

Perancangan Sistem Filtrasi Air Berbasis *Virtual Programmable Logic Controller (PLC)* dan *Human-Machine Interface (HMI)*

**Karel Octavianus Bachri^{*1}, Yusaphat Phosa Karangga², Veronica Windha Mahyastuty²,
Catherine Olivia Sereati², Melisa Mulyadi², Sandra Octaviani³**

¹Program Studi Magister Teknik Elektro

²Program Studi Teknik Elektro

³Program Studi Program Profesi Insinyur

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

E-mail : karel.bachri@atmajaya.ac.id

Dalam dunia industri, penggunaan teknologi otomatisasi semakin penting untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan proses. Salah satu aplikasi penting dalam industri adalah proses penyaringan air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji kinerja sistem kendali virtual PLC dalam mengendalikan dan mengelola proses penyaringan air, sedangkan HMI memberikan antarmuka grafis yang intuitif bagi operator untuk memantau dan mengendalikan proses. Simulasi pada penelitian ini menggunakan software Virtual PLC Codesys Virtual Win V3 dan HMI Aveva Intouch yang telah terintegrasi. Sensor Turbidity digunakan untuk melakukan validasi kejernihan air setelah melalui proses penyaringan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa menggunakan sistem kendali virtual PLC dan HMI dapat memudahkan pengoperasian dan pemantauan proses penyaringan air.

Kata kunci :

Human Machine Interface, Programmable Logic Controller, Simulasi, Sistem Filtrasi, Turbidity.

ABSTRACT

In the industrial environment, automation technology is becoming increasingly vital for boosting process efficiency and dependability. Water filtration is one of the most essential industrial uses. This study aims to evaluate the performance of PLC virtual control systems in regulating and managing water filtration processes, and HMI provides an intuitive graphical interface for operators to monitor and control processes. The simulation in this study employs the integrated Virtual PLC Codesys Virtual Win V3 and HMI Aveva Intouch software. Turbidity sensors are used to confirm the clarity of water after it has been filtered. The results of this study demonstrate that using the virtual control system, PLC and HMI, can facilitate the operation and monitoring of water filtration.

Keywords :

Human Machine Interface, Programmable Logic Controller, Simulation, Filtration, Turbidity

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan air bersih meningkat dengan pesat dalam beberapa tahun terakhir, baik untuk kebutuhan perumahan, maupun untuk industri [1], sementara penyediaan air bersih oleh Perusahaan air minum juga meningkat, akan tetapi belum dapat mengimbangi pertumbuhan tersebut. Hal ini dapat menyebabkan penurunan permukaan tanah [2].

Permasalahan ini dapat diatasi dengan penyaringan air kotor menjadi air bersih, terutama untuk sektor industri yang memerlukan banyak air. Berbagai upaya dilakukan, antara lain dengan

mengimplementasikan filter air sederhana berbasis Carbon active [3], maupun otomatis [4], serta sistem pemantauan lebih lanjut berbasis *Internet of Things* [5].

Untuk memastikan air hasil penyaringan sudah bersih, maka dirancang suatu sistem yang dapat memantau dan mengendalikan proses penyaringan air secara otomatis [5], [6], [7].

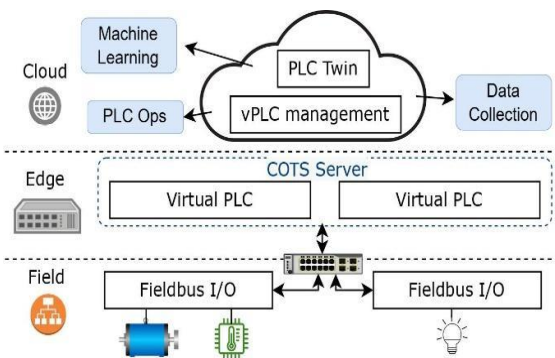
Pada penelitian ini dibahas proses penyaringan air yang dikontrol oleh *Virtual Programmable Logic Controller (PLC)* dan divisualisasikan dengan *Human-Machine Interface* menggunakan modul pembelajaran dari festo yang bernama *MPS PA Filtration*

Station, namun pada modul ini belum terdapat sensor yang menampilkan data hasil penyaringan air, sehingga perlu ditambahkan sensor penampil data hasil penyaringan air. Tampilan HMI pada modul ini juga memiliki fitur yang terbatas dan dengan tampilan grafis yang lampau, sehingga perlu dilakukan pengembangan pada tampilan HMI.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Virtual Programmable Logic Controller

Virtual Programmable Logic Controller (PLC) Virtual PLC merupakan suatu peralatan kontrol yang dapat diprogram untuk mengontrol proses pada mesin tanpa perangkat keras seperti diperlihatkan pada **Error! Reference source not found..**



Gambar 1. Grafik model tanggapan suhu terhadap waktu system

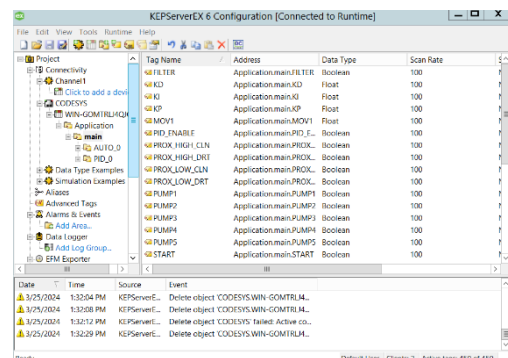
Sesuai dengan blok diagram pada **Error! Reference source not found..**, server COTS yang terletak pada EDGE dapat menampung beberapa Virtual PLC untuk mengontrol secara real time. Virtual PLC dapat dipantau dan dikelola melalui cloud. Pada Penelitian ini vPLC yang digunakan adalah Codesys Control Win V3 version 3.5.12.10 seperti ditunjukkan pada **Error! Reference source not found..**



Gambar 2. Diagram koneksi software dengan PLC

2.2 KepserverEx

KEPserverEX merupakan perangkat lunak keluaran Kepware yang berfungsi sebagai OPC server sekaligus OPC client. OPC adalah sebuah standar industri untuk antar konektivitas sistem. Tujuan dari OPC adalah menyediakan sebuah infrastruktur standar untuk pertukaran data kontrol proses. Dalam penelitian ini software yang digunakan adalah KepserverEx 6. Tampilan IDE KEPserverEX ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan IDE KepserverEx 6.

2.3 Proximity Sensor

Proximity Sensor atau sensor jarak adalah sensor elektronik yang mampu mendeteksi keberadaan objek disekitarnya tanpa menyentuh objek tersebut. Dalam penelitian ini, jenis proximity sensor yang digunakan adalah sensor jarak kapasitif yang dapat mendeteksi cairan dengan mengubah kapasitansi kapasitor. Sensor ini digunakan untuk mengukur level cairan pada tank. Tipe sensor yang digunakan adalah Festo Capacitive Proximity Sensor B113/B114.



Gambar 4. Festo Proximity Sensor B113/B114

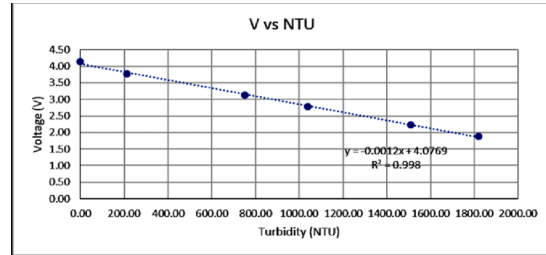
2.4 Turbidity Sensor

Turbidity sensor diperlihatkan pada Gambar 5, yaitu sensor modul yang bekerja untuk membaca kekeruhan pada air, pada dasarnya partikel kekeruhan tidak bisa dilihat oleh mata langsung. Pada sensor ini terdapat LED photodiode sebagai transmitter dan photodiode (*receiver*). Tipe sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah *Turbidity Sensor* SEN0189. Sensor ini memanfaatkan cahaya yang dipancarkan pada LED yang kemudian hasil pemantulan cahaya yang akan dibaca oleh sensor [8], [19].



Gambar 5. Sensor Turbidity SEN0189

Nilai kekeruhan dalam sensor turbidity memiliki satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Semakin rendah nilai kekeruhan atau semakin bersih kualitas air yang di deteksi, semakin kecil pula nilai NTU nya. Sesuai dengan Gambar 6, semakin rendah nilai kekeruhan maka semakin tinggi nilai tegangan yang dihasilkan.



Gambar 6. Hubungan tegangan dengan NTU [10]

2.5 Proportional Valve

Proportional Valve ditunjukkan pada Gambar 7, yaitu valve dua arah yang dapat dibuka atau ditutup dengan mengontrol laju atau tekanan aliran fluida. Pada penelitian ini, *Proportional Valve* digunakan untuk mengontrol laju klorin yang diatur oleh PID dalam PLC. Selain itu *Proportional Valve* digunakan untuk *drain valve* pada *dirty tank* [10], [11].



Gambar 7. Proportional Valve Festo VPCF

2.6 Centrifugal Pump

Pompa sentrifugal ditunjukkan pada Gambar 8, yaitu perangkat mekanis yang dirancang untuk mengalirkan cairan dengan menggunakan energi kinetik yang dihasilkan oleh putaran impeler. Pompa ini dikenal karena desainnya yang efisien dan kemampuannya dalam menangani berbagai jenis cairan, termasuk air, minyak, dan bahan kimia. Pada penelitian ini, pompa digunakan untuk memindahkan cairan dari satu tank ke tank yang lainnya [12], [13].



Gambar 8. Centrifugal Pump Festo

2.7 Cartridge Filter

Cartridge filter ditunjukkan pada Gambar 9, yaitu salah satu komponen penting yang digunakan untuk membersihkan air dari partikel dan zat terlarut yang tidak diinginkan. Cartridge filter berfungsi untuk menyaring air dan menghilangkan partikel padat, kotoran, lumpur, karat, zat organik, dan kontaminan lainnya [14].



Gambar 9. Cartridge Filter

2.8 PID Control System

Sistem Kontrol PID telah menjadi sistem kontrol yang cukup banyak digunakan di dalam dunia industri. PID control memiliki tiga komponen aksi, yaitu Proporsional (P), Integral (I), dan Derivatif (D). Aksi proporsional menyesuaikan keluaran kontroler sesuai dengan ukuran *error*. Aksi integral dapat menghilangkan *steady-state offset* dan tren masa depan diantisipasi melalui aksi *derivatif*. Fungsi yang berguna ini cukup untuk sejumlah besar aplikasi proses dan transparansi fitur bagi penerimaan yang luas oleh pengguna [15].

2.9 Perangkat Lunak Codesys V3

Codesys merupakan perangkat lunak atau *software* yang digunakan untuk membuat dan menjalankan program pada Virtual PLC Codesys Win V3. Bahasa pemrograman yang dapat digunakan pada Codesys V3 adalah *ladder diagram*, *function block*, *structured text* dan *instruction list*. Codesys V3 juga memiliki fitur simulasi sehingga tidak perlu menggunakan hardware PLC untuk menjalankan program [16], [17].

2.10 Aveva Intouch Human Machine Interface

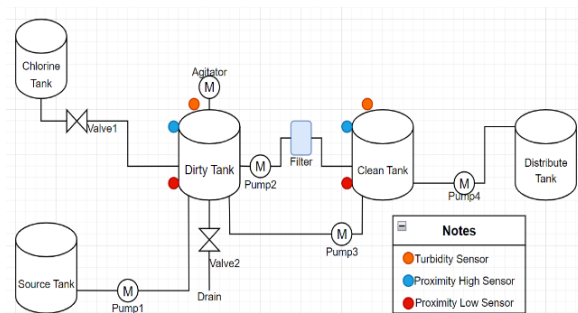
Aveva Intouch Human Machine Interface merupakan sebuah software HMI yang berfungsi untuk mengontrol dan melihat proses visual dari sebuah mesin. Intouch terdiri dari 3 komponen utama yaitu: Intouch Application Manager, Intouch Window Maker dan Intouch Window Viewer.

Intouch Application Manager berfungsi untuk mengorganisasi aplikasi yang dibuat. InTouch Window Maker adalah development *environment*. Dalam hal ini *object-oriented graphics* digunakan untuk menciptakan animasi serta dapat menerima masukan dari pengguna. Komponen ketiga adalah *InTouch Window Viewer* adalah runtime environment yang digunakan untuk menampilkan window yang telah dibuat di *Window Maker* [18], [19].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Konsep perancangan Sistem

Simulasi sistem penyaringan air dengan *turbidity sensor* dirancang untuk memvalidasi kebersihan air. Maka dari itu ditambahkan klorin dengan nilai setpoint yang diinginkan menggunakan kendali PLC yang dilengkapi dengan algoritma Proportional, Integral, Derivative (PID). Pembuatan simulasi penyaringan air ini dibuat berdasarkan modul Festo MPS PA Filtration Station. Pada Gambar 10, terdapat skematik rancangan instrumen yang digunakan.



Gambar 10. Gambaran cara kerja sistem.

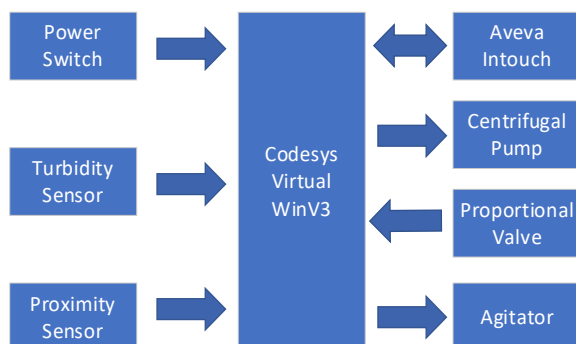
Proses simulasi virtual akan dijalankan dalam beberapa skema yang terdapat pada Tabel 1. Semua parameter yang dirancang

dapat diinput melalui HMI yang telah terhubung dengan program PLC.

Tabel 1. Skenario input values sistem

No	Skenario		Status						Filter
			Agitator				After Filtration		
			Off	On 10s					
			Chlorine	Dirty Water Tank Level	Turbidity Value		Clean Water Tank Level		
			(gram)	(l)	(V)	(V)	(V)	(l)	
1	1 siklus		0.028	7	2	3	4	7	True
2	2 siklus	1	0.028	7	1,5	2,5	3,5	7	True
		2	0	7	3,5	3,5	4,5	7	True
3	Filter	1	0.028	7	2	3	3	7	False
	Error	2	0	7	3	3	4	7	True

Sesuai dengan Tabel 1, *One time cycle* mensimulasikan bahwa proses filtrasi air berjalan dengan sempurna sehingga cukup satu kali proses filtrasi. Itu semua disebabkan karena filter yang digunakan dalam kondisi bagus sehingga dapat menyaring partikel kotor padat dalam air kotor. Pada *case two times loop*, mensimulasikan bahwa air yang digunakan sangat kotor sehingga filter tidak mampu menyaring air sekali maka terjadilah *looping filtration*. *Case filter error* mensimulasikan bahwa filter yang digunakan dalam kondisi tidak layak digunakan sehingga perlu dilakukan *filter maintenance*. Setelah dilakukan *maintenance* pada filter, maka proses filtrasi diulang kembali dan mendapatkan hasil yang maksimal. Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 11.

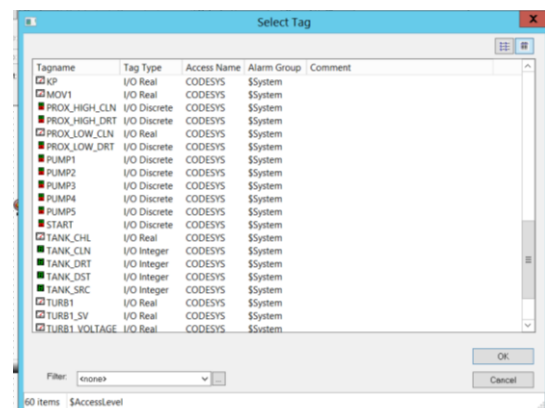


Gambar 11. Diagram Blok Sistem

3.2 Perancangan Perangkat Lunak Sistem menggunakan HMI Intouch

3.2.1. Input Tagname

Pemberian *tag* pada intouch merupakan langkah penghubung antara Codesys & KepserverEx dengan HMI. *Tag* dimasukkan pada *items* menyesuaikan pada *coding* proses sistem pada PLC. List *Tagname* pada Intouch bisa dilihat pada menu *tagname dictionary* pada Gambar 12.



Gambar 12. Tagname Dictionary Sistem

3.2.2. Perancangan Main Control Screen System

Control screen adalah halaman tampilan sistem yang dapat menampilkan dan

mengendalikan sistem melalui serangkain fitur yang tersedia didalamnya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 13. Pada bagian ini

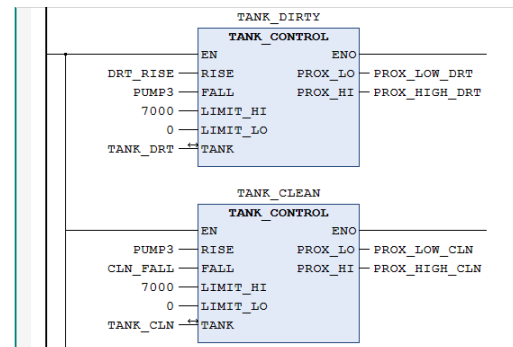
semua nilai dapat dimasukkan, sesuai dengan skenario simulasi yang telah disiapkan untuk menjalankan sistem pada Tabel 1.



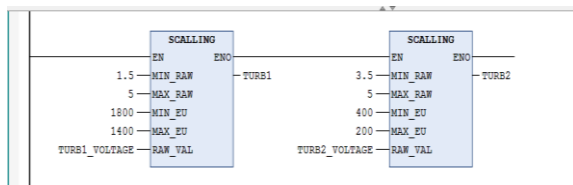
Gambar 13. Control Screen System

3.2.3. Perancangan Program PLC

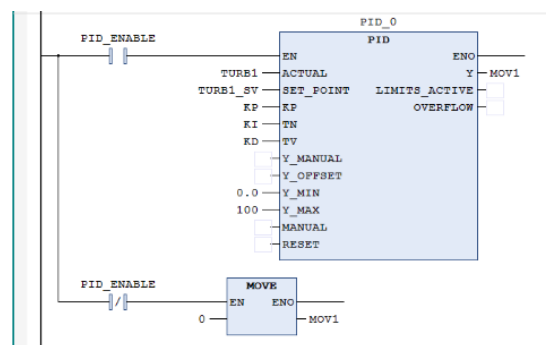
Perancangan PLC pada penelitian ini menggunakan *software* Codesys V3 yang di upload pada virtual PLC Codesys Virtual Win V3. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah *Ladder Diagram* dan *Function Block*. Program yang dibuat berfungsi untuk menjalan sistem yang telah dirancang Gambar 14.



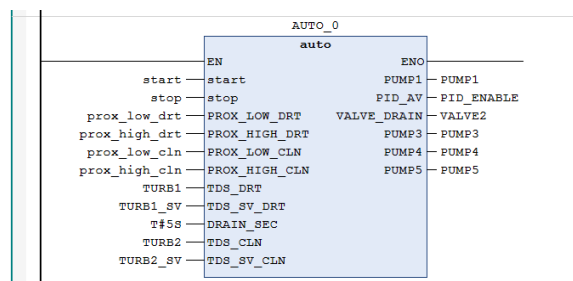
Gambar 16. Blok Fungsi *scaling tank level*.



Gambar 14. Blok fungsi konversi nilai *turbidity sensor* terhadap tegangan dan NTU.



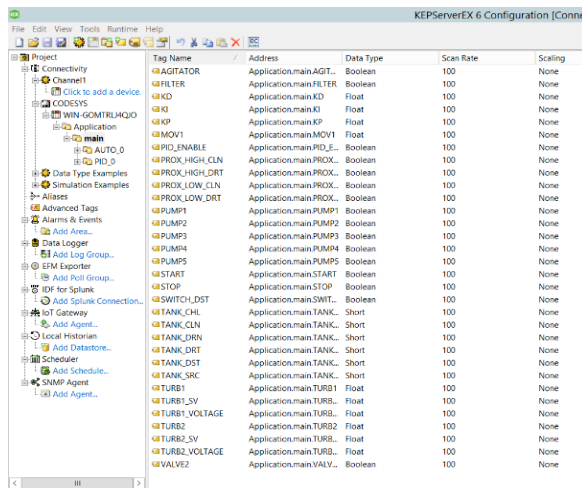
Gambar 17. Blok fungsi PID



Gambar 15. Blok fungsi sistem

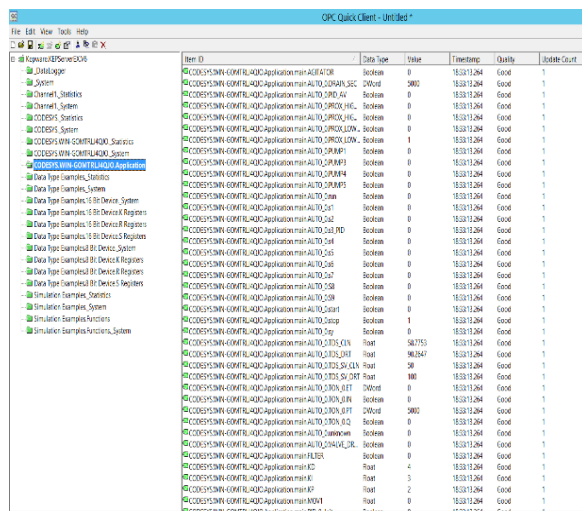
3.3 Perancangan KepserverEX dan OPC Quick Client

Pada Penelitian ini, *kepserverEx* digunakan sebagai gerbang penghubung antara Codesys V3 dengan HMI Intouch, sehingga semua Tag yang di deklarasi pada Virtual PLC Codesys V3 dapat dilihat proses visualnya melalui HMI Intouch seperti ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. *Tags Input Codesys V3 pada KepserverEx*

Pada OPC Quick Client, terdapat validasi *value* yang telah di *input* melalui HMI menuju program control PLC seperti diperlihatkan pada Gambar 19.



Gambar 19. OPC Quick Client

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Analog Input dan Digital Output

Hasil pengujian analog input pembacaan *NTU Value* serta tegangan dari *turbidity sensor* dan *proximity sensor* sebagai *water level* terdapat pada Tabel 2, sedangkan pembacaan *digital output* pada *Centrifugal Pump* terdapat pada Tabel 3.

Tabel 2. Pembacaan sensor analog

No.	Besaran	Tipe data	Nilai
1	Tegangan Sensor turbidity1	Real	2.472047
2	Tegangan Sensor turbidity2	Real	4.08862638
3	Nilai Turbidity1	Real	1216.77173
4	Nilai Turbidity2	Real	204.43132
5	Tangki sumber	Integer	3000
6	Tangki proses	integer	7000

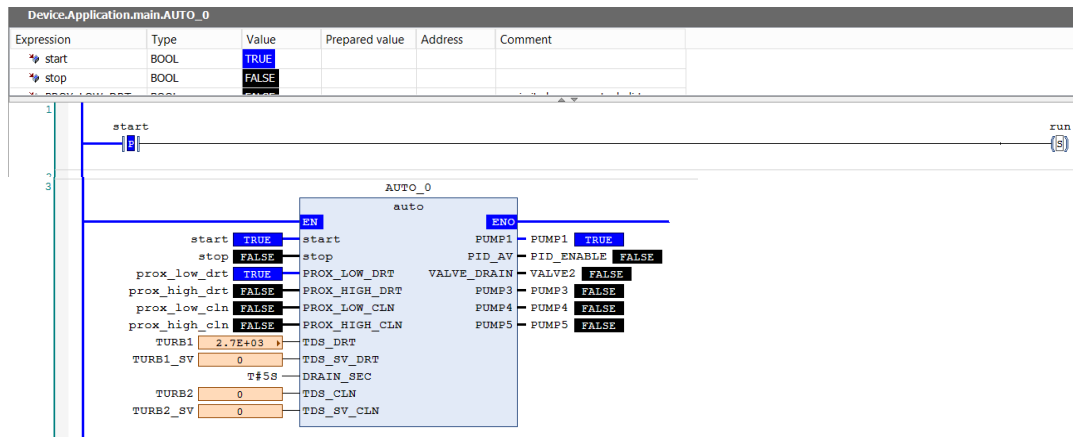
Tabel 3. Hasil pembacaan sensor digital

No.	Besaran	Tipe data	Nilai
1	Pump 1	Boolean	True
2	Pump 2	Boolean	False
3	Pump 3	Boolean	False
4	Pump 4	Boolean	False
5	Pump 5	Boolean	False

Selain itu, nilai *digital output* dapat dihasilkan disertai perubahan nilai *digital output* yang akan menggerakkan *centrifugal pump*.

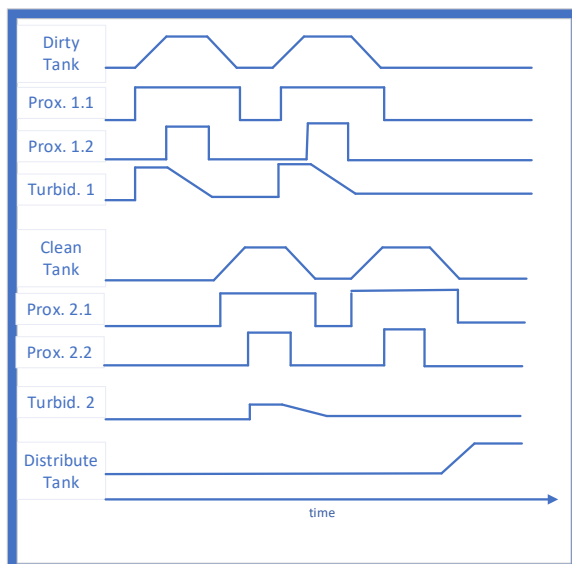
4.2 Pengujian Simulasi Sistem

Pada pengujian ini, Virtual PLC sudah terhubung dengan HMI Intouch melalui KepserverEx. Pada pengujian pertama, tombol *start* dapat mengaktifkan sistem sesuai dengan program yang telah dibuat. Pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Pengujian Start Button

Diagram waktu pengujian ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Diagram waktu sistem.

Saat tombol start ditekan maka sistem memberikan sinyal ke *pump 1* untuk mengalirkan air kotor dari *source tank* menuju *dirty tank*. Saat *dirty tank* mulai terisi. Air sudah memasuki *dirty tank* sehingga *low proximity sensor* dan *turbidity sensor* menyala. Maka *turbidity sensor 1* telah membaca *value* air kotor senilai 1200 NTU dan *voltage turbidity* bernilai 2.06 volt

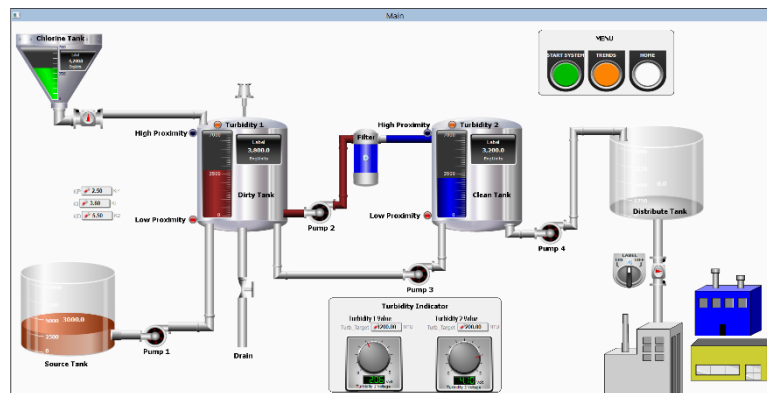
Saat *dirty tank* penuh, *proximity sensor 1.2* menyala. *Chlorine* dialirkan menuju *dirty tank* sehingga proses pencampuran *chlorine* dengan air keruh terjadi, *turbidity sensor* perlahan-lahan menunjukkan perubahan dari kondisi keruh menjadi jernih.

Saat *turbidity sensor 1* menunjukkan nilai di bawah nilai ambang, proses penjernihan selesai. Air pada *dirty tank* dikosongkan menuju *clean tank*, *high proximity sensor 1* tidak menyala, dan *low proximity sensor 2* menyala. *Turbidity sensor 2* menunjukkan peningkatan nilai yang berarti hasil penjernihan tahap 1 belum cukup jernih.

proses pengosongan tangki yang dilakukan oleh *drain valve*. Proses ini dilakukan untuk membuang sisa partikel padat kotor yang terdapat pada *dirty tank*, supaya saat melakukan proses filtrasi berikutnya kondisi *dirty tank* dapat menampung air kotor tanpa sisa partikel padat kotor proses filtrasi sebelumnya. Jika nilai NTU pada sensor *turbidity 2* melebihi 200 NTU dan *voltage* kurang dari 4 volt, maka *pump 3* menyala

Saat *clean tank* penuh, tetapi *turbidity sensor 2* menunjukkan tingkat kejernihan air kurang dari harga yang diinginkan, air dari *clean tank* dialirkan kembali menuju *dirty tank* untuk dijernihkan kembali. Setelah proses penjernihan kedua selesai, air kembali dialirkan menuju *clean tank* dan diperiksa kembali kejernihannya. Setelah *value turbidity 2* mencapai ≤ 200 NTU dan tegangan keluaran sensor *turbidity 2* ≥ 4 Volt, maka *pump 4* menyala dan mendistribusikan air dari *clean tank* menuju *distribute tank* untuk kemudian didistribusikan.

Tampilan pada sistem ditunjukkan pada Gambar 22, yang menunjukkan salah satu proses, yaitu pengaliran air dari *dirty tank* menuju *dirty tank*.



Gambar 22. Pengisian *clean tank* dari *dirty tank*.

4.3 Pengujian PID

Pengujian PID terdiri dari pengujian nilai kendali P, I, dan D dengan nilai *setpoint* 100. Pengujian nilai kendali Kp digunakan untuk menentukan nilai awal parameter PID pada sistem. Pengujian nilai kendali Ti dan Td digunakan untuk melihat pengaruh parameter PID terhadap kestabilan sistem.

SIMPULAN

Berdasarkan dari perancangan simulasi sistem serta analisis hasil uji dapat ditarik beberapa disimpulkan bahwa kinerja simulator sistem beroperasi sesuai dengan perancangan seperti yang ditunjukkan pada perancangan dan pengujian sistem.

Kejernihan air yang ditunjukkan pada *turbidity value* sesuai dengan karakteristik sensor turbidity dimana besar nilai NTU berbanding terbalik dengan nilai *voltage* pada sensor.

Virtual PLC dan HMI dapat berkomunikasi melalui KepserverEx, dan sistem mampu melakukan simulasi sistem filtrasi air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. A. Fauzi, A. Yutrisya, N. Rachmatiyah, and K. Sapanli, "Analisis Penggunaan Air untuk Industri di Tangerang," in *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia*, Mar. 2018, pp. 2621–7449.
- [2] C. Cyntia and I. P. Pudja, "Analisis Penurunan Muka Tanah Dki Jakarta Dengan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (Dinsar)," *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, vol. 02, no. 02, pp. 88–99, 2018, doi: 10.24198/jiif.v2i2.19712.
- [3] Arief T, Nasir S, Nukman N, Ningsih RR. Y B, and A. P. Gobel, "Perancangan Prototipe Alat Penjernih Air Sederhana (Tradisional Water Purefier) Kombinasi Tradisional Filter, Filter (0,3 μ m) Dan Carbon Active (0,3 μ m) Untuk Penyediaan Air Bersih," *Community*, vol. 2, no. 2, Aug. 2020, [Online]. Available: <http://community.ejournal.unsri.ac.id/>
- [4] P. Wiguna, M. Hannats, H. Ichsan, and H. Fitriyah, "Rancang Bangun Filter Air Berbasis Arduino Pada Penampungan Air Menggunakan

- Metode Fuzzy,” 2018. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [5] Z. Zaenurrohman, H. Susanti, F. Hazrina, and S. Rahmat, “SISTEM PENJERNIH AIR OTOMATIS DENGAN FILTRASI BERULANG DAN MONITORING KEKERUHAN BERBASIS IOT,” *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, vol. 8, no. 1, p. 1, Jun. 2023, doi: 10.32897/infotronik.2023.8.1.2725.
 - [6] S. Sarifudin, A. Sumardiono, and G. M. Aji, “Kontrol Dan Monitoring Proses Filtrasi Air Menggunakan Hmi,” *Journal Of Energy And Electrical Engineering (Jeee)*, vol. 5, no. 1, Oct. 2023.
 - [7] G. Jayanthi, N. Mathumitha, S. Swathy, and S. Aaradhika, “Smart Monitoring and Control of Water Filtration System Using IOT,” in *ICPECTS 2020 - IEEE 2nd International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems, Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2020. doi: 10.1109/ICPECTS49113.2020.93369 91.
 - [8] W. L. Hakim, L. Hasanah, B. Mulyanti, and A. Aminudin, “Characterization of turbidity water sensor SEN0189 on the changes of total suspended solids in the water,” in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1280/2/022064.
 - [9] Y. Wang, S. M. S. M. Rajib, C. Collins, and B. Grieve, “Low-Cost Turbidity Sensor for Low-Power Wireless Monitoring of Fresh-Water Courses,” *IEEE Sens J*, vol. 18, no. 11, pp. 4689–4696, Jun. 2018, doi: 10.1109/JSEN.2018.2826778.
 - [10] Wang B, Wang T, and Chen J, “Design and Experiments of a New Type Pressure Proportional Valve,” in *The 2018 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, Auckland: IEEE, Jul. 2018. doi: 10.1109/AIM.2018.8452362.
 - [11] Liu X, Shang Y, and Jiao Z, “A Novel Proportional Pressure Valve Based on Depressurization Using Hydraulic Half-bridge,” 2016.
 - [12] Đ. S. Čantrak, N. Z. Janković, D. B. Ilić, and M. R. Lečić, “Centrifugal pumps’ impellers design and digital fabrication,” in *2016 International Conference Multidisciplinary Engineering Design Optimization (MEDO)*, Belgrade: IEEE, Sep. 2016. doi: 10.1109/MEDO.2016.7746544.
 - [13] M. H. Zaman et al., “Selection Of A Low-Cost High Efficiency Centrifugal Pump,” in *2017 Fifth International Conference on Aerospace Science & Engineering (ICASE)*, Islamabad: IEEE, Nov. 2017. doi: 10.1109/ICASE.2017.8374273.
 - [14] F. K. Geitner and H. P. Bloch, “Machinery Component Failure Analysis,” in *Machinery Failure Analysis and Troubleshooting*, Elsevier, 2012, pp. 87–293. doi: 10.1016/b978-0-12-386045-3.00003-9.
 - [15] Wang Q G, Ye Z, Cai W J, and Hang C C, *Lecture Notes in Control and Information Sciences 373: PID Control for Multivariate Processes*. 2008. doi: 10.1007/978-3-540-78482-1.
 - [16] J. Liu, W. P. Fu, L. Zhou, N. Qie, and W. Y. Wang, “Design and application of a communication system based on Codesys,” in *Advanced Materials Research*, Trans Tech Publications Ltd, 2014, pp. 1113–1117. doi:

- 10.4028/www.scientific.net/AMR.1044-1045.1113.
- [17] Lugovkin V V, Goltsev V A, and Zhuravlev S Y, “Element and Control System Simulation in CoDeSys and Unreal Engine 4 Development Environment,” in *2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, Sochi: IEEE, May 2020. doi: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9111948.
- [18] D. Wang, F. Hu, Y. Luo, and Y. Ma, “Research of IPE solution applied to EPR nuclear power project,” in *Proceedings - 2012 International Conference on Computing, Measurement, Control and Sensor Network, CMCSN 2012*, 2012, pp. 352–355. doi: 10.1109/CMCSN.2012.86.
- [19] Halenar I, Juhas M, Juhasova B, and Borkin D, “Virtualization of Production Using Digital Twin Technology,” in *Proceedings of the 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, Kraków: IEEE, May 2019. doi: 10.1109/CarpathianCC.2019.8765940.