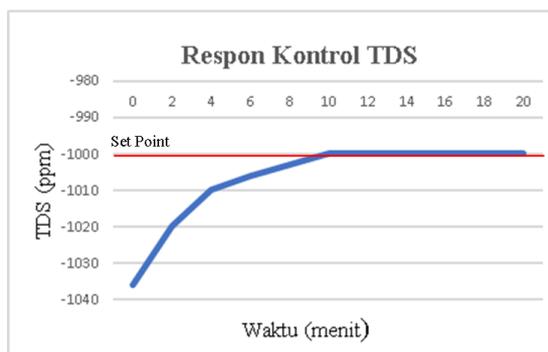
Hasil Sistem Kontrol TDS

Hasil pengujian sistem kontrol TDS ditunjukkan oleh Tabel 9, dimana TDS air akuarium dikontrol dan diberi out put secara *real time*. Pengujian respon kendali sistem dilakukan dengan interval setiap 2 menit. Hasil pembacaan dicatat dan direkam dalam grafik pada gambar 19.

Pengujian tersebut membuktikan bahwa sistem bisa bekerja sesuai harapan. Pada kondisi TDS air ≤ 1.000 ppm), pompa tidak menyala. Saat TDS air >1.000 ppm pompa akan menyala untuk menstabilkan nilai TDS. Karakteristik parameter performansi sistem diperlihatkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Grafik respond tim TDS

No.	Waktu (menit)	TDS Sensor (ppm)	Respon Pompa
1	0	1036	Menyala
2	2	1020	Menyala
3	4	1010	Menyala
4	6	1006	Menyala
5	8	1003	Menyala
6	10	1000	Mati
7	12	1000	Mati
8	14	1000	Mati
9	16	1000	Mati
10	18	1000	Mati



Gambar 19. Grafik Respon Sistem Kontrol TDS

Tabel 11. Performansi Sistem Kontrol Suhu

Parameter Respon	Performa Kontrol
<i>Rise time</i>	7,6 menit
<i>Settling time</i>	9,8 menit
<i>Error steady state</i>	0

PENUTUP

Simpulan

Dari serangkaian kegiatan serta hasil pengujian, penelitian ini telah berhasil membuat desain sistem kontrol suhu dan TDS air menggunakan fuzzy logic controller berbasis ESP 32 yang diaplikasikan pada akuarium anakan ikan koi. *Input* yang dipakai adalah sensor suhu DS18B20 dan sensor SEN0244, mikrokontroler yang digunakan adalah ESP 32 serta *outputnya* adalah pompa air dan peltier.

Berdasarkan pengujian kinerja alat, hasil kerja sistem cukup baik. Pengujian sensor suhu menunjukkan hasil nilai *error* yang relatif rendah, yaitu rata-rata 2,1 %. Sedangkan hasil pengujian sensor TDS rata-rata *error* bernilai 6,9 %. Pengujian respon kendali menunjukkan bahwa sistem bisa bekerja sesuai harapan, dimana hasil respon alat terhadap *input* berhasil menstabilkan suhu dan TDS sesuai dengan *set point*. Dari

pengujian respon kontrol suhu menghasilkan karakteristik performansi yaitu *rise time* 21,8 menit, *settling time* 50,2 menit dan % *overshoot* 0,74 %. Sedangkan pengujian kontrol TDS menghasilkan performa kontrol yaitu *rise time* 7,6 menit, *settling time* 9,8 menit dan *error steady state* 0. Nilai dari parameter-parameter performansi tersebut menunjukkan bahwa kinerja sistem kontrol cukup baik.

Saran

Saran konstruktif yang bisa penulis rekomendasikan dari kegiatan penelitian ini antara lain pada penelitian lanjutan, sistem ini dapat diterapkan untuk parameter kualitas air yang lain seperti pH, kekeruhan (turbiditas), alkalinitas dan oksigen terlarut. Selain beberapa hal itu, pengembangan penelitian ini juga dapat dilakukan untuk jenis ikan hias yang lain

DAFTAR PUSTAKA

- Askar, M. A., Susanto, Erwin, Wibowo, A. S. (2022). *Sistem Pengendalian Pakan dan Monitoring Kualitas Air Akuarium Otomatis*. Bandung. Universitas Telkom
- Barus, E. E., Ch. Louk, Andreas, K. Pinggak, Redi. (2018). *Otomatisasi Sistem Kontrol pH dan Informasi Suhu pada Akuarium Menggunakan Arduino Uno dan Raspberry PI 3*. Kupang. Universitas Nusa Cendana
- Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya. (2019). *Laporan Indikator Kinerja Triwulan I*. Jakarta. DJPB
- Emaliana, S. Usman & I. Lesmana. (2016). *Pengaruh perbedaan Suhu terhadap Pertumbuhan Benih Ikan Mas Koi (Cyprinus Carpio)*. *Jurnal Aquacoastmarine*, Vol 4. No. 3
- Indriyanto, Slamet. (2020). *Sistem Monitoring Suhu Air pada Kolam Benih Ikan Koi Berbasis Internet of Things*. TELKA, Vols. 6, No.1, pp. 10 - 19.
- Karomari, B. I. dan David, Felix. (2023). *Perancangan dan Implementasi Sistem Pakan Otomatis dan Monitoring Tds Pada Akuarium Ikan Hias Berbasis Iot*. Salatiga: Universitas Kristen Satya Wacana
- Kharisma, R. dan Thaha, S. (2020). *Rancang Bangun Alat monitoring dan Penanganan Kualitas Air pada kauarium Ikan Hias berbasis Internet of Things (IoT)*. Surabaya. Universitas Hang Tuah

- Nur Rohman, F. S., (2020). *Rancang Bangun Kontroller Pendingin untuk Unit Peltier Berbasis Fuzzy Logic*. Surabaya. UNESA
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
- Pradisti, R., dan Mustaziri. (2020). *Rancang Bangun Alat Penghitung Biaya Penggunaan Listrik Kamar Kos secara Otomatis Berbasis Arduino Menggunakan Sensor Arus*. TEKNIKA. Jurnal Ilmiah Bidang Rekayasa
- Pratama, A., N. (2017). *Implementasi Sensor TDS (Total Dissolved Solids) untuk Kontrol Air secara Otomatis pada Tanaman Hidroponik*. Surabaya. Institut Bisnis dan Informatika STIKOM
- Rafiuddin, Syam. (2013). *Buku Ajar: Dasar – Dasar Teknik Sensor untuk Kasus Sederhana*. Makasar. Universitas Hasanuddin
- Rusli, Arthur. (2019). *Pengaturan Temperatur Pendingin Portable dengan Algoritma PID menggunakan Arduino nano*. Surabaya. Universitas Widya Kartika
- Saputra, Rendy. (2021). *Pentingnya Mengukur Tingkat TDS (Total Dissolved Solids)*. (Online)
- Septiawan, R. A. (2013). *Implementasi Logika Fuzzy Mamdani untuk Menentukan Harga Gabah*. Semarang. Universitas Dian Nuswantoro
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- Syukhron, I., Rahmadewi, R., dan Ibrahim. (2021). *Penggunaan Aplikasi Blynk untuk Monitoring dan Kontrol Jarak Jauh pada Sistem Kompos Pintar Berbasis IoT*. Karawang. Universitas Singaperbangsa
- Ulfiana, R., G. Mahasri dan H. Suprpto. (2012). *Tingkat Kejadian Aeromonosis pada Ikan Koi (Cyprinus carpio) yang Terinfeksi Myxobolus koi pada Derajat Infeksi yang Berbeda*. Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan. 4(2): 169-174.
- Wagyana, A., dan Rahmat. (2019). *Prototype Modul Praktik untuk Pengembangan Aplikasi Internet of Things (IoT)*. SETRUM. Sistem Kendali Tenaga Elektronika Telekomunikasi Komputer
- Wahab, F., Sumardiono, F., Al Tahtawi, A. R., A. Mulayari, A., F. (2017). *Desain dan Purwarupa Fuzzy Logic Controller untuk Pengendalian Suhu Ruangan*. Bandung. Universitas Parahyangan
- Wahyudi, J. (2014). *Audit Energi di Bidang Tata Cahaya untuk Gedung Kampus Bonaventura UAJY*. Yogyakarta. Universitas Atma Jaya
- Zaini, M., Safrudin, dan Bachrudin, M. (2020). *Perancangan Sistem Monitoring Tegangan, Arus dan Frekuensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis IoT*. TESLA. Jurnal Teknik Elektro
- Zulfa S. dan Purnama I. G. (2022). *Sistem Monitoring Suhu dan Pakan Ikan Otomatis Pada Ikan Hias Di Akuarium Berbasis Internet Of Things*. ZONAsi: Jurnal Sistem Informasi, 4(2), 184 - 194.