



Prototipe Kontrol Otomatis Dinamo Water Pump PDAM Toraja Utara berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Schneider

Febrian Wiaviar Barru¹, Lantana Dioren Rumpa², Ishak Pawarangan^{3*}

^{1,2,3} Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Kampus Kakondongan, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received April 20, 2026

Revised Mei 25, 2026

Accepted Juni 19, 2026

Available online Juli 21, 2026

Kata Kunci:

Kontrol, Water Pump, Programmable Logic Controller, Research and Development, Schneider Zelio 3b261fu.

Keywords:

Control, Water Pump, Programmable Logic Controller, Research And Development, Schneider Zelio 3b261fu

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.

Copyright © 2022 by Author. Published by Universitas PGRI ADI BUANA SURABAYA.

ABSTRAK

Sistem kontrol dinamo water pump pada PDAM Toraja Utara masih menggunakan sistem konvensional atau dikontrol secara manual sehingga kurang efektif dan tidak efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu sistem kontrol otomatis berbasis *programmable logic controller* (PLC). Metode *Research and Development* digunakan sebagai metode untuk menghasilkan atau mengembangkan prototipe kontrol ini. Perancangan prototipe dimulai dari pembuatan papan rangkaian panel kontrol, rangkaian pengawatan kontrol, rangkaian instalasi dan diagram *ladder*. Prototipe kontrol otomatis dinamo *water pump* berbasis *programmable logic controller* (PLC) Schneider tipe zelio 3B261FU telah dapat bekerja dengan baik sesuai input program kontrol yang dirancang sehingga dapat bekerja secara otomatis yang dapat mempermudah dan meringankan pekerjaan dan memberikan efisiensi pada kontrol dinamo *water pump*.

ABSTRACT

The dynamo of PDAM water pump at North Toraja uses a manually controlled system that it is less effective and inefficient. This study aims to design an automatic control water pump system based on a programmable logic controller (PLC). The Research and Development method is used to produce or develop the prototype. The design of prototype begins with the manufacture of control panel circuit boards, control wiring circuits, installation circuits and ladder diagrams. The prototype automatic control of the dynamo water pump based on the Schneider zelio 3B261FU programmable logic controller (PLC) has been able to work according to the input of the control program that is designed. The prototype showed that water pump based on PLC can simplify and lighten the work as well as provide efficiency in the control of the dynamo

I. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya vital yang memegang peran sentral dalam keberlangsungan hidup manusia, pembangunan ekonomi, dan keseimbangan ekosistem [1], [2], [3], [4]. Seiring pertumbuhan populasi dan perkembangan industri, permintaan terhadap pasokan air bersih yang andal dan berkelanjutan semakin meningkat. Di Indonesia, khususnya di daerah pegunungan seperti Toraja Utara, tantangan dalam penyediaan air bersih semakin kompleks akibat kondisi geografis yang berbukit-bukit, infrastruktur yang terbatas, serta dinamika perubahan iklim yang memengaruhi ketersediaan sumber air [5], [6], [7], [8].

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Toraja Utara melayani sebanyak 13.279 konsumen per juli 2021 yang terdiri dari kelompok rumah tangga, instansi pemerintah, dan pelaku usaha. Proses pengolahan air sampai ke konsumen berlangsung 24 jam, dengan rata-rata air yang diproduksi per 24 jamnya sebesar 5.780,6 m³. Data tersebut menunjukkan bahwa diperlukannya proses penyaluran air bersih ke konsumen yang lebih andal dan efisien. Pengontrolan dinamo *water pump* PDAM di Toraja

*Corresponding author.

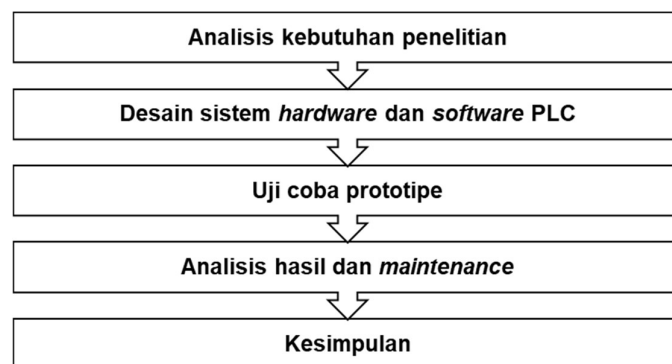
Utara masih menggunakan sistem pengontrolan manual, hal ini menyebabkan sering terjadi kelebihan kapasitas kolam penampungan air apabila operator lambat mematikan pompa input. Selain itu, pompa distribusi yang tidak dipantau secara terus menerus beresiko pada kolam penampungan kehabisan air yang berpotensi mengakibatkan performansi pompa menurun akibat durasi waktu beroperasi *dynamo water pump* yang tidak merata serta pemborosan energi listrik. Oleh karena itu, kontrol pompa yang masih mengandalkan sistem manual menjadi rentan terhadap *human error*, ketidakstabilan tekanan air, dan pemborosan energi. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan solusi teknologi yang mampu mengintegrasikan kontrol otomatis berbasis kecerdasan buatan guna memastikan operasi pompa yang presisi, hemat energi, dan mampu beradaptasi dengan dinamika kebutuhan air.

Programmable Logic Controller (PLC) telah menjadi komponen utama dalam otomatisasi industri karena ketangguhan dan fleksibilitasnya dalam menjalankan tugas kontrol kompleks, seperti penilaian logika, pengaturan waktu, dan operasi numerik. Kemampuan ini menjadikan PLC ideal untuk mengoptimalkan manajemen operasi pompa air secara efisien [9], [10]. Integrasi PLC dengan teknologi pendukung seperti *Variable Speed Drives* (VSDs) dan sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) semakin memperluas fungsionalitasnya dalam mempertahankan kinerja optimal dan efisiensi energi [11]. Pentingnya otomatisasi pada sistem pompa air tercermin dari kemampuannya mengatasi keterbatasan sistem manual. Pertama, sistem otomatis mampu memantau dan menyesuaikan level air secara *real-time*, menjamin pasokan konsisten sekaligus mengurangi pemborosan [11]. Kedua, pengaturan kecepatan pompa berbasis PLC memastikan operasi hanya berjalan saat diperlukan, sehingga menekan konsumsi energi secara signifikan [9], [11]. Ketiga, minimnya kesalahan manusia akibat otomatisasi serta kemampuan pemantauan *real-time* meningkatkan keandalan sistem dalam menjaga stabilitas distribusi air [12], [13].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem kontrol otomatis dinamo pompa air PDAM Toraja Utara, prototipe yang diusulkan memanfaatkan PLC Schneider untuk mengotomatisasi kontrol pompa air. Sistem ini dirancang untuk memantau level air melalui sensor secara *real-time* dan menyesuaikan operasi pompa sesuai kebutuhan, mengontrol aktivitas pompa dengan menghidupkan atau memmatikannya berdasarkan setpoint yang telah ditetapkan, guna memastikan distribusi air yang optimal serta mengintegrasikan SCADA sebagai antarmuka pemantauan komprehensif yang memudahkan operator dalam pengawasan. Implementasi sistem kontrol otomatis berbasis PLC Schneider di PDAM Toraja Utara tidak hanya merepresentasikan modernisasi infrastruktur distribusi air, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional, keandalan sistem, dan penghematan energi. Langkah ini sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan dalam pengelolaan utilitas publik, sekaligus membuka peluang untuk replikasi di wilayah lain dengan tantangan serupa (5,6,8).

II. METODE PENELITIAN

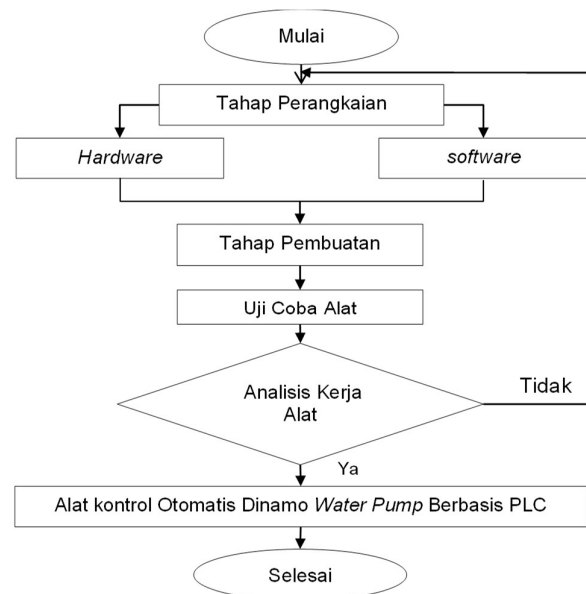
Penelitian rancang bangun alat kontrol ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektro UKI Toraja, Kabupaten Toraja Utara. Alat yang akan digunakan pada penelitian ini berupa tang, obeng, tespen, multimeter, dan aplikasi zelio soft 2. Penelitian ini merupakan penelitian *research and development* (RnD). Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

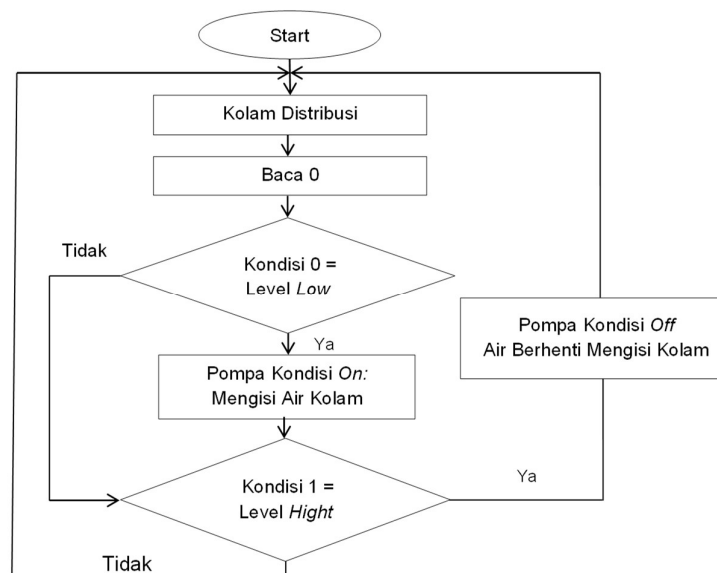
1. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian rancang bangun pengontrolan ini terbagi menjadi lima tahapan. Lima tahapan tersebut adalah persiapan [14], perangkaian [15], pembuatan alat [16], uji coba alat [17], dan analisis kerja alat [17], [18]. Pada tahap analisis kerja alat, jika alat belum bekerja sesuai kontrol yang dirancang maka akan kembali pada tahap perangkaian sampai mendapatkan kerja alat yang sesuai dengan pengontrolan yang diinginkan. Diagram alir prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



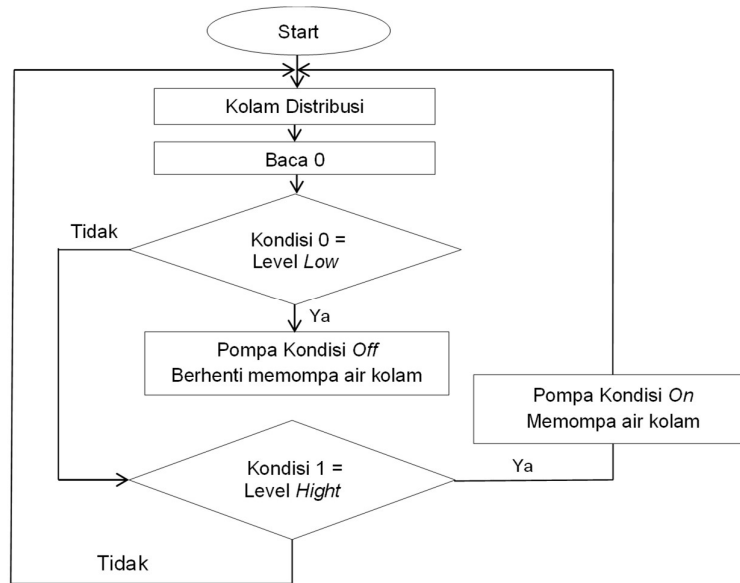
Gambar 2. Diagram Alir Prosedur Penelitian

Pada tahap persiapan ini semua alat dan bahan disiapkan dan semua komponen yang dibutuhkan dalam proses rancang bangun kontrol ini harus ada agar rangkain yang dirakit dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan dan dapat berjalan maksimal. Gambar diagram proses kerja pompa *input* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir prinsip kerja pompa *input*

Pada diagram alir diatas menjelaskan proses kerja dari pompa input dimulai dengan *start* kemudian sensor akan mendeteksi level ketinggian air di kolam distribusi, apabila dalam kondisi level *low* maka pompa akan mengisi kolam, apabila dalam kondisi level *high* maka pompa akan berhenti mengisi kolam. Selanjutnya, diagram alir pompa distribusi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir kerja pompa distribusi

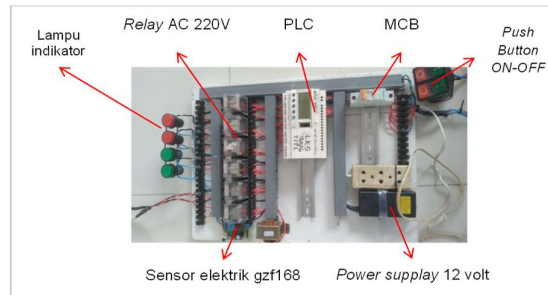
Diagram alir pada Gambar 4 menjelaskan proses kerja dari pompa distribusi dimulai dengan *start* kemudian sensor akan mendeteksi level ketinggian air di kolam distribusi, apabila dalam kondisi level *low* maka pompa akan berhenti memompa air kolam, apabila dalam kondisi level *high* maka pompa akan memompa air kolam ke konsumen.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan *prototype* pengontrolan otomatis *motor water pump* PDAM Toraja Utara berbasis *programmable logic controller* (PLC) tipe zelio 3B261FU akan dijabarkan pada bagian bagian berikut. Gambar *prototype* alat kontrol otomatis *water pump* PDAM Toraja Utara berbasis *programmable logic controller* yang berhasil dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Skematik prototipe alat kontrol otomatis dinamo *water pump* PDAM



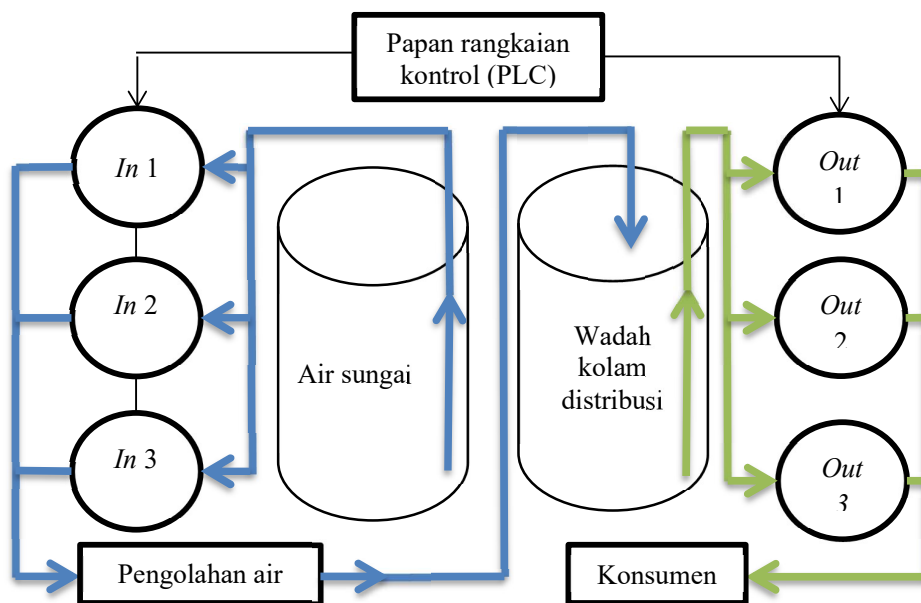
Gambar 6. Skematik papan rangkaian kontrol

1. Prinsip kerja alat

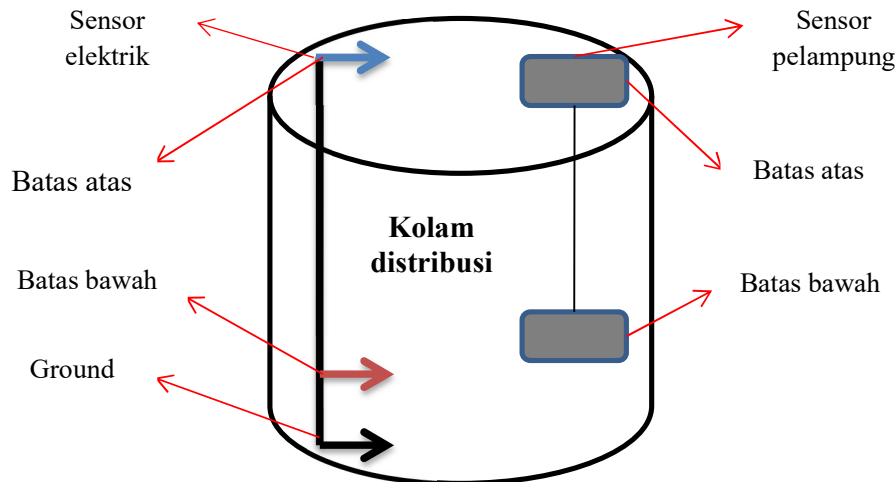
PDAM Toraja Utara merupakan BUMN yang bergerak disektor pemenuhan kebutuhan air masyarakat yang ada di Toraja Utara. Proses pengolahan dan pendistribusian air ke konsumen menggunakan dinamo pompa listrik, namun pengontrolan dinamo listrik ini masih manual, maka pengontrolan yang akan dikontrol oleh prototipe secara otomatis ini adalah dinamo pompa input air dan dinamo pompa distribusi air dari PDAM ke konsumen.

Terdapat tiga dinamo pompa input yang beroperasi secara bergantian, begitupun juga dengan dinamo pompa distribusi terdapat tiga dinamo pompa yang beroperasi secara bergantian. Proses pengontrolan yang akan dilakukan oleh prototipe ini adalah mengontrol jalannya dinamo pompa *input* dan dinamo pompa distribusi secara otomatis bergantian, namun tidak sampai disitu saja, dengan menggunakan sensor elektrik gzf168 (*water level controller*) dan sensor mekanik atau radar pada wadah penampungan air maka apabila air dalam penampungan telah mencapai kapasitas maksimum sesuai yang diatur, maka pompa *input* akan mati, dan apabila air telah mencapai batas minimum sesuai yang telah di atur dalam penampungan maka pompa *input* akan kembali beroperasi untuk memompa air kedalam penampungan.

Pada pompa distribusi akan dikontrol oleh sensor mekanis (sensor pelampung), pada saat air dalam keadaan terisi atau penuh maka pompa distribusi akan beroperasi untuk memompa air dari dalam penampungan ke konsumen, dan pada saat air dalam keadaan berada dibawah batas minimum sesuai yang telah diatur maka pompa distribusi akan berhenti beroperasi. Dengan kontrol ini maka semua proses beroperasinya dinamo pompa *input* dan distribusi akan berjalan otomatis sesuai pemograman yang di *input* kedalam PLC. Gambar skematik proses kerja dinamo *water pump* PDAM dapat dilihat pada Gambar 7.

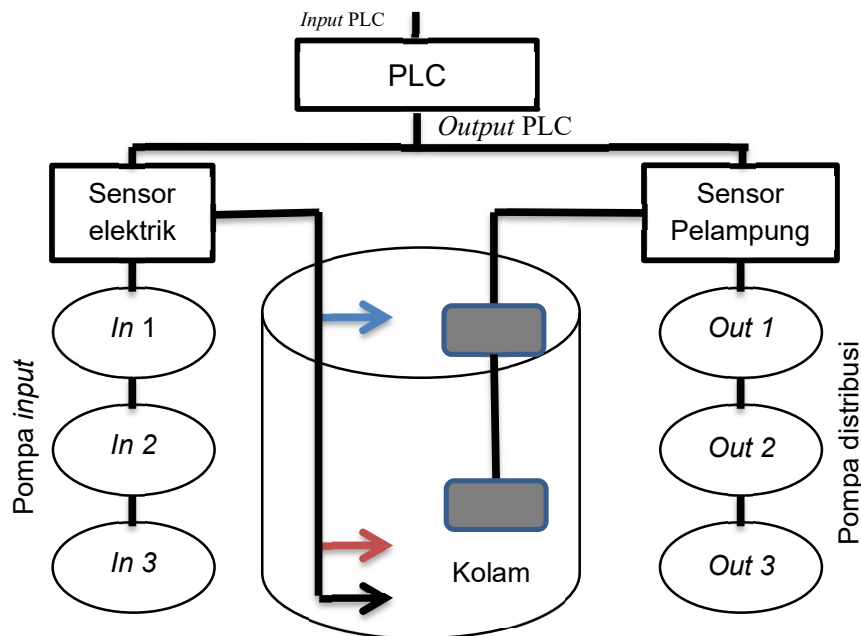
Gambar 7. Skematik proses kerja dinamo *water pump* PDAM

Gambar skematik proses kerja dinamo *water pump* pada Gambar 7 menjelaskan bahwa papan rangkaian kontrol akan mengontrol dinamo *water pump input* (IN 1,2,3) dan dinamo *water pump* distribusi (OUT 1,2,3). Air dipompa dari wadah *input* atau sungai menggunakan 3 pompa *input* yang beroperasi 3 jam secara berurutan bergantian yang akan di alirkan ke pengolahan air yang selanjutnya diteruskan ke wadah kolam distribusi. Pompa distribusi (OUT) juga beroperasi 3 jam secara berurutan yang berfungsi untuk memompa air dari kolam distribusi ke konsumen. Gambar skematik pemasangan sensor elektrik dan sensor pelampung pada kolam distribusi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Skematik pemasangan sensor elektrik dan sensor pelampung pada kolam distribusi

skematik Gambar 8 tampak pemasangan sensor elektrik yang berfungsi untuk mengontrol dinamo pompa distribusi (apabila posisi air diatas batas bawah maka pompa dalam keadaan *on* dan apabila air lebih rendah dari batas bawah maka pompa akan *off*). Sensor pelampung digunakan untuk mengontrol dinamo *water pump input* (apabila air berada dibawah batas atas maka pompa *input* dalam keadaan *on*, dan apabila air berada diatas batas atas maka pompa *input* dalam keadaan *off*). Pemasangan batas bawah dari sensor pelampung posisinya harus berada sedikit lebih diatas dibanding posisi batas bawah dari sensor elektrik agar persediaan air dalam kolam distribusi bisa terjaga dengan baik.



Gambar 9. Skematik alur pengendalian dinamo *water pump* PDAM

Pada Gambar 9 terkait skematik alur pengontrolan dinamo *water pump* PDAM dijelaskan bahwa PLC melakukan pengontrolan berdasarkan input program yang kemudian mengeluarkan output pengontrolan yang dihubungkan ke sensor, selanjutnya sensor memberikan perintah *on* atau *off* ke dinamo *water pump*. Dinamo *water pump* baik pompa *input* maupun pompa distribusi akan beroperasi bergantian berurutan setiap tiga jam. Contoh, pompa *input* 1 beroperasi selama tiga jam, setelah itu akan digantikan oleh pompa *input* 2 dan setelah tiga jam akan digantikan oleh pompa *input* 3, setelah tiga jam akan kembali diganti oleh pompa *input* 1, proses ini akan berjalan secara *continue*.

2. Pengujian sistem

Analisis keberhasilan perangkat keras didapatkan dari pengujian terhadap bagian-bagian dari prototipe ini. Seperti yang terlihat pada Tabel 1 dilakukan pengujian sebanyak 10 kali terhadap proses jalannya dinamo pompa jalan bergantian otomatis dikontrol oleh PLC.

Tabel 1. Keberhasilan perangkat keras

No.	Nama bagian	Pengujian			Keterangan
		Percobaan	Berhasil	Gagal	
1	Dinamo pompa input 1	10	10	0	Jalan tanpa beban dan sensor
2	Lampu indikator dinamo pompa input 2	10	10	0	Jalan tanpa beban dan sensor
3	Lampu indikator dinamo pompa input 3	10	10	0	Jalan tanpa beban dan sensor
4	Dinamo pompa distribusi 1	10	10	0	Jalan tanpa beban dan sensor
5	Lampu indikator dinamo pompa distribusi 2	10	10	0	Jalan tanpa beban dan sensor
6	Lampu indikator dinamo pompa distribusi 3	10	10	0	Jalan tanpa beban dan sensor

Data pengujian diambil saat hasil pengamatan prototipe dibuat. Pada Tabel 1 diatas menunjukkan bahwa percobaan dilakukan sebanyak sepuluh kali percobaan untuk mengontrol dinamo *water pump* PDAM baik pompa *input* maupun pompa distribusi dapat berjalan bergantian otomatis dengan baik tanpa mengalami kendala. Tabel 2 menunjukkan pengujian dinamo pompa saat berbeban dan menggunakan sensor elektrik ketinggian air tipe gzfl68 dan sensor pelampung.

Tabel 2. pengujian dinamo pompa saat berbeban dan menggunakan sensor elektrik ketinggian air tipe gzfl68 dan sensor pelampung

No.	Dinamo pompa input	Dinamo pompa distribusi	Pengujian			Ket.
			Percobaan	berhasil	Gagal	
1	Sensor gzfl68	Sensor gzfl68	10	0	10	Tidak dapat berjalan
2.	Sensor pelampung	Sensor gzfl68	10	10	0	Dapat Berjalan dengn baik
3.	Sensor gzfl68	Sensor pelampung	10	10	0	Dapat berjalan, akan tetapi tidak berjalan dengan efektif.

Hasil pengamatan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa dinamo pompa input dan dinamo pompa distribusi yang dipasang sensor elektrik (gzfl68) tidak dapat berjalan sama sekali dikarenakan sensor elektrik jenis ini tidak dapat bekerja bersamaan didalam satu wadah air yang sama. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sensor yang digunakan dalam sistem pompa air secara bersamaan dapat sensitif terhadap kondisi lingkungan seperti suhu dan gangguan elektromagnetik, yang dapat mengurangi keandalan [19], [20]. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja sensor dapat terganggu dalam kondisi tertentu, berpotensi menyebabkan masalah operasional.

Percobaan selanjutnya dilakukan pada dinamo pompa *input* yang dipasang sensor mekanik (sensor pelampung), dan dinamo pompa distribusi dipasang sensor elektrik (gzfl68) hasilnya dapat berjalan

dengan baik dan efektif, saat kolam distribusi dalam keadaan terisi maka pompa distribusi *on* dan apabila dalam keadaan kosong (mencapai batas bawah) maka pompa akan *off*, apabila kolam distribusi dalam keadaan tidak mencapai batas atas (belum penuh) maka akan *on* dan apabila kolam distribusi keadaan mencapai batas atas (terisi penuh) maka pompa *input* akan *off*. Percobaan inilah yang dijadikan hasil akhir dari alat kontrol ini dikarenakan dapat berjalan sesuai rancangan.

Pada percobaan dinamo pompa *input* dipasang sensor elektrik tipe gzf 168 dan pada dinamo pompa distribusi dipasang sensor mekanik (sensor pelampung), hasil dapat berjalan akan tetapi tidak efektif, dikarenakan durasi kerja pompa sangat lamban akibat pompa input akan *on* apabila kolam benar benar telah mencapai batas bawah begitupun dinamo pompa distribusi akan *on* apabila kolam telah terisi penuh. Proses ini memakan waktu yang terlalu lama dikarenakan proses kerjanya tidak efektif. Ada beberapa alternatif pengganti sensor listrik tradisional yang dapat beroperasi di dalam air terintegrasi pompa diantaranya *piezoelectric energy harvesters*, *electrochemical cells*, *ultrasonic sensors*, dan *pneumatic sensors* [21], [22], [23], [24], [25], [26]. Setiap jenis sensor memiliki kelebihan dan keterbatasan tersendiri, sehingga cocok untuk aplikasi dan lingkungan yang berbeda.

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan desain dan pengembangan sistem, maka dapat disimpulkan: sistem kontrol telah dapat didesain, dirancang dan ujicoba prototipe kontrol otomatis dinamo water pump PDAM Toraja Utara telah dapat berjalan dengan baik sesuai dengan rancangan, PLC tipe SR3B261FU dapat digunakan untuk mengontrol dinamo pompa input dan dinamo pompa distribusi PDAM serta telah dapat berjalan secara bergantian otomatis. Sensor pelampung dapat digunakan untuk mengontrol pompa input dan sensor elektrik gzf168 dapat digunakan untuk mengontrol pompa distribusi,

Saran untuk penelitian lanjutan dapat mengkaji dan mengembangkan sistem pengontrolan otomatis PDAM berbasis PLC menggunakan sensor ketinggian air yang lebih sensitif, dan menggunakan motor pompa DC dengan kapasitas yang lebih besar, serta memonitoring jalannya sistem pengontrolan dengan paduan aplikasi lain.

REFERENCES

- [1] Fakhriyah, Yeyendra, and A. Marianti, "Integrasi Smart Water Management Berbasis Kearifan Lokal Sebagai Upaya Konservasi Sumber Daya Air di Indonesia," *Indonesian Journal of Conservation*, vol. 10, no. 1, pp. 67–41, 2021, doi: 10.15294/ijc.v10i1.31036.
- [2] E. Alfin, Rahmatulloh, and M. Suendarti, "INFRASTRUKTUR AIR DAN TANTANGAN DI INDONESIA," *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, vol. 1, no. 2, pp. 382–391, 2022.
- [3] I. Nugraha and D. S. Donoriyanto, "Analisis Kebijakan Persediaan Air Bersih Di Kabupaten Ponorogo Dengan Pendekatan Sistem Dinamis," *Tekmapro*, vol. 18, no. 2, pp. 11–22, 2023, doi: 10.33005/tekmapro.v18i2.333.
- [4] I. W. Setem, I. W. Gulendra, and ..., "Cupu Manik Tirta Amerta Untuk Menjaga Keseimbangan Kosmologi Air Dari Gunung Ke Laut," ... *Nasional Republik Seni* ..., vol. 3, pp. 46–57, 2023.
- [5] A. Umami, H. Sukmana, E. A. Wikurendra, and E. Paulik, "A review on water management issues: potential and challenges in Indonesia," *Sustainable Water Resources Management*, vol. 8, no. 3, 2022, doi: 10.1007/s40899-022-00648-7.
- [6] M. Karmilah and M. Y. Madrah, "Coping Strategies to Address Water Scarcity through Local Knowledge in Tidal Flood and Erosion-Prone Areas: A Case Study of Timbulsloko, Sayung Regency, Demak Municipality," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, R. B., A. M.R., M. null, J. null, M. A.I., and D. E.S., Eds., Institute of Physics, 2024. doi: 10.1088/1755-1315/1321/1/012005.
- [7] S. Sriyanto, A. Ary, and I. H. Muhammad, "Design of Groundwater Filtration Technology to Meet the Clean Water Needs of Rural Communities Using Quality Function Deployment," in *E3S Web of Conferences*, W. B., H. null, and M. null, Eds., EDP Sciences, 2018. doi: 10.1051/e3sconf/20187305012.
- [8] H. Herawati, Kartini, A. A. Akbar, and T. Abdurrahman, "Strategy for realizing regional rural water security on tropical peatland," *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 18, 2021, doi: 10.3390/w13182455.
- [9] C. Tian, C. Su, and W. Zhao, "Application of PLC in Variable Frequency Constant Pressure Control System for Mine Emulsion Pump Station," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1982/1/012187.
- [10] F. Achmad, D. Rahmatullah, and M. A. Risnanto, "Simulation of Level Control on Rainwater Collection Pumps Based on MikroWin Software Step7," in *Proceedings - 4th International Conference on Vocational*

- Education and Electrical Engineering: Strengthening Engagement with Communities through Artificial Intelligence Application in Education, Electrical Engineering and Information Technology, ICVEE 202*, 2021. doi: 10.1109/ICVEE54186.2021.9649699.
- [11] A. N. Anuar, S. Sahlan, K. I. Rosli, M. F. Ab Rahim, M. A. Md. Yunus, and M. H. I. Ishak, "Implementation of Industrial Automation Water Distribution System Utilizing PLC: A Laboratory Setup," *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 834, pp. 145 – 154, 2022, doi: 10.1007/978-981-16-8484-5_12.
 - [12] K. Chakraborty, M. G. Choudhury, S. Das, and S. Paul, "Development of PLC-SCADA based control strategy for water storage in a tank for a semi-automated plant," *Journal of Instrumentation*, vol. 15, no. 4, 2020, doi: 10.1088/1748-0221/15/04/T04007.
 - [13] Y. Huang, X. Wu, and Z. Xu, "Design of water level control system for water tank based on programmable controller," *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1244 AISC, pp. 606 – 612, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-53980-1_89.
 - [14] R. P. Puértolas, "Applied research in design. Activity stages," *Grafica*, 2023, doi: 10.5565/rev/grafica.282.
 - [15] O. Dobrzanskyi, M. Bogdanovskyi, A. Tkachuk, and T. A. Vakaliuk, "Software Development for Field Level Industrial Process Control Network System," in *CEUR Workshop Proceedings*, S. A. and M. P., Eds., CEUR-WS, 2023, pp. 47–60.
 - [16] J. Koziorek, R. Kraut, A. Gavlas, M. Mikolajek, P. Papcun, and I. Zolotova, "Effective control system design with commissioning based on digital twin," in *Proceedings of International Conference on Computers and Industrial Engineering, CIE*, X. X., Z. R.Y., and D. M.I., Eds., Curran Associates Inc., 2018.
 - [17] J. Wang, "Experimental design for verification and validation of harmonic vibration control systems," *Noise Control Engineering Journal*, vol. 69, no. 5, pp. 460–465, 2021, doi: 10.3397/1/376942.
 - [18] W. L. Brogan *et al.*, *Control systems*. CRC Press, 2017. doi: 10.1201/9781420037043.
 - [19] B. Singh and Mohd. Kashif, "PF-MRAC-Based Elimination of Sensors in Solar-Powered PMSM Drive-Based Water Pumping System," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 70, no. 11, pp. 11390 – 11400, 2023, doi: 10.1109/TIE.2022.3227276.
 - [20] Mohd. Kashif and B. Singh, "Modified Active-Power MRAS Based Adaptive Control With Reduced Sensors for PMSM Operated Solar Water Pump," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 38, no. 1, pp. 38 – 52, 2023, doi: 10.1109/TEC.2022.3197564.
 - [21] F. M. Discenzo, D. Chung, and K. A. Loparo, "Pump condition monitoring using self-powered wireless sensor nodes," in *Metrics: The Key to Success - Proceedings of the 60th Meeting of the Society for Machinery Failure Prevention Technology*, 2006, pp. 425 – 434.
 - [22] S. Keddis and N. Schwesinger, "Power source for wireless sensors in pipes," in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2016. doi: 10.1117/12.2222416.
 - [23] D. Petrov, M. F. Islam, and U. Hilleringmann, "Water-based galvanic cell for powering of wireless sensors," in *GMM-Fachberichte*, 2024, pp. 21 – 23.
 - [24] N. Khan, P. Kumar, and S. Sadistap, "IoT enabled embedded ultrasonic sensor based water tank level system with pump switching control," in *AIP Conference Proceedings*, 2021. doi: 10.1063/5.0043399.
 - [25] M. Khairudin, A. D. Hastutiningsih, T. H. T. Maryadi, and H. S. Pramono, "Water level control based fuzzy logic controller: Simulation and experimental works," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/535/1/012021.
 - [26] K.-D. Kinzli, D. Gensler, and M. Martinez, "Low-Cost Pneumatic Sensor for Water Level Detection in Gauging Stations," *River Research and Applications*, vol. 32, no. 7, pp. 1642 – 1653, 2016, doi: 10.1002/rra.2996.