

Sistem Kendali Terdistribusi pada Ketinggian dan Aliran Air Kolam Ikan Air Tawar Berbasis Metode Fuzzy Logic

Akbar Chaniago¹, Endang Sukarna², Didin Saefudin³

^{1, 2, 3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail: akbar.chaniago.tele420@polban.ac.id

ABSTRAK

Industri budidaya ikan di Indonesia berjumlah 583 perusahaan dengan 50,6% berfokus pada ikan air tawar. Banyaknya penggunaan tenaga manusia membuat budidaya kurang efektif. Pengendalian ketinggian dan aliran air dalam kolam ikan sangat penting untuk memastikan lingkungan yang sehat dan optimal bagi pertumbuhan ikan. Sistem kendali terdistribusi diterapkan untuk meningkatkan efisiensi terutama ketika menghadapi jumlah kolam yang banyak dan jarak yang jauh. Sistem ini menggunakan HMI sebagai perangkat lunak utama pengontrolan, dan metode logika fuzzy untuk mengatur aliran dan ketinggian air. Dalam proyek ini, terdapat dua LCU, yaitu: LCU 1 mengendalikan ketinggian air menggunakan metode PID, dan LCU 2 mengendalikan aliran air menggunakan metode PID, keduanya diatur oleh master control. Hasil pengujian menunjukkan LCU 1 dengan *overshoot* 0%, *rise time* 14,65 detik, *settling time* 14,67 detik, dan *error steady state* 0. Sementara LCU 2 menghasilkan *overshoot* 0%, *rise time* 138 detik, *settling time* 141 detik, dan *error steady state* 0. Respon dari LCU 1 digunakan sebagai respon utama, diproses oleh MCU dan ditampilkan pada HMI.

Kata Kunci

Sistem Kendali Terdistribusi, Logika Fuzzy, Unit Pengendalian Lokal, Ketinggian Air, Aliran air

ABSTRACT

There are 583 companies operating in the aquaculture industry of these, 50.6% are engaged in the freshwater aquaculture industry. The large use of human labor makes cultivation less effective. Controlling the height and flow of water in a fish pond is very important to ensure a healthy and optimal environment for fish growth. Distributed control systems are implemented to increase efficiency, especially when dealing with a large number of pools and long distances. This system uses HMI as the main control software, and a fuzzy logic method to regulate water flow and level. In this project, there are two LCUs, namely: LCU 1 controls the water level using the PID method, and LCU 2 controls the water flow using the I-PD method, both of which are regulated by the master control. Test results show LCU 1 with overshoot 0%, rise time 14.65 seconds, settling time 14.67 seconds, and steady state error 0. Meanwhile LCU 2 produces overshoot 0%, rise time 138 seconds, settling time 141 seconds, and error steady state 0. The response from LCU 1 is used as the main response, processed by the MCU and displayed on the HMI.

Keywords

Distributed Control System, Fuzzy logic, PID, Local Control Unit, water level, water flow

1. PENDAHULUAN

Menurut laporan Badan pusat statistik (BPS), pada tahun 2022 industri budidaya ikan memiliki 583 perusahaan yang bergerak pada bidang ini (1). Dari jumlah tersebut 50,6% bergerak pada bidang ikan air tawar yaitu 295 perusahaan. Hal ini menunjukkan setengah dari perusahaan budidaya ikan yang ada di Indonesia bergerak pada bidang budidaya ikan air tawar. Oleh karena itu, usaha

budidaya ikan memiliki tantangan tersendiri dalam penggunaan dan memajukan teknologi dalam budidaya.

Masalah umum, terjadi dalam penerapan teknologi di Indonesia salah satunya adalah masih belum diterapkannya teknologi dalam inovasi budidaya ikan. Sementara usaha budidaya ikan masih banyak menggunakan tenaga manusia atau kurang menggunakan teknologi inovasi sehingga kurang efektif (2). Hal ini tidak saja terjadi di Indonesia bahkan di luar negeri juga mengalami

hal serupa. Sulitnya mengendalikan ketinggian serta aliran air secara efektif menjadi permasalahan yang sering terjadi dalam budidaya ikan. Kendala semakin meningkat ketika harus mengelola jumlah kolam yang banyak dan tersebar di jarak yang cukup jauh. Belum diterapkannya teknologi yang mampu memberikan pengawasan dan kontrol yang optimal menyebabkan timbulnya masalah dalam budidaya ikan.

Penelitian yang dilakukan Wei et al. (2020) mengatakan bahwa budidaya ikan yang sudah menggunakan teknologi otomasi sangat meningkatkan efisiensi dan memiliki keunggulan tinggi (3). Oleh karena itu penelitian ini menawarkan sistem kendali terdistribusi yang dapat diterapkan pada berbagai jenis dan penerapan budidaya ikan karena memiliki sistem yang adaptif dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan (4). Tujuan diterapkannya sistem kendali terdistribusi ini, agar dapat mengatasi masalah dalam kendali ketinggian dan aliran air terdistribusi. Selain itu manfaat dengan adanya sistem ini, pengelolaan ketinggian dan aliran air dapat mudah dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh juga dapat diterapkan pada jumlah kolam yang cukup banyak.

Pengendalian ketinggian dan aliran menggunakan metode logika Fuzzy menyebabkan adanya perubahan pada sistem yang disesuaikan dengan kondisi *plant*. Metode logika Fuzzy bermanfaat sebagai alat respon yang responsif namun tetap stabil terhadap perubahan *set-point* secara mendadak atau peristiwa "*set-point kick*" (5). Adanya peristiwa *set-point kick* dapat menyebabkan respon aktuator yang tidak stabil terhadap nilai *set-point*, sehingga diperlukan mekanisme pengendalian yang mampu menyesuaikan dengan perubahan tersebut tanpa menyebabkan ketidakstabilan sistem.

2. DASAR TEORI

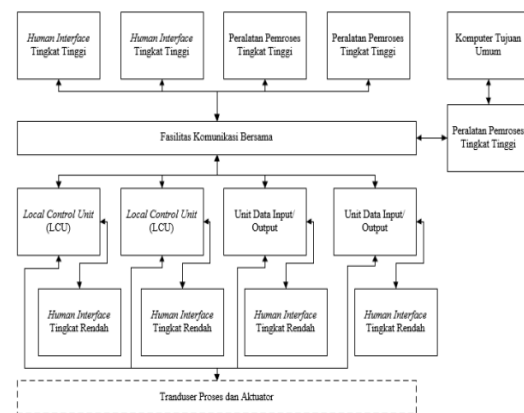
Berikut ini beberapa dasar teori yang digunakan untuk menjelaskan sistem pengendalian ketinggian dan aliran air berbasis logika Fuzzy.

2.1 Distributed Control System (DCS)

Sistem Kendali Terdistribusi, atau yang lebih dikenal sebagai *Distributed Control System* (DCS), merupakan suatu sistem kendali yang terintegrasi secara terdistribusi. Dalam struktur DCS, terdapat pusat pengendalian yang memiliki fungsi untuk mengatur *set point* dan mengkoordinasikan kerja dari beberapa subsistem

kendali yang saling terhubung. Setiap mesin atau proses dalam sistem ini dilengkapi dengan sistem kendali yang berdiri sendiri, membentuk suatu jaringan terintegrasi (4).

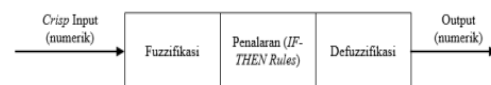
Pentingnya DCS terletak pada kemampuannya untuk mengelola dan mengkoordinasikan berbagai subsistem kendali yang terhubung, sehingga memungkinkan sistem ini untuk melakukan pengendalian secara efisien. Dalam konteks ini, setiap kendali yang digunakan dalam DCS tidak hanya beroperasi sendiri, melainkan juga melakukan komunikasi dengan kendali lainnya. Komunikasi antar kendali ini menjadi kunci untuk menyelesaikan pengendalian secara keseluruhan (6). Ilustrasi cara kerja dari DCS ini terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem DCS (7)

2.2 Logika Fuzzy

Fuzzy logic adalah suatu paradigma dalam ilmu komputer dan kecerdasan buatan yang memodelkan ketidakpastian dan kompleksitas dalam suatu sistem (8). Sistem *fuzzy logic* memungkinkan pemrosesan informasi dengan cara yang lebih mirip dengan cara manusia berpikir, mampu mengatasi ketidakpastian dan keambiguan dalam pengambilan keputusan (9). Logika *fuzzy* secara umum memiliki proses perancangan yang digambarkan dalam bentuk diagram blok seperti Gambar 2.



Gambar 2: Diagram Blok Logika Fuzzy (10)

Dalam penerapannya logika *fuzzy* memiliki beberapa proses (11) yaitu: Pertama, konsep keanggotaan *Fuzzy*, yaitu suatu elemen dapat menjadi sebagian anggota dari suatu himpunan dengan derajat keanggotaan yang berada di antara

0 dan 1. Konsep ini merepresentasikan sejauh mana elemen tersebut termasuk dalam suatu himpunan, tidak hanya 0 atau 1 seperti dalam logika klasik. Kedua, aturan Fuzzy, yaitu aturan yang berbasis "jika... maka..." yang memungkinkan penalaran berdasarkan informasi yang tidak pasti, di mana aturan fuzzy digunakan untuk menggambarkan hubungan antara variabel-variabel input dan output dengan mengandalkan pengetahuan manusia. Ketiga, defuzzifikasi yaitu langkah yang berlawanan dengan fuzzifikasi, dimana proses ini mengubah himpunan fuzzy menjadi himpunan yang konkret atau tegas. Proses defuzzifikasi menerima himpunan fuzzy yang dihasilkan dari penggabungan aturan-aturan fuzzy sebagai input. Hasil akhir dari proses ini adalah output dari sistem kendali logika fuzzy.

2.3 Local Control Unit (LCU)

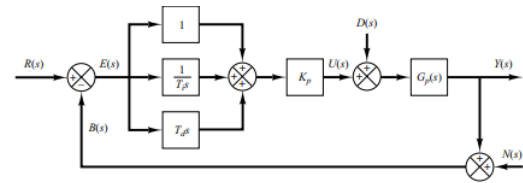
Local Control Unit (LCU) merupakan bagian dari sistem kendali DCS yang tidak hanya berperan sebagai unit kendali lokal tetapi juga dapat berfungsi sebagai unit kendali jarak jauh. LCU ini terkoneksi dengan *transmitter* atau *transducer* yang terletak di lapangan untuk mengontrol sensor-sensor, dan selanjutnya terhubung ke *Remote Terminal Unit* (RTU) (6).

2.4 Remote Terminal Unit (RTU)

Remote Terminal Unit (RTU) merupakan salah satu bagian yang krusial dalam sistem kendali jarak jauh (12). RTU ditempatkan secara strategis dekat dengan objek yang dikendalikan dan jauh dari stasiun utama atau *master station* (13). Peran utama RTU adalah mengambil informasi dari sensor dan peralatan lapangan, kemudian mengubah data yang diperoleh ke dalam format yang sesuai untuk ditransmisikan ke stasiun master melalui jaringan komunikasi tertentu. Selain itu, RTU juga mampu menerima dan menjalankan perintah, memungkinkannya untuk mengubah status peralatan berdasarkan data perintah yang dikirimkan dari stasiun master (14).

2.5 Kendali Proportional Integral Derivatif (PID)

Kendali PID adalah salah satu metode yang paling umum digunakan untuk mengimplementasikan tindakan pengendalian di industri karena sifatnya yang sederhana (15). Diagram blok kendali PID dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram PID (16)

Pada blok diagram PID terdapat $R(s)$ yaitu input referensi, $E(s)$ error, $B(s)$ *observed signal*, $U(s)$ *manipulated signal*, $D(s)$ *disturbance*, $N(s)$ *noise input*, $Y(s)$ *output*, T_i waktu integral, T_d waktu differensial, K_p *gain proportional*, dan $G_p(s)$ *transfer function plant*. PID terdiri dari tiga unsur yaitu *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative*. Dengan melakukan tuning ketiga parameter tersebut dapat diperoleh hasil yang diinginkan. Persamaan kendali PID dapat ditulis seperti pada persamaan 1 (17).

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (1)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam pengumpulan data, sebagai berikut (18):

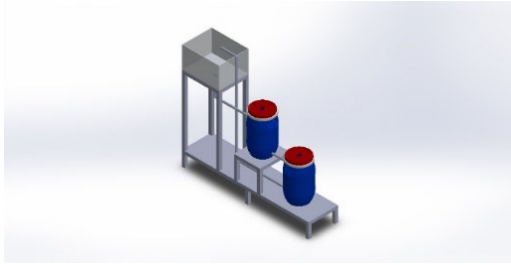
1. Studi literatur
Melakukan peninjauan pustaka dari jurnal, buku dan artikel ilmiah terkait. Studi literatur ini bertujuan untuk memahami konsep dan teknologi terkini terkait sistem kendali terdistribusi dan pengendalian ketinggian serta aliran air.
2. Survei atau observasi
Mengamati langsung di lapangan untuk merancang arsitektur sistem kendali terdistribusi yang akan digunakan dengan membuat diagram blok, flowchart, dan spesifikasi teknis alat.
3. Wawancara
Melakukan wawancara dengan para pelaku usaha budidaya ikan air tawar dengan mengidentifikasi kebutuhan sistem dan alat yang akan dikembangkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Mekanik

Desain mekanik berikut terdiri dari satu buah kolam yang disimulasikan menggunakan kolam kaca dengan ukuran yang kecil, dan 2 buah drum air yang berfungsi untuk menampung dan menyaring air. Pipa yang tersambung berfungsi sebagai tempat untuk mengalirnya air dan menaruh sensor *flow* dan *servo valve*. Hasil dari

perancangan desain mekanik ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain Mekanik

4.2 Realisasi Mekanik

Realisasi dan pengujian aspek mekanik dilakukan sesuai dengan perancangan mekanik yang telah dibuat pada tahap sebelumnya, ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Realisasi Aspek Mekanik

Gambar 5 menunjukkan realisasi aspek mekanik melalui simulasi kolam ikan dan pembuatan tangki air, serta rangka dan sistem perpipaan yang sudah siap untuk digunakan.

4.2 Pengujian Mekanik

Pengujian sistem mekanik dilakukan dengan menambahkan air pada setiap tangki air sampai batas atas tangki (penuh). Tahap selanjutnya adalah mengatur bukaan servo valve menjadi bukaan penuh, sehingga nantinya dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat kebocoran baik pada tangki kesatu dan kedua, serta pada masing-masing pipa.



Gambar 6. Pengujian Mekanik Keseluruhan

Pada pengujian mekanik dilakukan pengisian air di setiap tangki dan dilakukan pengujian, apakah air dapat bersirkulasi kembali dari simulasi kolam ikan menuju setiap tangki dan dapat ditarik kembali menggunakan pompa ke simulasi kolam ikan. Pada pengujian mekanik membuktikan bahwa perancangan mekanik telah berhasil direalisasikan, dan tujuan dari pembuatan mekanik dengan model sirkulasi air kembali adalah untuk mengefisienkan penggunaan air agar pengendalian ketinggian dan aliran air dapat berjalan secara efisien apabila diterapkan pada budidaya ikan air tawar.

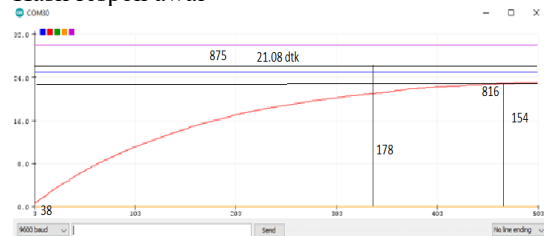
4.3 Realisasi, Pengujian, dan Analisa sistem

Realisasi sistem dilakukan dengan melihat respon kendali dari kedua LCU pada HMI maupun serial plotter dan respon global untuk kedua LCU pada MCU, sebelum dilakukan realisasi dilakukan pengujian terlebih dahulu dari LCU 1 dan LCU 2.

4.4 Realisasi dan Analisa Kendali PID pada LCU 1

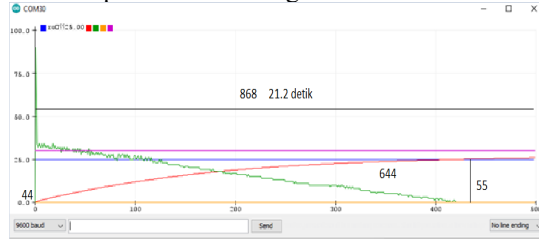
Berdasarkan hasil desain kendali yang telah didapatkan pada proses sebelumnya, maka realisasi kendali dapat dilakukan dengan memasukan parameter PID untuk selanjutnya dilakukan analisa parameter transien.

Hasil respon awal



Gambar 7. Hasil respon awal LCU 1 pada serial plotter

Hasil respon setelah tuning



Gambar 8. Hasil respon LCU 1 setelah tuning pada serial plotter

Setelah dilakukan realisasi pada pengujian awal PID dan menganalisa responnya, maka dapat dilakukan analisis pada respon kendali dan membandingkan hasil awal realisasi dengan hasil tuning parameter.

4.5 Analisis Kendali PID LCU 1

Berdasarkan realisasi dan pengujian kendali PID LCU 1, maka dapat dilakukan analisis perhitungan parameter transien pada setiap respon. Hasil dari tuning parameter kendali bertujuan untuk memperbaiki sinyal respon yang dihasilkan dan disesuaikan dengan spesifikasi pada sistem yang di inginkan. Analisa kendali PID pada LCU 1 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Analisa Parameter Transien pada LCU 1

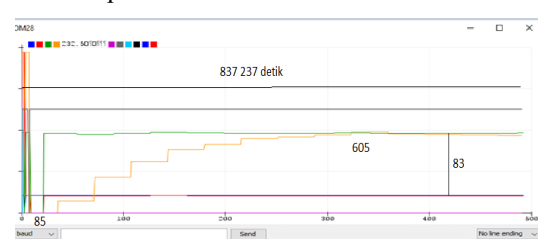
No	Tuning	K_p, T_i, T_d	% Over shoot	Rise Time (s)	Settling Time (s)	Ess (cm)
1	Awal	$K_p = 15$ $T_i = 41,41$ $T_d = 10$	0	18,74	18.3 5	1.13
2	Akhir	$K_p = 2$ $T_i = 5$ $T_d = 1$	0	14.65	14.6 7	0

Hasil dari tuning parameter kendali bertujuan untuk memperbaiki sinyal respon yang dihasilkan dan disesuaikan dengan spesifikasi pada sistem yang diinginkan.

4.6 Realisasi dan Analisa Kendali PID pada LCU 2

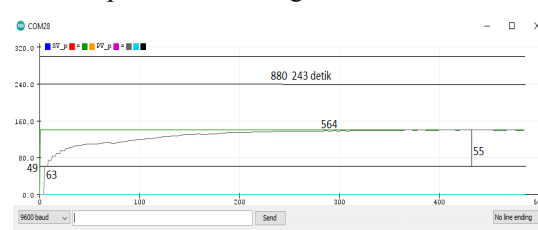
Berdasarkan hasil desain kendali yang telah didapatkan pada proses sebelumnya, maka realisasi kendali dapat dilakukan dengan memasukkan parameter PID, selanjutnya dilakukan analisa parameter transien.

Hasil respon awal



Gambar 9. Hasil respon LCU 2 sebelum tuning pada serial plotter

Hasil respon setelah tuning



Gambar 10. Hasil respon LCU2 setelah tuning pada serial plotter

Setelah dilakukan realisasi pada pengujian awal PID dan menganalisa responnya, maka dapat dilakukan analisis pada respon kendali dan membandingkan hasil awal realisasi dengan hasil tuning parameter.

4.6.1 Analisis Kendali PID LCU 2

Berdasarkan realisasi dan pengujian kendali PID LCU 1, maka dapat dilakukan analisis perhitungan parameter transien pada setiap respon, ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Analisa Parameter Transien LCU 2

No	Tuning	K_p, T_i, T_d	% Over shoot	Rise Time (s)	Settling Time (s)	Ess (cm)
1	Awal	$K_p = 1$ $T_i = 2.08$ $T_d = 0.54$	0	147	150	0
2	Akhir	$K_p = 1$ $T_i = 6.2$ $T_d = 1$	0	138	141	0

4.7 Realisasi dan Analisa Fuzzy pada MCU

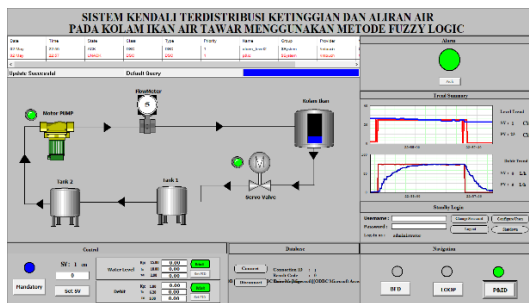
Realisasi dan analisa dari sistem kendali menggunakan metode fuzzy akan dilakukan dengan membandingkan hasil dari serial monitor dan pada MATLAB dengan membandingkan masing masing dari hasil yang dikeluarkan, seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Percobaan respon Fuzzy pada MCU

Percobaan	SV Global	Error Global	Output Arduino	Output MATLAB
1	12	3	195	196
2	8	2	145	146
3	5	7	174	175
4	3	1	136	137
5	25	20	273	274
6	10	-10	102	103
7	15	-2	180	180
8	18	-6	174	175
9	4	-12	75	76,4
10	2	-18	75	76,4

4.8 Realisasi Distributed Control System (DCS) pada Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem keseluruhan pada HMI dilakukan pada MCU yang merupakan pusat kendali dihubungkan dengan OPC server dan di sambungkan dengan HMI agar seluruh kerja sistem dapat dilihat pada satu layer yaitu HMI. Pada MCU sudah diintegrasikan dengan sistem kendali fuzzy yang berfungsi untuk mengatur SV untuk setiap LCU. Hasil output dari sistem atau SV Global akan berupa level air, seperti terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil realisasi keseluruhan sistem pada HMI PID

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, realisasi, dan Analisa pada sistem yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Penggunaan metode PID pada LCU 1 agar sistem water level dapat mencapai nilai yang presisi sesuai dengan yang dibutuhkan, ditunjukkan oleh data pengujian analisis Overshoot sebesar 0%, Rise time sebesar 14,65 detik, settling time sebesar 14,67 detik, dan error steady state bernilai 0.
2. Penggunaan metode I-PD pada LCU 2 bertujuan untuk menghindari setpoint kick dan akan menghasilkan respon yang tidak terlalu reaktif. Hal ini dikarenakan SV pada LCU 2 diberikan oleh logika fuzzy memiliki perubahan atau osilasi yang cukup signifikan karena disesuaikan dengan keadaan pada

respon global.

3. Hasil dari realisasi master control pada HMI menggunakan protocol komunikasi RS-485 menunjukkan semua data yang dihasilkan pada setiap LCU dapat ditampilkan pada satu perangkat lunak, dan menunjukkan bahwa pengendalian secara terdistribusi dapat bekerja.

REFERENSI

1. Badan Pusat Statistik, *Statistik Perusahaan Budidaya Ikan 2022*, vol. 1. Jakarta: ©Badan Pusat Statistik/BPS-Statistics Indonesia, 2023.
2. L. A. Yuliana, "Pendeteksian Jarak, Suhu dan Penggunaan Masker Dengan Metode Machine Learning," Bandung, Aug. 2021.
3. Wei, Yaoguang; Wei, Qiong; An, Dong. (2020). *Intelligent monitoring and control technologies of open sea cage culture: A review. Computers and Electronics in Agriculture.* (2020), 169(), 105119–. doi:10.1016/j.compag.2019.105119
4. F. Ruyadi, "Pengendali Level Ketinggian Air Berbasis Industrial Field Control Node RTU Dengan Sistem Kendali Terdistribusi," Bandung, June. 2018.
5. Infineon Technologies AG, "BTS7960," Dec. 2004.
6. M. Ali, A. Asmara, and S. Yatmono, *Sistem Kontrol Proses Industri Dengan DCS*, 1st ed. Yogyakarta: UNY Press, 2020.
7. R. Y. Fadhila, "Sistem Kendali Level Air Berbasis Industrial Robustness-RTU Dengan Sistem Kendali Terdistribusi Menggunakan Logika Fuzzy.," Bandung, Aug. 2019.
8. T. J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, 2nd ed. England: John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
9. D. Muslimin, "Sistem Pengaman Kursi Roda Elektrik dari Benturan Melalui Evaluasi Sensor Jarak", Surabaya, 2017.
10. Y. Liang and B. Yuan, "Method for generating fuzzy Petri nets fault diagnosis model based on rough set theory," in *2010 2nd International Conference on Future Computer and Communication*, 2010, pp. V1-411-V1-414. doi: 10.1109/ICFCC.2010.5497759.
11. G. P. N. Hakim, D. Septiyana, A. Firdausi, F. R. I. Mariati, and S. Budiyo, *Sistem Fuzzy: Panduan Lengkap Aplikatif*, 1st ed., vol. 1. Yogyakarta: ANDI, 2021.

12. H. A. Dharmawan, *Mikrokontroler: Konsep Dasar dan Praktis*. Malang: UB Press, 2017.
13. U. Z. Abidin, “Pengendalian Suhu Pencampuran Air Berbasis Industrial Robustness-RTU Menggunakan Sistem Kendali Terdistribusi Berbasis Logika Fuzzy,” Bandung, A. 2019.
14. S. A. Simanullang, “Sistem PID Pengendali Level Ketinggian Air Berbasis Modbus TCP LCU dan Industrial Field Control Node RTU,” Bandung, Jun. 2017.
15. D. N. Pramudia, “Sistem Kendali Terdistribusi Pada Plant Temperatur Ruang Dengan Kendali I-PD dan Logika Fuzzy,” Bandung, Sep. 2020.
16. I. Setiawan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*. Jakarta: Elex Media Komputindo, 2013.
17. N. I. Oktaviani, “Sistem Kendali Level Tangki Bertingkat Dengan Mikrokontroler Menggunakan Metode PID,” Bandung, Jun. 2023.
18. Harmon Chaniago, Hari Muharam, Yen Efawati. *Metode Penelitian Bisnis dan Permodelan*. Bandung. Edukasi Riset Digital, PT., 2023.