

Optimasi Kendali PH pada Akuarium Menggunakan Metode FuzzyPID Niko Novian Pratama¹, Aji Gautama Putrada², Maman Abdurahman³

^{1,2}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

¹nikonovian@students.telkomuniversity.ac.id, ²ajigautama@telkomuniversity.ac.id,

³abdurohman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Memelihara kejernihan akuarium merupakan hal yang utama dalam memelihara ikan hias. Hal ini bisa dioptimalkan dengan menggunakan sistem pengukuran yang memperhitungkan variabel-variabel dalam parameter kondisi air yang ideal. Karena itu penting untuk menerapkan sistem pengukuran parameter-parameter dari perangkat. Internet of Things pada saat ini sangat berguna untuk membantu kebutuhan manusia di kehidupan sehari-hari. Maka dari itu akuarium ini menggunakan sistem berbasis Internet of Things yang dapat mengendalikan kualitas pH pada air akuarium yang kemudian mampu memberikan informasi kadar pH dan suhu serta normal atau tidaknya kondisi air akuarium kepada pengguna. Tugas akhir ini bertujuan untuk me-monitoring dan controlling kondisi air pada akuarium secara langsung ataupun secara telemetri selama perangkat terhubung dengan internet, agar memudahkan pengguna akuarium. Parameter yang dapat diamati yaitu kondisi pH dan menggunakan metode FuzzyPID. Keluaran logika fuzzyPID akan menentukan nilai konstanta proporsional dan konstanta derivatif pada kendali PID yang menentukan hasil akhir normal atau tidaknya kondisi air suatu akuarium. Hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa kendali pH pada akuarium yang sebelumnya memiliki pH 5.52 yang termasuk dalam kondisi tidak normal dapat dikendalikan menjadi kondisi normal yaitu pH 7. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa algoritma yang diterapkan sudah berjalan dengan baik dan benar sesuai pengujian.

Kata kunci : *Internet of Things, Monitoring, Controlling, pH, FuzzyPID.*

Abstract

Maintaining aquarium clarity is the main thing in maintaining ornamental fish. This can be optimized using a measurement system that takes into account the variables in the parameters of ideal water conditions. Therefore it is important to implement a system of measuring the parameters of the device. The Internet of Things at this time is very useful to help human needs in everyday life. Therefore, this aquarium uses an Internet of Things-based system that can control the pH quality in aquarium water which is then able to provide information on pH levels and temperature and whether or not the aquarium water is normal to the user. This final project aims to monitor and control the water conditions in the aquarium directly or telemetry as long as the device is connected to the internet, to make it easier for aquarium users. Parameters that can be observed include pH conditions using the FuzzyPID method. The fuzzy PID logic output will determine the proportional constant value and the derivative constant in the PID control which determines whether the final result is normal or not. The results of this study prove that the pH control in an aquarium that previously had a pH of 5.52 which is considered abnormal can be controlled to a normal condition, namely pH 7. Based on the results of this study, it can be concluded that the algorithm applied has worked well and correctly according to the test.

Keywords : *Internet of Things, Monitoring, Controlling, pH, FuzzyPID.*

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Ikan mas koki merupakan ikan yang dapat dibudidayakan pada kolam. Keadaan topografi dan iklim merupakan faktor yang tidak dapat dikontrol dalam pengaruhnya terhadap kualitas suatu perairan. Ikan mas koki dapat bertahan hidup pada suhu 10–30 °C. Akan tetapi kondisi idealnya 24-28 °C dengan pH air kisaran 7-8. Perubahan suhu dan pH yang drastis sangat rentan apabila terjadi pada ikan ini.

Kemajuan teknologi semakin meningkat dan perkembangan teknologi berperan penting dalam terbentuknya ekosistem jaringan *Internet of Things*. Sistem *monitoring* dan *controlling* pada akuarium bertujuan untuk dapat dilakukan pengukuran parameter ideal tidaknya kondisi air pada akuarium dan sistem ini juga dapat memberikan informasi berupa data di *website* serta memberikan status kondisi akuarium jika parameter yang melebihi ataupun mengurangi batas angka ideal yang ditentukan oleh pengguna. Sistem ini juga mampu mengontrol kadar pH agar selalu stabil di batas normal.

Permasalahan yang sering terjadi pada sistem *monitoring* diantaranya data hilang atau gagal dikirim dengan jaringan internet ketika *traffic* dari penyedia layanan dalam kondisi sibuk, sehingga memiliki peluang data tidak terkirim jika kondisi yang *critical*, selain hal tersebut juga menimbang dari keefesiensian dan keefektifan hasil kondisi suatu akuarium yang kadang kala error atau tidak sesuai. Seperti halnya penelitian terkait mengenai "*IoT-Based Mini Aquarium System*", [16]. Sistem *monitoring* memiliki sedikit kesamaan namun berbeda untuk sistem koneksi ke platform termasuk juga perbedaan pada sistem *warning*, dimana pada alat ini digunakan jaringan internet untuk fungsi *monitoring*.

Kontroler PID (Proportional, Integral, Derivative) merupakan kontroler mekanisme umpan balik (feedback) yang banyak dipakai pada sistem kendali konvensional. Kontroler ini secara kontinyu menghitung nilai error kemudian mencoba untuk meminimalkan nilai error setiap waktu dengan penyetelan variabel kendalinya. Ketika membuat suatu sistem kontrol, tentunya ada suatu hal yang menjadi tujuan. Tujuan dari pengontrolan suatu sistem tersebut biasa disebut dengan setpoint. sistem akan terus berusaha agar nilai dari setpoint tersebut selalu terpenuhi. Simpangan nilai antara setpoint dengan nilai kenyataan disebut dengan error. Fuzzifikasi adalah bagian dari sistem Fuzzy yang berfungsi untuk merubah nilai yang bersifat pasti (Crisp) kedalam variabel linguistik. Proses ini terdiri dari pembentukan membership function yang sesuai dengan basis pengetahuan fuzzy.

Topik dan Batasan

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji sistem *monitoring* dan *controlling* dengan menggunakan logika *fuzzyPID* untuk menentukan normal atau tidaknya kondisi air akuarium dan menjaga kadar pH agar tetap stabil di batasan normal. Dalam penelitian ini dilakukan rancang bangun alat dengan menggunakan mikrokontroler sebagai kontrolernya, sensor serta komponen pendukung lainnya.

Batasan masalahnya adalah *Monitoring* menggunakan platform berupa *website* yang hanya dapat melihat kondisi akuarium dengan *localhost* serta *Controlling* kadar pH agar pH tetap stabil di batasan normal. Sensor suhu hanya sebagai fitur tambahan dan tidak terkait dengan penelitian yang diuji.

Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah selalu menjaga kondisi pH air akuarium agar selalu terjaga pada batasan normal. Tujuan lainnya yaitu dapat *me-monitoring* kondisi akuarium yang bisa dilakukan dengan koneksi *localhost*.

2. Studi Terkait

Berdasarkan penelitian yang berjudul "*An IoT-Based Mini Aquarium System*" Dalam penelitian ini koneksi yang digunakan hanya lokal host dimana akuarium tidak bisa dibawa atau dipindahkan hanya bisa disatu tempat. Setiap perpindahan akuarium koneksi harus di atur ulang. [16]

Berdasarkan penelitian yang berjudul "Performance Comparison and Energy Consumption Index Between MPC and FuzzyPID in Small-scaled Agarwood Distillation Pot." Dalam penelitian ini *Fuzzy-PID* controller merupakan suatu metode pengontrolan modern gabungan dari algoritma *fuzzy* dan *PID*, yang menawarkan keunggulan dibandingkan dengan metode pengontrolan konvensional. Parameter-parameter *PID* yang berfungsi untuk menentukan sifat dari respon sistem, ditentukan oleh keluaran dari algoritma *fuzzy*. [11]

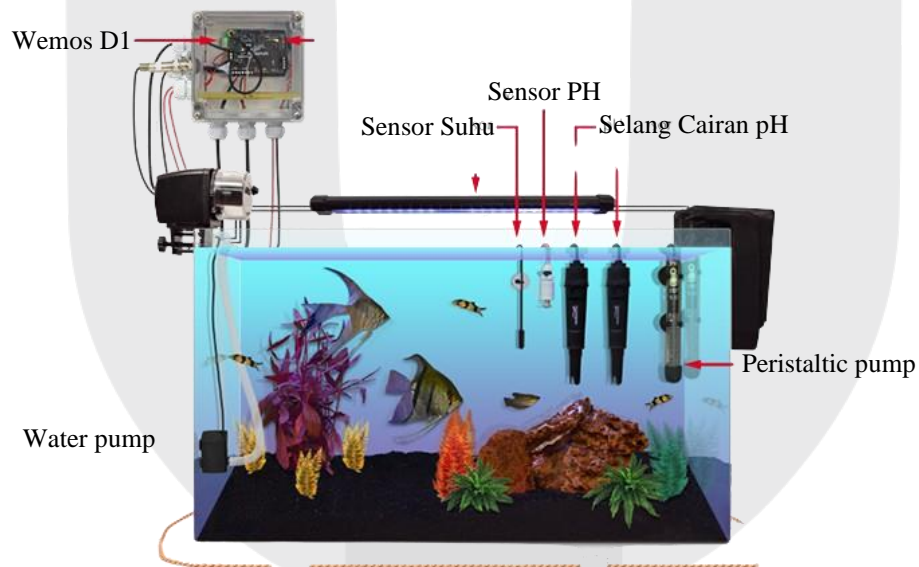
Berdasarkan penelitian yang berjudul "The Effect of Goldfish (*Carassius auratus*) on Water Quality in Horse Stock Tanks" Dalam penelitian ini ikan mas koki dianggap sebagai ikan yang tergolong tangguh hal ini dikarenakan ikan mas koki dapat bertahan hidup di air berkualitas buruk. Walaupun demikian kualitas air penting diperhatikan agar pertumbuhan, reproduksi dan kesehatan ikan berjalan optimal. Ikan mas koki ini dapat hidup sampai umur kurang lebih 30 tahun dengan panjang mencapai 23 inches (58 cm) dan berat mencapai 2,7 kg. Ikan mas koki dapat bertahan hidup pada suhu 10–30 °C. Akan tetapi kondisi idealnya 24–28 °C dengan pH air kisaran 7-8.

Perubahan suhu dan pH yang drastis sangat rentan apabila terjadi pada ikan ini. Oleh sebab itu disarankan pada waktu mengganti air, sisakan 30% dari air yang lama untuk dicampur dengan air yang baru. [3]

3. Alur Sistem

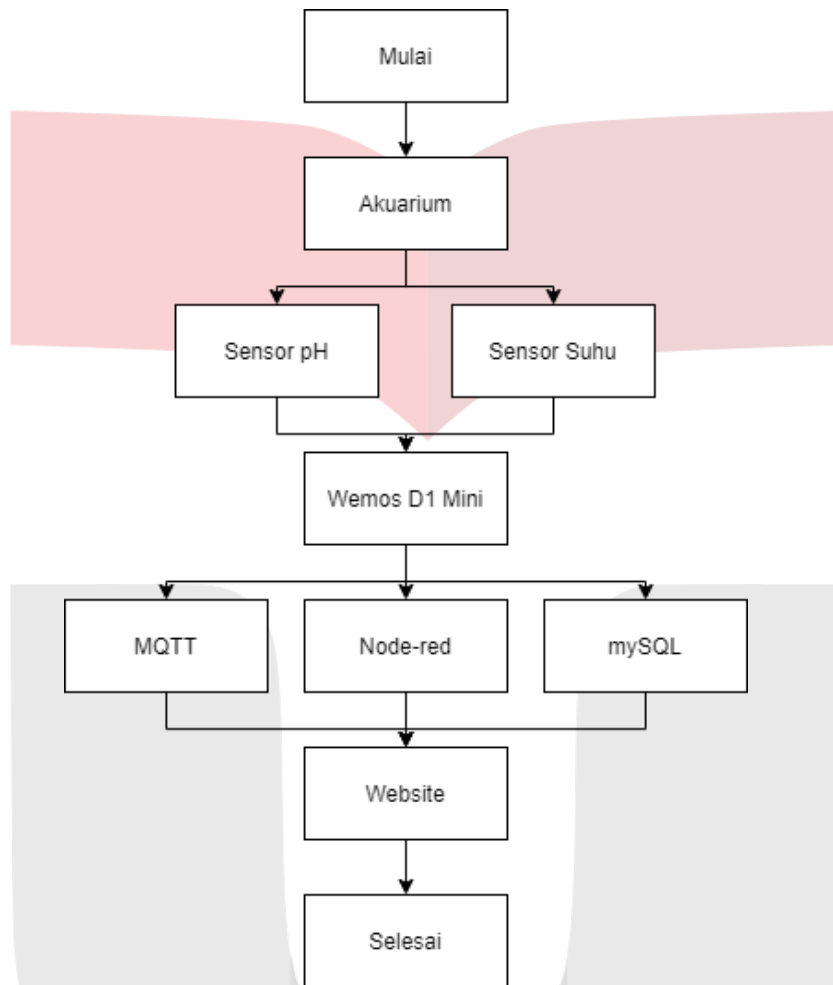
3.1 Sistem Monitoring dan Controlling Kondisi Air Pada Akurium

Gambaran umum sistem penelitian Tugas Akhir ini ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2. Pada Gambar 1 dijelaskan gambaran sistem dijelaskan bahwa di akuarium tersebut dilengkapi beberapa sensor yaitu sensor suhu dan sensor pH. Sensor suhu yang digunakan adalah DS18B20, sensor ini dilengkapi dengan casing *waterproved* sehingga dapat mengukur suhu air pada akuarium. Sensor pH menggunakan PH Meter, untuk mendeteksi pH air pada akuarium yang dimana sebelumnya dilakukan kalibrasi agar pH yang terukur sangat efektif. Sensor suhu hanya sebatas info, tetapi Sensor pH yang dimana data atau nilai dari sensor pH dibaca oleh arduino dan diolah menggunakan metode *FuzzyPID* untuk menentukan normal atau tidaknya kondisi air pada akuarium. Setelah ditentukan kondisinya, jika kondisi berada pada situasi yang tidak normal, maka peristaltic pump akan bekerja untuk menurunkan cairan pH *up* jika pH berada di atas batas normal dan akan menurunkan cairan pH *down* jika pH berada di bawah batas normal lalu kemudian data dikirim ke server melalui koneksi *WiFi* dan protokol MQTT menerima data serta menyimpan data ke database. Setelah itu data ditampilkan di *website* untuk memberikan dan menampilkan informasi data yang sudah diolah, serta dapat mengontrol pH dengan cara otomatis maupun manual pada *website*.



Gambar 1 Gambaran Sistem Kendali pH Pada Akuarium

Pada gambar 2 dijelaskan alur sistem kontrol pH serta *monitoring* pH dan suhu. Sistem *monitoring* dimulai dengan sistem mendeteksi suhu dan pH air akuarium, lalu memberi informasi data suhu dan pH. Untuk sistem *controlling*, dimulai dengan mendeteksi kadar pH air akuarium lalu melakukan proses *controlling* dengan metode *FuzzyPID* untuk menentukan normal atau tidaknya kondisi air akuarium. Setelah proses tersebut maka data akan ditampilkan di *website* dan disimpan di database.



Gambar 2 Blok Diagram Sistem kendali pH pada Akuarium

3.2 Komponen Perangkat Keras Dan Lunak

3.2.1 Komponen perangkat keras

Perangkat keras yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Wemos D1 Mini
Wemos D1 Mini digunakan sebagai mikrokontroler untuk membaca data-data sensor dan mengirimkan data ke platform.
2. Adaptor 12V
Adaptor 12V digunakan sebagai sumber tegangan untuk menyalakan sistem.
3. Sensor pH meter
pH meter digunakan untuk mengukur pH air dalam akuarium.
4. Sensor suhu DS18B20
DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu air dalam akuarium.
5. Peristaltic Pump 12V
Peristaltic pump 12V digunakan untuk menurunkan cairan pH up dan pH down secara otomatis maupun manual.

3.2.2 Komponen perangkat lunak

Untuk menunjang sistem *monitoring* diperlukan sebagai berikut:

1. Bahasa pemrograman digunakan pada *website* adalah Node Red.
2. Bahasa pemrograman digunakan pada mikrokontroler adalah Arduino.
3. *Web Browser*.
4. Arduino IDE.

3.3 Pengujian Sensor dengan Menggunakan Arduino Uno

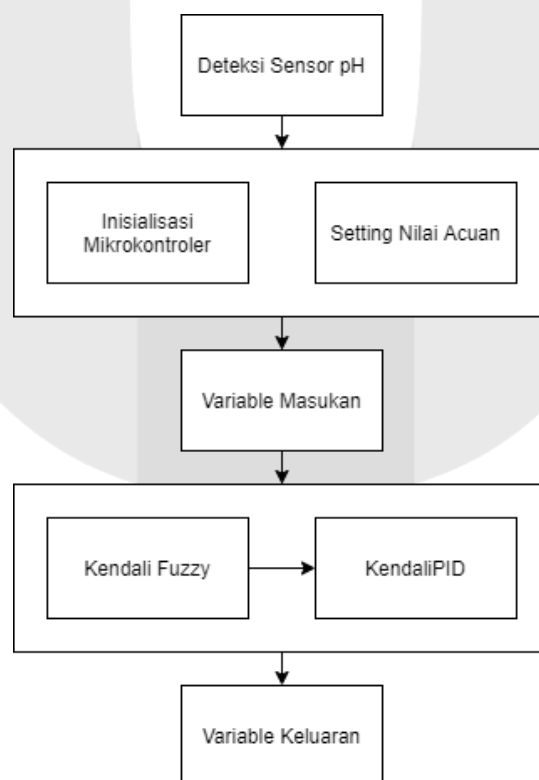
Dalam memantau kualitas air dibutuhkan sensor yang berfungsi untuk mendeteksi suhu dan pH sebagai indikasi bahwa kualitas air yang didalam akuarium buruk atau baik. Untuk memberikan informasi kepada pemilik akuarium data yang telah diambil dari masing-masing sensor akan dikirm melalui *WiFi* dengan koneksi internet dan disimpan kedalam database yang nantinya isi dari database tersebut ditampilkan pada *website* untuk di-*monitoring* serta *controlling*. Agar proses penelitian ini lebih efektif dalam mengukur pH, dilakukanlah kalibrasi pH sebagai berikut.

1. Siapkan bubuk pH 4 dan pH 9 serta beri wadah yang berbeda.
2. Setelah itu ukur pH menggunakan pH meter, maka keluarlah nilai ADC dari masing-masing wadah.
3. Pada wadah yang berisi bubuk pH 4, didapatkan nilai ADC sebesar 691 dan pada wadah yang berisi bubuk pH 9, didapatkan nilai ADC sebesar 406.
4. Setelah mendapatkan nilai ADC dari nilai masing-masing pH tersebut, kita masukan kedalam rumus persamaan linear. Hasil dari rumus persamaan linear tersebut yaitu $pH = (-5,18 * (\text{nilai ADC}) + 4719,38) / 285$.

3.4 Fungsi FuzzyPID

Kontroler PID (*Proportional, Integral, Derivative*) merupakan kontroler mekanisme umpan balik (*feedback*) yang banyak dipakai pada sistem kendali konvensional. Kontroler ini secara terus menerus menghitung nilai *error* kemudian mencoba untuk meminimalkan nilai *error* setiap waktu dengan penyetelan variabel kendalinya. Kendali PID dalam hal bernavigasi adalah unjuk kerja alat pengontrol akuarium yang tidak bisa menyesuaikan dengan kondisi medan yang dihadapi karena nilai konstanta K_p , K_i dan K_d bernilai tetap. Penelitian ini untuk mengkaji penerapan kendali *fuzzyPID* untuk meningkatkan performa alat yang digunakan di dalam akuarium untuk mengontrol kadar pH air. Dalam penelitian ini dilakukan rancang bangun alat yang kemudian dihubungkan kedalam web dengan menggunakan mikrokontroler sebagai kontrolernya.

Diagram alur sistem *fuzzyPID*, sebagai berikut:



Gambar 3 Alur Sistem FuzzyPID Untuk Optimasi Kendali pH

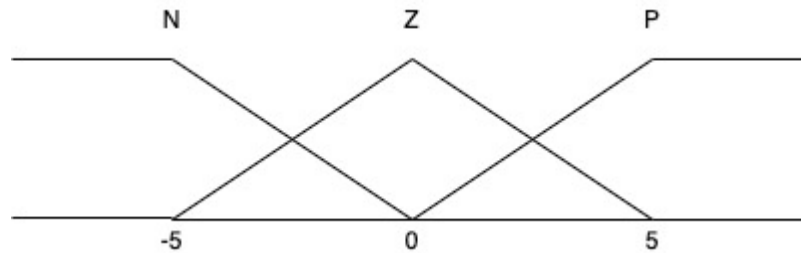
Diagram alur ini menunjukkan proses yang terjadi dalam sistem yang terdiri dari pembacaan sensor, pengolahan awal, variabel masukan, kendali *FuzzyPID* dan variabel keluaran. Dalam sistem navigasi pada alat ini variabel masukan yang digunakan berupa nilai *error* dan perubahan *error*. Nilai *error* merupakan nilai yang didapat dari selisih antara setpoint sensor yang ditetapkan dengan nilai pembacaan sensor.

$$Error = Set\ point - Variabel\ terukur \quad (1)$$

Nilai perubahan *error* (*Derror*) merupakan nilai yang didapat dari selisih antara *error* sekarang dengan *error* sebelumnya saat robot bernavigasi.

$$Derror = Error_n - Error_{n-1} \quad (2)$$

Pada proses fuzzifikasi yang ditunjukkan oleh gambar 4, variabel *error* didefinisikan dalam tiga himpunan fuzzy yaitu Negatif, Zero dan Positif. Sedangkan Variabel perubahan *error* (*Derror*) didefinisikan dalam 3 himpunan fuzzy yaitu N (Negatif), Zero, dan P (Positif) Fungsi Keanggotaan Variabel *Derror*, sebagai berikut:



Gambar 4 Keanggotaan Variabel *Derror*

Setelah nilai tegas berubah menjadi nilai *fuzzy* melalui proses fuzzifikasi, tahap selanjutnya adalah sistem inferensi *fuzzy*. Sistem inferensi *fuzzy* disini menggunakan metode *Sugenoorde nol*.

Basis aturan *fuzzy* konstanta proporsional(Kp):

Tabel 1 Basis Aturan Fuzzy Konstanta Proporsional

| Derror Error | N | Z | P |
|-----------------|---|---|---|
| N | K | K | K |
| Z | n | n | n |
| P | B | B | B |

Dimana N merupakan nilai Negatif, Z merupakan nilai Zero, P merupakan nilai Positif, K merupakan nilai Kecil, n merupakan nilai Normal, dan B merupakan nilai Besar

Basis aturan *fuzzy* konstanta derivatif (Kd):

Tabel 2 Basis Aturan Fuzzy Konstanta Derivatif

| Derror Error | N | Z | P |
|-----------------|---|---|---|
| N | K | K | K |
| Z | n | n | n |
| P | B | B | B |

Dimana N merupakan nilai Negatif, Z merupakan nilai Zero, P merupakan nilai Positif, K merupakan nilai Kecil, n merupakan nilai Normal, dan B merupakan nilai Besar

Setelah didapatkan aturan-aturan dalam proses inferensi, maka proses selanjutnya adalah merubah nilai-nilai linguistik tersebut kembali ke nilai pasti (*Crisp Output*) melalui proses defuzzifikasi metode rata-rata. Metode yang digunakan ialah *Weight Average*. Metode ini mengambil nilai rata-rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan, dengan persamaan:

$$Z = \frac{\sum \mu(n)z_n}{\sum \mu(n)} \quad (1)$$

Dimana Z adalah nilai crisp atau nilai keefektifan, z_n adalah dan $\mu(n)$ adalah derajat keanggotaan dari nilai crisp n , sedangkan z_n adalah nilai hasil inferensi pada derajat keanggotaan, dan n adalah nilai dari proses fuzzifikasi sebelumnya.

Jadi setelah kedua sistem dibuat, maka hasil dari kontroler PID dijumlahkan dengan *Crispt output* dari *Fuzzy logic*. Dari hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa, metode *fuzzy logic* yang digabungkan dengan kontroler PID dapat diterapkan pada kendali sensor untuk mempercepat pengolahan data dari sistem. Karena, dari nilai *derror* dan *error* yang ada, telah dipetakan sedemikian rupa kedalam derajat keanggotaan fuzzy, sehingga tanggapan respon akan lebih cepat.

Setelah melakukan proses fuzzifikasi, maka dilanjutkan dengan proses proses defuzzifikasi. Proses defuzzifikasi disini bertujuan untuk mencari nilai KP, KI, dan KD. Proses defuzzifikasi dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Buka website pid.tunner.com.
2. Setelah itu inputkan nilai yang didapatkan pada fuzzifikasi.
3. Setelah itu pilih rumus yang digunakan.
4. Setelah mendapatkan nilai hasilnya, atur scale untuk nilai Min dan nilai MAXnya.
5. Setelah proses yang didapatkan pada langkah-langkah diatas, didapatkanlah nilai PID yang dilanjutkan pada proses selanjutnya.

Variabel Keluaran:

Variable keluaran merupakan nilai PID. Untuk menentukan ph up dan ph down yang diberikan. Jika variable keluaran bernilai positif maka akan di berikan ph up jika negatif akan diberikan ph down. Variable keluaran yang telah disesuaikan dengan pH, sehingga akan mendapatkan hasil sebagai berikut:

$$P = Kp \times Error \quad (1)$$

Dimana P merupakan nilai proporsional, Kp merupakan nilai konstanta proporsional, dan *Error* merupakan nilai *error*

$$I = prevI \times 0,01 + (Ki \times Error) \quad (2)$$

Dimana *I* merupakan nilai integral, *prevI* merupakan nilai integral yang sebelumnya, Ki merupakan nilai konstanta Integral, dan *Error* merupakan nilai *error*.

$$prevI = I \quad (3)$$

Dimana *I* merupakan nilai integral dan *prevI* merupakan nilai integral yang sebelumnya

$$D = \left(\frac{K \times d}{100} \right) \times (Error - deError) \quad (4)$$

Dimana D merupakan Nilai *Derrivative*, K konstanta, *Error* merupakan nilai *error*, dan *deError* merupakan nilai *error* sebelumnya.

$$lastOutput = P + I + D \quad (5)$$

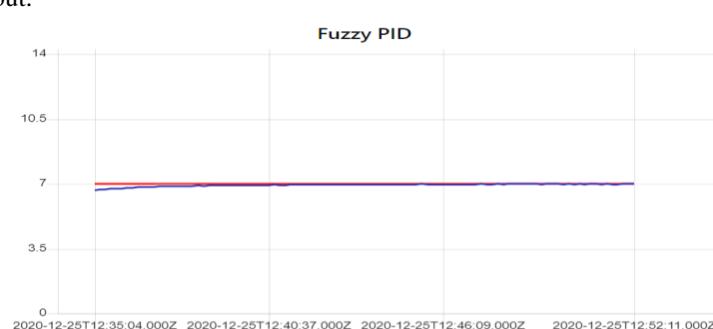
Dimana P adalah Nilai *Proportional*, I adalah Nilai *Integral*, dan D adalah Nilai *Derrivative*.

4. Evaluasi

4.1 Hasil Pengujian Kondisi Akuarium menggunakan metode FuzzyPID

Berikut hasil pengujian akuarium menggunakan metode fuzzyPID yang dilakukan dalam tugas akhir ini.

Pada gambar 5, dapat dilihat bahwa pH air pada akuarium pada sebelumnya yaitu 6 berubah menjadi 7, sehingga membuktikan bahwa pH pada akuarium tersebut dapat dikendalikan yang semula dibawah batas normal, menjadi kondisi normal dengan membutuhkan waktu sekitar 17 menit untuk proses *controlling* pH pada akuarium tersebut.

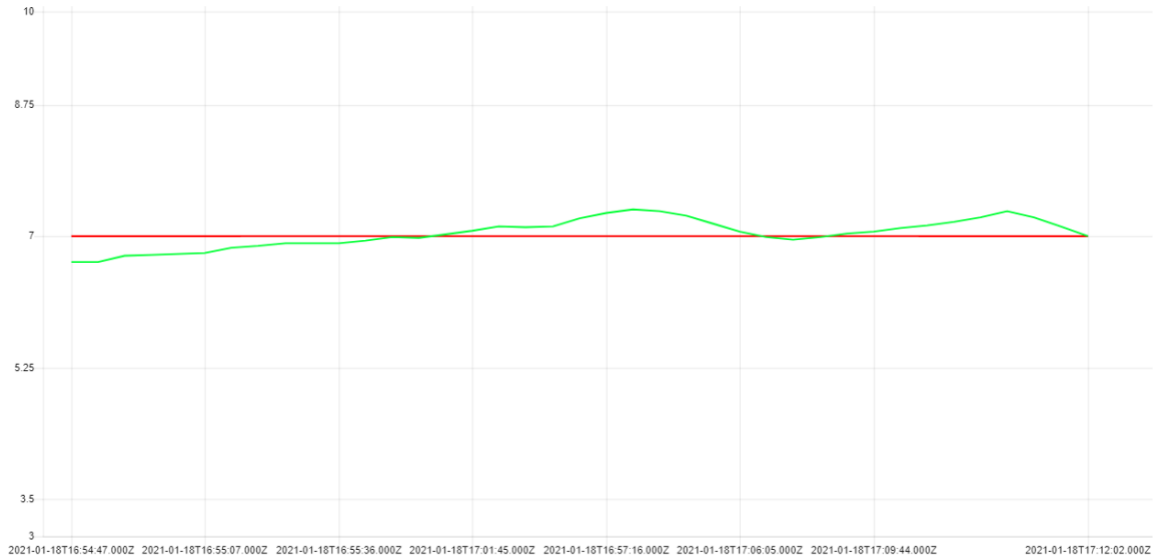


gambar 5 grafik pH menggunakan metode FuzzyPID

4.2 Hasil Pengujian Kondisi Akuarium tanpa menggunakan metode FuzzyPID

Berikut hasil pengujian akuarium tanpa menggunakan metode fuzzyPID yang dilakukan dalam tugas akhir ini :

Pada gambar 6, dapat dilihat bahwa pH air pada akuarium pada sebelumnya yaitu 6 dan berubah menjadi 7, tanpa metode *fuzzyPID* pH pada akuarium dapat dikendalikan juga tetapi membutuhkan waktu yang lebih lama yaitu sekitar 20 menit untuk proses *controlling* pH pada akuarium tersebut.

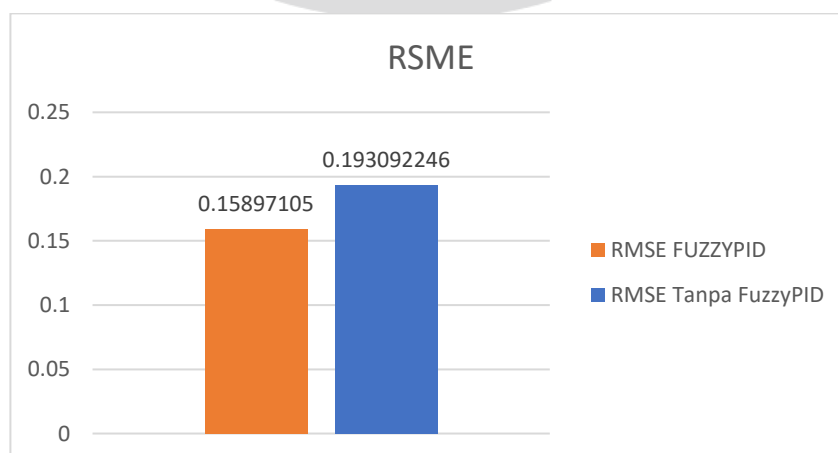


gambar 6 grafik pH tanpa menggunakan metode FuzzyPID

4.3 Hasil perbandingan Error Metode FuzzyPID dengan tanpa metode FuzzyPID

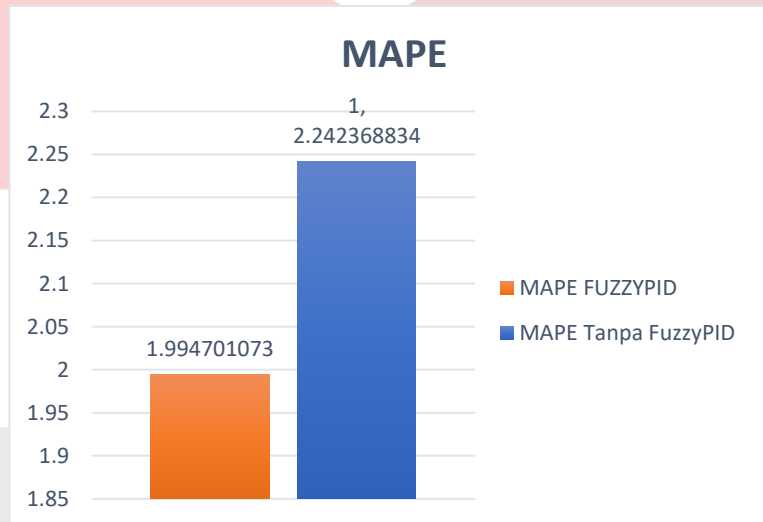
Untuk mengukur tingkat akurasi hasil perkiraan suatu model digunakanlah Root Mean Squared Error (RMSE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). RMSE dapat berkisar dari 0 hingga ∞ . RMSE dapat berorientasi negatif dimana nilai yang lebih rendah menunjukkan nilai yang lebih baik. Jika nilai RMSE lebih kecil, hal ini berarti bahwa nilai yang diprediksi dekat dengan nilai yang diamati atau observasi, dan sebaliknya. Nilai MAPE dapat diinterpretasikan atau ditafsirkan sebagai berikut. Semakin kecil nilai MAPE maka semakin kecil kesalahan hasil pendugaan, sebaliknya semakin besar nilai MAPE maka semakin besar kesalahan hasil pendugaan. Berikut hasil perbandingan error dengan menggunakan RMSE dan MAPE.

Berdasarkan gambar 7, nilai RMSE metode *FuzzyPID* dan tanpa metode *FuzzyPID* yaitu 0.15897105 dan 0.193092246. Bisa kita simpulkan bahwa metode *FuzzyPID* bernilai lebih rendah dibandingkan tanpa *FuzzyPID*, hal itu menunjukkan bahwa dengan *FuzzyPID* nilai yang diprediksi dekat dengan nilai yang di amati atau observasi.



gambar 7 Barchart perbandingan RMSE FuzzyPID dan Tanpa FuzzyPID

Berdasarkan gambar 8, nilai MAPE metode *FuzzyPID* dan tanpa metode *FuzzyPID* yaitu 1.994701073% dan 2.242368834%. Nilai MAPE metode *FuzzyPID* lebih rendah dibandingkan tanpa metode *FuzzyPID*, dengan itu dapat disimpulkan bahwa metode *FuzzyPID* lebih efektif karena mempunyai tingkat kesalahan hasil pendugaan yang lebih rendah.



gambar 8 Barchart perbandingan MAPE *FuzzyPID* dengan tanpa *FuzzyPID*

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pengujian pengendalian pH akuarium dengan metode *FuzzyPID*, dapat disimpulkan bahwa metode fuzzy logic yang digabungkan dengan kontroler PID dapat diterapkan untuk mengendalikan kadar pH air pada akuarium. Dengan hasil RMSE menggunakan metode *FuzzyPID* yaitu 0.15897105 dan hasil RMSE tanpa metode *FuzzyPID* yaitu 0.193092246 lalu hasil MAPE dengan menggunakan metode *FuzzyPID* yaitu 1.994701073% dan hasil MAPE tanpa menggunakan metode *FuzzyPID* yaitu 2.242368834%, terbukti berhasil dengan dilakukan pengujiannya dengan metode *FuzzyPID* yang menghasilkan bukti tingkat akurasi yang baik serta tingkat kesalahan yang rendah sehingga meminimalisir kematian pada ikan.

6. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini terdapat beberapa saran untuk meningkatkan dalam pengendalian pH pada akuarium, yaitu dengan meningkatkan proses pengendalian pH agar waktu yang dibutuhkan dari kondisi tidak normal menjadi normal bisa sesingkat mungkin dari sebelumnya.

Reference

- [1]. Alexandrov, V.V., B.V. Alexandrov, D.V. Alexandrov, A.N. Chusov, and L.A. Popova. 2010. "Behavior of aquarial goldfish *Carassius auratus* as the diagnostic response to electromagnetic emission from cellular telephone communication units." *Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility*. Beijing, China: IEEE.
- [2]. Ang, Kiam Heong, G. Chong, and Yun Li. 2005. "PID control system analysis, design, and technology." *IEEE Transactions on Control Systems Technology* (IEEE).
- [3]. Catalano, Devan N., Bradley J. Heins, Shahram Missaghi, and Marcia R. Hathaway. 2019. "The Effect of Goldfish (*Carassius auratus*) on Water Quality in Horse Stock Tanks." *Journal of Equine Veterinary Science* 79.
- [4]. Chanthakit, Somphop, and Choopan Rattanapoka. 2018. "MQTT Based Air Quality Monitoring System using Node MCU and Node-RED." *Seventh ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC)*. Nakhonpathom, Thailand: IEEE.
- [5]. Cousin, Phillipe, Charlotte Dupont, and Samuel Dupont. 2016. "Smart and easy-to-deploy real-time water monitoring with IoT." *Global Internet of Things Summit (GIoTS)*. France: IEEE.
- [6]. Daud, Ahmad Kamal Pasha Mohd, Norakmar Arbain Sulaiman, Yuslinda Wati Mohamad Yusof, and Murizah Kassim. 2020. "An IoT-Based Smart Aquarium Monitoring System." *IEEE 10th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*. Malaysia, Malaysia: IEEE.
- [7]. Gawthrop, P.J. 1996. "Self-tuning PID control structures." *IEE Colloquium on Getting the Best Out of PID in Machine Control*. London, UK: IET.
- [8]. Harani, Nisa Hanum, Anggi Sholihatus Sadiyah, and Anny Nurbasari. 2019. "Smart Fish Feeder Using Arduino Uno With Fuzzy Logic Controller." *5th International Conference on Computing Engineering and Design (ICCED)*. Singapore, Singapore: IEEE.
- [9]. Kodali, Ravi Kishoree, and SreeRamya Soratkal. 2016. "MQTT based home automation system using ESP8266." *IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*. Agra, India: IEEE.
- [10]. Lekic, Millica, and Gordana Gardasevic. 2018. "IOT sensor integration to Node-RED platform." *17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*. East Sarajevo, Bosnia-Herzegovina.
- [11]. Mohammad, Nurul Nadia, Ahmad Aftas Azman, Mohd Hezri Marzaki, Ramli Adnan, Mazidah Tajjudin, Mohd Hezri Fazalul Rahiman, and Saiful Nizam Tajuddin. 2018. "Performance Comparison and Energy Consumption Index Between MPC and FuzzyPID in Small-scaled Agarwood Distillation Pot." *9th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)*. Shah Alam, Malaysia: IEEE.
- [12]. Prayogo, Sandy Suryo, Yulisdin Mukhlis, and Bayu Kumoro Yakti. 2019. "The Use and Performance of MQTT and CoAP as Internet of Things Application Protocol using NodeMCU ESP8266." *Fourth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*. Semarang, Indonesia: IEEE.
- [13]. Raju, and Varma. 2017. "Knowledge Based Real Time Monitoring System for Aquaculture using IoT." *IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC)*. Hyderabad, India: IEEE. 318-321.
- [14]. Salim, Taufik Ibnu, Triya Haiyunnisa, and Hilman Syaeful Alam. 2016. "Design and implementation of water quality monitoring for eel fish aquaculture." *International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*. Bandung, Indonesia: IEEE.

- [15]. Shin, Kyoo Jae, and Amarnath Varma Angani. 2017. "Development of water control system with electrical valve for smart aquarium." *International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*. Sapporo, Japan: IEEE.
- [16]. Y-B, Lin, and H-C Tseng. 2019. "FishTalk: An Iot-Based Mini Aquarium System." *FishTalk (IEEE / IAPR International Conference on Informatics, Electronics & Vision)*.