

Prototipe Sistem Pencegah Banjir dengan Pengontrolan Pintu Air Waduk menggunakan Kontrol PID berbasis PLC & HMI

Johanes Felix Udianto¹, Nova Eka Budiyantha^{2*}, Tajuddin Nur³, Marsul Siregar⁴

^{1, 2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

Article Info	Abstract
<p><i>Article history:</i></p> <p>Received 14-12-2023</p> <p>Accepted 20-12-2023</p> <p><i>Keywords:</i> Human Machine Interface, PID Control, Programmable Logic Controller, Stepper Motor, Water- Level Sensor</p>	<p><i>The purpose of research on this flood prevention system prototype design is to prevent flood caused by overflowing reservoir water. This system prototype uses the Modicon M340 Programmable Logic Controller as a controller and is equipped with a Human Machine Interface feature as a medium for managing and monitoring system performance virtually. This system is supported by a Water-Level Sensor to measure the water level in the reservoir and also the rate of addition of water in the reservoir. The sluice mechanism is driven by a Stepper Motor assisted by the ULN2003 Driver Module based on Proportional, Integral and Derivative (PID) control to maintain the water level in the reservoir. PID control in this system successfully runs optimally at constant $K_P = 3.5$, $K_I = 2$, and $K_D = 1$, with an error result of 0,048%. This constant has the best response time compared to other constants, where rise time = 11.76 s, settling time = 13.95 s, and steady state time = 14.07 s.</i></p>

Info Artikel	Abstrak
<p><i>Histori Artikel:</i></p> <p>Diterima: 14-12-2023</p> <p>Disetujui: 14-12 -2023</p> <p><i>Kata Kunci:</i> Human Machine Interface, PID Control, Programmable Logic Controller, Stepper Motor, Water- Level sensor</p>	<p><i>Tujuan dari perancangan Prototipe Sistem pencegah banjir ini untuk dapat mencegah terjadinya banjir yang disebabkan luapan air waduk. Prototipe Sistem ini menggunakan Programmable Logic Controller Modicon M340 sebagai kontroler dan dilengkapi dengan fitur Human Machine Interface sebagai media untuk mengatur dan memonitor kinerja sistem secara virtual. Sistem ini didukung dengan Water-Level Sensor sebagai pengukur ketinggian air dari dalam waduk dan juga laju pertambahan air di dalam waduk. Mekanisme pintu air digerakkan dengan Stepper Motor berbantuan ULN2003 Driver Module berbasis kendali Proporsional, Integral, dan Derivatif (PID) guna menjaga level ketinggian air di dalam waduk. Kendali PID pada sistem ini berhasil berjalan optimal pada konstanta $K_P = 3.5$, $K_I = 2$, dan $K_D = 1$, dengan hasil error sebesar 0,048 % selama 13,95 detik. Konstanta ini memiliki response time paling baik dibandingkan dengan konstanta lainnya, dimana rise time = 11,76 s, settling time = 13,95 s, dan steady state time = 14,07.</i></p>

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara beriklim Tropis yang terletak di Asia Tenggara. Memiliki musim kemarau dan musim hujan di setiap tahun, tentu memiliki efek tersendiri bagi Indonesia, baik efek positif maupun efek negatif. Efek negatif yang dirasakan selama Musim Hujan adalah timbul berbagai bencana alam, seperti banjir dan tanah longsor. Salah satu bencana yang tergolong cukup sering terjadi dan sangat merugikan kita adalah banjir. Beberapa waktu lalu, terjadi banjir yang disebabkan oleh luapan air dari dalam waduk yang tidak terkontrol, seperti yang terjadi pada Waduk Kedungbrubus [1] [2].

Salah satu solusi yang dapat ditanamkan adalah perancangan sistem pengaliran air dari dalam waduk yang dapat bekerja secara otomatis untuk menjaga level atau ketinggian air di dalam waduk agar tidak meluap. Sistem ini akan mengontrol laju air yang keluar dari dalam waduk berdasar dengan kondisi

*Corresponding author: Nova Eka Budiyantha
Email address: nova.eka@atmajaya.ac.id

ketinggian air dalam waduk menggunakan motor stepper yang menggerakkan katup / pintu air waduk. Sistem ini bertujuan menjaga ketinggian air di dalam waduk tetap berada pada level normal, sehingga terhindar dari kejadian luapan air yang tidak terkendali

2. TEORI DASAR

2.1 *Programmable Logic Controller*

Programmable Logic Controller (PLC) adalah sebuah perangkat elektronika industri yang digunakan untuk memproses atau mengontrol kinerja suatu sistem. PLC ini sendiri bekerja secara digital dan mampu menyimpan berbagai memori yang nantinya digunakan selama proses pengontrolan sistem. PLC juga mampu melakukan berbagai fungsi seperti *logic*, *sequencing*, *timing*, *counting*, dan *arithmetic*. Setiap fungsi tersebut digunakan untuk membantu proses pengontrolan data input hingga mampu menghasilkan data output berdasar hasil pengontrolan PLC. Pada Perancangan Sistem ini, digunakan *Programmable Logic Controller* Seri Modicon M340 yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. PLC Modicon M340

PLC ini dilengkapi dengan Modul *Analog Input AMI0410*, dan Modul *Digital Output DRA1605*, Modul ini akan menjadi *Port I/O* yang tersambung ke aktuatur dan sensor untuk dapat diolah datanya oleh PLC.

Modul output D/A (*Digital-to-Analog Input Module*) akan menerima sinyal tersebut, dan merubahnya menjadi sinyal analog kembali untuk setelahnya dikirimkan ke berbagai komponen output, seperti motor, LED (*Light Emitting Diode*), dll. Komponen output ini akan melaksanakan perintah kerja dari CPU [3].

2.2 *Human Machine Interface*

Human Machine Interface (HMI) sebuah sistem atau alat yang menjadi sarana penghubung bagi manusia dan mesin untuk dapat berkomunikasi melalui data. Berdasar fungsi ini, HMI memiliki kemampuan untuk menjalankan berbagai fungsi dan *action* seperti mengumpulkan data, mengolah data yang diterima dari mesin, atau biasanya dikirimkan oleh perangkat kontrol seperti PLC, untuk dapat disajikan menjadi data yang mudah dimengerti oleh manusia. HMI juga dapat menunjukan atau menampilkan visualisasi dari serangkaian proses atau kinerja yang sedang berlangsung, sehingga diperlukan desain dan rancangan dari sistem HMI untuk menyerupai desain mesin yang dikontrol agar memudahkan manusia dalam menjalankan, mengontrol, serta memantau kinerja mesin [4].

Sistem ini menggunakan *Vijeo Designer* sebagai Penyedia Layanan *Human Machine Interface* yang contoh tampilannya ditunjukkan Gambar 2. *Vijeo Designer* menyajikan visual yang cukup lengkap dan aplikatif untuk digunakan, serta cocok atau *compatible* jika digunakan untuk PLC tipe Modicon M340 keluaran Schneider.

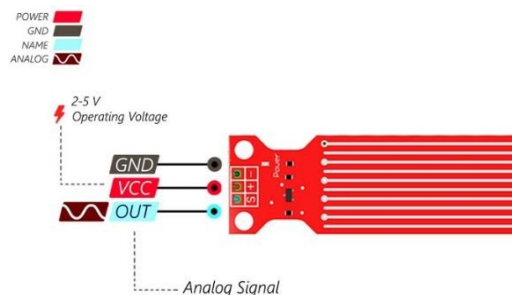


Gambar 2 Contoh tampilan HMI vjeco designer

Penambahan fitur *HumanMachine Interface* pada sistem adalah untuk melakukan *monitoring* level air didalam waduk serta mengontrol parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja sistem.

2.3 Water-Level Sensor

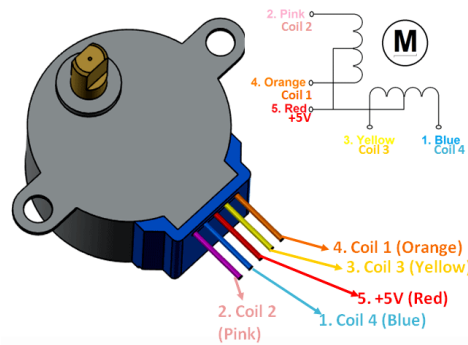
Water-Level Sensor digunakan untuk mengukur level ketinggian atau kedalaman suatu cairan di dalam suatu wadah atau penampung. Sensor ini merupakan Sensor analog yang akan memberikan data output berupa data analog. Sistem kerja sensor ini bergantung pada panjang plat yang terendam air pada tubuh sensor. Semakin Banyak bagian dari plat yang terendam air, hal ini mengindikasikan bahwa ketinggian air cukup tinggi, hal ini berbeda dengan kondisi dimana jika hanya sebagian kecil plat yang terendam air, maka ketinggian air sedang di level rendah. Jumlah atau presentase plat yang terendam air akan mempengaruhi nilai resistansi yang dihasilkan sensor, semakin banyak presentase plat yang terendam, yang berarti semakin tinggi air, maka nilai resistansi akan semakin rendah, dan begitu pula sebaliknya [5]. Gambar 3 menunjukkan *pinout water level sensor*.



Gambar 3. Pinout water-level sensor

2.4 Stepper Motor

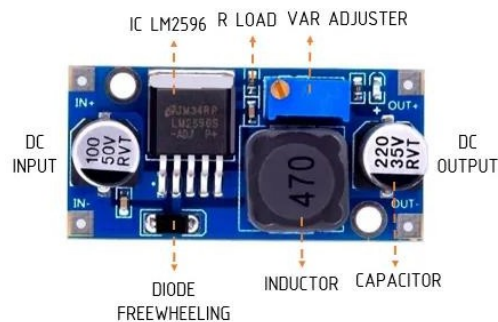
Stepper motor yang ditunjukkan Gambar 4 adalah jenis Motor DC yang gerakannya dikendalikan atau bergantung pada pulsa digital. *Stepper motor* bergerak berdasar urutan perubahan nilai pulsa digital tersebut. Motor ini membutuhkan tegangan suplai 5V untuk bekerja. Motor ini memiliki 4 *coil* yang terhubung ke *driver*, 4 *coil* ini merupakan komponen yang akan mengatur gerakan dari *stepper motor*. Secara singkat, prinsip kerja *stepper motor* adalah mengubah pulsa-pulsa input menjadi gerakan mekanis diskrit.



Gambar 4. Stepper motor

2.4 Regulator Module

Regulator Module LM2596 yang ditunjukkan Gambar 5 merupakan komponen yang digunakan untuk menyesuaikan besaran nilaitegangan. Modul ini digunakan untuk menurunkan tegangan *DC to DC*. Modul ini termasuk kedalam modul rangkaian *buck converter DC to DC* yang tersusun atas komponen *switching, control drive* (IC LM2596), serta komponen lainnya seperti dioda, induktor, kapasitor, dan *resistor load*.



Gambar 5 Regulator LM2596

2.5 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 [8].

2.6 Bahasa Pemrograman Ladder Diagram

Ladder diagram merupakan salah satu bahasa pemrograman untuk PLC. *Ladder diagram* memiliki singkatan pendek sebagai 'LD' dan juga dikenal sebagai '*Ladder Logic*'. *Ladder diagram* merupakan bahasa pemrograman grafikal dan visual. *Ladder diagram* turut menggunakan operasi logika sederhana seperti *AND*, *OR*, dan *NOT*. *Ladder diagram* ini juga turut melakukan perintah kontrol, seperti mengatur laju motor, dan menyalakan lampu saat *switch A* terhubung [9]. Bahasa ini mudah dimengerti dan diketahui oleh banyak orang, sehingga membuat bahasa ini sangat mudah diaplikasikan di dalam pemrograman PLC.

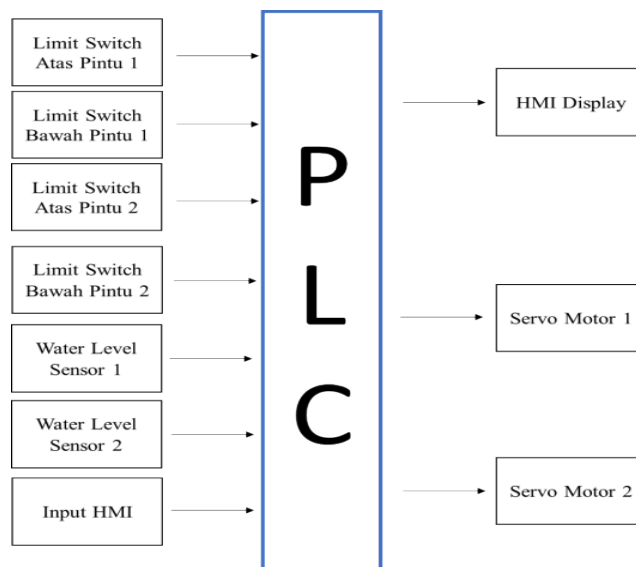
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Konsep perancangan Sistem

Sistem yang dirancang merupakan prototipe sistem yang digunakan untuk melakukan pencegahan banjir dengan mencegah luapan air yang keluar dari waduk. Sistem ini menggunakan *Programmable Logic Control* (PLC) untuk mengontrol kinerja sistem, dan *Human Machine Interface* (HMI) untuk

melakukan monitoring sistem. Program PLC akan mengontrol laju *StepperMotor 1* untuk menentukan laju air yang keluar dari waduk. *Stepper Motor 1* akan dihubungkan dengan pintu air yang menjadi aktuator yang menentukan seberapa besar pintu air 1 akan terbuka dan tertutup guna mengatur debit air di dalam waduk tetap terjaga agar tidak terdapat luapan air. Proses pembuangan air dari dalam waduk diikuti dengan pemantauan debit air pada saluran buangan pertama. Pada saat debit air yang mengalir pada saluran buangan 1 telah penuh, maka pintu air pertama akan tertutup, dan digantikan dengan pintu air 2. Proses ini akan terus berlangsung hingga level air di dalam waduk telah terjaga. Program HMI akan menjadi program *monitoring* digunakan untuk memantau ketinggian air dalam waduk, dan status kinerja *Stepper Motor*. Secara keseluruhan sistem ini akan mencegah terjadinya luapan air dari dalam waduk, dengan cara mengatur besarnya laju keluar air dari dalam waduk dengan menggunakan *PID Control* berbasis PLC.

PID Control merupakan metode yang akan digunakan untuk mengatur laju keluar air dari dalam waduk berdasarkan ketinggian air di dalam waduk. Secara singkat, saat air mencapai ketinggian rendah, katup / pintu air waduk akan tertutup, sedangkan saat air mencapai ketinggian air sedang, / pintu air waduk akan terbuka dengan intensitas relatif kecil, dan pada saat ketinggian air relatif tinggi, / pintu air waduk akan terbuka dengan intensitas relatif besar hingga debit air di dalam waduk akan berkurang sampai mencapai level ketinggian rendah. Diagram blok sistem ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6 Diagram blok sistem yang dirancang

3.2 Perancangan & Perakitan *Hardware* Prototipe Sistem

Prototipe sistem yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.



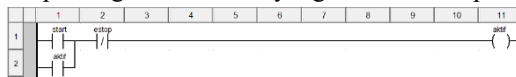
Gambar 7 Tampak depan prototipe sistem



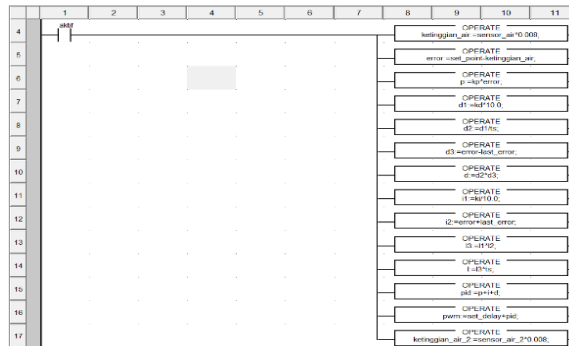
Gambar 8 Tampak atas prototipe sistem

3.3 Perancangan Program *LadderDiagram*

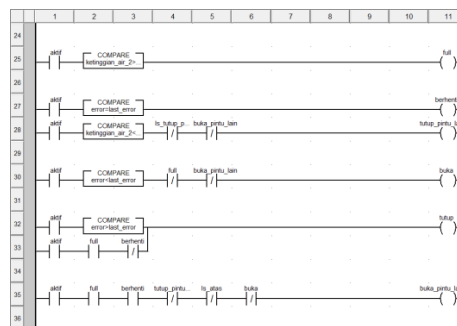
Pada penelitian ini , digunakan *Ladder Diagram* untuk memogram PLC. Gambar 9 sampai dengan Gambar 20 memperlihatkan pemrograman *ladder* yang dibuat untuk penelitian ini.



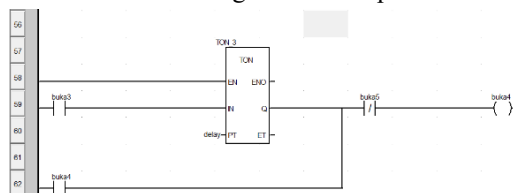
Gambar 9 Program *start-up* sistem



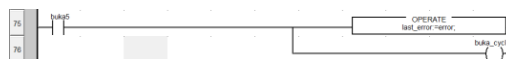
Gambar 10 Program *setting* parameter



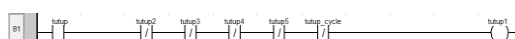
Gambar 11 Program kontrol pintu air



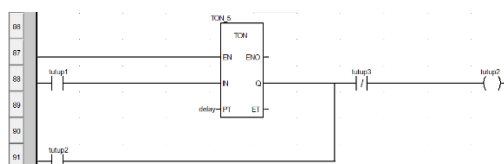
Gambar 12 Program *delay* motor buka pintu waduk



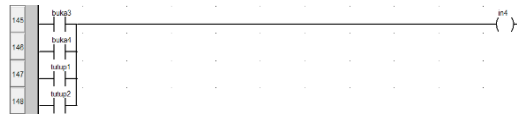
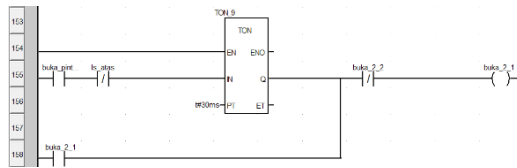
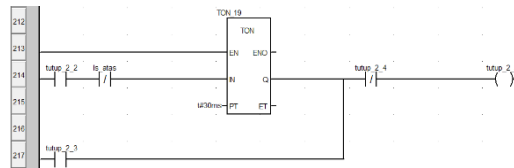
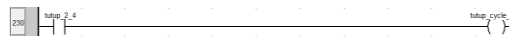
Gambar 13 Program konversi *error*



Gambar 14 Program *enable* tutup pintu waduk

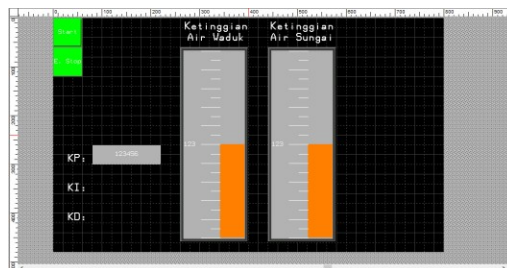


Gambar 15 Program *delay* motor tutup pintu waduk

Gambar 16 Program input *stepper motor* 1Gambar 17 Program *delay* motor buka pintu keduaGambar 18 Program *enable* buka pintu keduaGambar 19 Program *delay* motor buka pintu keduaGambar 20 Program *enable* tutup pintu kedua

3.4 Perancangan Tampilan *Human Machine Interface*

Human Machine Interface merupakan sebuah tampilan visual yang digunakan untuk melakukan fungsi control terhadap sistem seperti pengaturan parameter Kontrol PID, serta melakukan fungsi monitoring untuk memantau kondisi air dalam waduk dan di saluran pembuangan air. Perancangan *Human Machine Interface* (HMI) menggunakan perangkat lunak *Vijeo Designer Basic* dengan bahasa dasar pemrogramman C++. Tampilan utama HMI ditunjukkan Gambar 21.

Gambar 21 Tampilan utama *human machine interface* (HMI)

4. PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Pengujian Data Analog Input dan Digital Output

Hasil pengujian analog pembacaan analog pada water level, dan ketinggian air ditunjukkan Gambar 22 dan Gambar 23 sedangkan Pembacaan nilai digital output stepper motor pada Gambar 24.

sensor_air	403.0	REAL
sensor_air_2	213.0	REAL

Gambar 22 Pembacaan nilai analog *water-level*

ketinggian_air	3.224	REAL
ketinggian_air_2	1.704	REAL

Gambar 23 Pembacaan nilai ketinggian air

Selain itu, nilai *digital output* dapat dihasilkan disertai perubahan nilai *digital output* yang akan menggerakkan *stepper motor*.

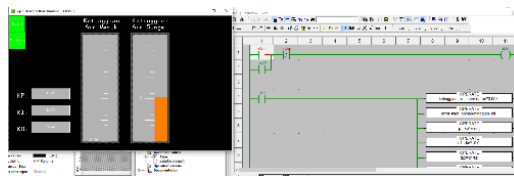
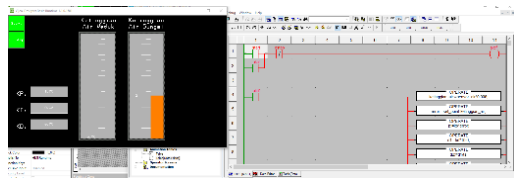
in1	0	EBOOL
in2	1	EBOOL
in3	1	EBOOL
in4	0	EBOOL

Gambar 24 Pembacaan nilai digital output *stepper motor*

4.2 Pengujian Simulasi Sistem

Pada bagian pengujian ini, *ladder diagram* pada PLC akan dihubungkan dengan *hardware*, dan juga dengan HMI. Prototipe akan diuji secara keseluruhan sistem. Pada pengujian pertama, tombol *start* dan *stop* dapat mengaktifkan dan menonaktifkan sistem sesuai dengan programnya.

Pada Gambar 25 dapat dilihat bahwa sistem dimulai dengan menekan tombol *start*. Pada Gambar 26 terlihat sistem akan berhenti saat menekan tombol *stop*.

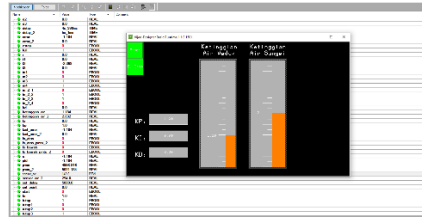
Gambar 25 Penekanan *start button*Gambar 26 Penekanan *stop button*

Pada Gambar 27 terlihat angkapada HMI mulai menunjukkan ketinggian air di dalam waduk yang terdeteksi oleh *water-level*, sehingga pintu utama akan terbuka sehingga *water-level* pada saluran pembuangan juga mendeteksi adanya cairan yang masuk.



Gambar 27 Simulasi sistem (1)

Setelah pintu utama terbuka beberapa saat, maka ketinggian air pada saluran pembuangan akan mulai naik, dan pintu utama akan tertutup setelah ketinggian air pada saluran pembuangan menyentuh ketinggian 2cm, dan pintu kedua akan mulai terbuka untuk mengeluarkan air dari dalam waduk. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 28



Gambar 28 Simulasi sistem (2)

Pada Gambar 29 ditunjukkan ketika sistem akhirnya mencapai kondisi stabil /transien yaitu saat *water-level sensor* didalam waduk tidak mendeteksi adanya cairan di dalam waduk. Kedua pintu akan tertutup dan sistem akan mengulang mekanisme ini terus menerus selama sistem dalam kondisi menyala.



Gambar 29 Simulasi sistem (3)

4.3 Pengujian Pengaruh Parameter PID Terhadap Waktu

Pada prototipe sistem ini, terdapat fitur untuk mengatur nilai KP, KI, dan KD yang menjadi parameter di dalam sistem kontrol PID melalui HMI. Pada proses simulasi, dapat dilihat nilai *delay* berubah-ubah sesuai dengan ketinggian air yang terdeteksi dan nilai KP, KI, dan KD yang diberikan. Nilai *delay* ini akan mempengaruhi seberapa cepat sistem akan mencapai kondisi transien. Pada gambar 34 dapat dilihat data yang diambil berdasarkan pemberian nilai KP, KI, dan KD terhadap nilai *delay* dan waktu untuk mencapai kondisi transien. Pada setiap percobaan dengan nilai konstanta berbeda, akan didapatkan nilai *rise time*, *settling time*, dan *steady-state time* yang memengaruhi kinerja sistem untuk mencapai titik transien. Rise time terbaik didapatkan pada konstanta KP = 3.5, KI = 2, dan KD = 1, dengan nilai *rise time* = 11,76 s, *settling time* = 13,95 s, dan *steady statetime* = 14,07 s. Pengaruh parameter PID terhadap *delay* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data parameter PID terhadap *delay*

KP	KI	KD	START DELAY	Waktu mencapai target
1	0	0	4,997 s	14,66 s
1	1	0	4,995 s	14,59 s
1	1	1	4,995 s	14,58 s
2	1	1	4,991 s	14, 27 s
2	2	0	4,990 s	14,19 s
2,5	1	0,5	4,990 s	14,15 s
2,5	1	0	4,990 s	14,20 s
3,5	2	0	4,985 s	13,97 s
3,5	2	1	4,985 s	13,95 s
4	2	0	4,983 s	13,77 s

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan dari perancangan prototipe sistem dan proses simulasi sistem serta analisis hasil uji dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Kinerja prototipe sistem beroperasi sesuai dengan perancangan seperti yang ditunjukkan pada perancangan dan pengujian sistem.
2. Ketinggian air di dalam waduk dan saluran pembuangan dapat dipantau dan dikontrol melalui HMI secara *real-time*, dan nilai KP, KI, KD dapat diganti melalui pemberian input di dalam HMI secara *real-time*.
3. PLC dan HMI dapat berkomunikasi melalui Ethernet.
4. Sistem mampu melakukan simulasi sistem pencegahan banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Harianto, "Waduk Kedungbrubus Meluap, Ratusan Rumah di Ngawi Dikepung Banjir," Detiknews, 14 4 2020. [Online]. Available: <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-4976139/waduk-kedungbrubus-meluap-ratusan-rumah-di-ngawi-dikepung-banjir>. [Accessed 14 11 2020].
- [2] A. Rompis, "Dua Waduk di Bolaang Mongondow Meluap, Tujuh Desa Tergenang," Tribun, 3 7 2020. [Online]. Available: <https://manado.tribunnews.com/2020/07/03/dua-waduk-di-bolaang-mongondow-meluap-tujuh-desa-tergenang>. [Accessed 14 11 2020].
- [3] A. S. Saputra, Teori Dasar PLC (edisi CX-Programmer), Jakarta , 2019.
- [4] Priswanto, D. T. Nugroho, Ramadhani, Yogi and H. Tegar, "Penerapan PLC HMI (Human Machine Interface) untuk Monitoring Objek pada Sistem Konveyor," *Jurnal Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Jendral Soedirman*, 2018.
- [5] I. Nugrahanto, "Pembuatan Water Level Sebagai Pengendali Water Pump Otomatis Berbasis Transistor," *jurnal Ilmu-Ilmu Teknik - Sistem*, vol. 13, no. 1, p. 59–70, 2017.
- [6] W. Kleitz , Digital Microprocessor Fundamentals: Theory and Applications, London: Prentice-Hall International, 1997.
- [7] A. S. Samosir, N. I. Tohir and A. Haris, "Rancang Bangun Catu Daya Digital Menggunakan Buck Converter Berbasis Mikrokontroler Arduino," *ELECTRICIAN*, vol. 11, no. 1, 2017.
- [8] Q. G. Wang, Z. Ye, W. J. Cai and C. C. Hang, PID Control for Multivariable Processes, Singapore: Springer Science & Business Media, 2008.
- [9] A. J. Wright, Ladder Logic Programming Fundamentals: Learn Ladder Logic Concepts Step By Step to Program Plc's On the Rslogix 5000 Platform 2nd ed, New York: Lulu Press,Inc, 2020.