

# Sistem PID Pengendali Level Ketinggian Air Berbasis *Modbus/TCP* - LCU dan *Industrial Field Control Node* - RTU

Sando Andre Simanullang<sup>1</sup>, Paula Santi Rudati<sup>2</sup>, Feriyonika<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : sando.andre.tecs13@polban.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : psrudati@polban.ac.id

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : feriyonika@gmail.com

## ABSTRAK

Perkembangan industri senantiasa melibatkan inovasi dan perubahan yang cepat untuk memenuhi kebutuhan manusia. Industri proses merupakan salah satu yang membutuhkan pengembangan teknologi pengendalian secara otomatisasi. *Water level control* merupakan salah satu pengendalian yang penting misalnya dalam proses industri pengelolaan air minum (PDAM), sistem pendingin, dan sebagainya. Dalam mengolah dan mengendalikan sistem secara otomatisasi dilakukan dengan menerapkan sistem kendali, salah satunya metode kendali PID. Selain itu, untuk mempermudah *monitoring* dibuat sebuah sistem *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*. Makalah ini membahas pengembangan sistem *Water level control* menggunakan sistem kendali PID dan mengintegrasikan dua buah teknologi berbeda berbasis industri yakni *Local Control Unit (LCU)* dari Advantech dan *Remote Terminal Unit (RTU)* dari Yokogawa. LCU terdiri dari ADAM 6018 sebagai *monitoring* temperatur, ADAM 6022 sebagai pengendali level air, dan ADAM 6024 sebagai *Safety Locking System* untuk menjaga batas minimum air pada 3 mbar. Kemudian, RTU yang digunakan adalah STARDOM FCN-RTU Yokogawa untuk mengakuisisi data dari LCU dan mengirimkannya pada sebuah *Main Terminal Unit (MTU)* berupa laptop sebagai *Human Machine Interface (HMI)* menggunakan perangkat lunak FAST/TOOLS dari Yokogawa. Keduanya dapat diintegrasikan menggunakan komunikasi Modbus TCP dan dikendalikan dengan parameter PID optimal sebesar  $K_p=5.1$ ,  $K_i=7.31$ , dan  $K_d=8.231$ .

## Kata Kunci

*Water Level Control, LCU, RTU, MTU, HMI, SCADA, PID.*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri senantiasa melibatkan inovasi dan perubahan yang cepat untuk memenuhi kebutuhan manusia. Salah satu industri yang memiliki peran penting adalah industri proses yang membutuhkan pengendalian parameter-parameter proses. *Water level control* merupakan salah satu pengendalian yang penting misalnya dalam proses industri pengelolaan air minum (PDAM), sistem pendingin, sistem boiler pada *oil and gas industry*, dan sebagainya.

*Water level control* merupakan salah satu penerapan teknologi yang dapat dikembangkan dalam bidang proses industri karena mampu mengendalikan dan mempertahankan kondisi air sesuai dengan yang diperlukan secara otomatis pada proses industri dengan kendali loop tertutup menggunakan kendali PID yang akan diterapkan pada sistem tersebut ditambah dengan sistem *supervisory control* dengan HMI SCADA yang memungkinkan proses *monitoring* secara real time, kontinyu, dan jarak jauh.

Kendali PID adalah salah satu metode kendali yang umum digunakan di industri karena memiliki nilai presisi yang cukup tinggi, mudah diaplikasikan, dan handal.

Kendali PID akan diaplikasikan pada sebuah *prototype water level control* yang dibuat sedemikian rupa agar mendekati standar industri. Oleh karena itu, *plant* tersebut

akan dikendalikan menggunakan kotroler berbasis industri dengan memiliki tiga buah *Local Control Unit*, sebuah *Remote Terminal Unit*, dan terintegrasi dengan *Human Machine Interface* sebagai *Main Terminal Unit*.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Dunia industri terus berkembang dengan sistem-sistem yang baru dalam bidang manufaktur, khususnya sistem kendali. *Water level control* merupakan salah satu sistem yang ada dalam dunia industri. Penelitian yang dilakukan oleh Antoni menggunakan PLC sebagai kontrolernya yang dihubungkan langsung ke *plant* [1]. Oleh sebab itu, penelitian tersebut dijadikan referensi penulis untuk dikembangkan pada penelitian ini dengan mengintegrasikan dua buah mikrokontroler berbasis industri yang berbeda.

Penelitian lainnya adalah yang dilakukan oleh Dian Anggraini dengan merancang sistem SCADA untuk mengendalikan level air menggunakan sensor *ultrasonic*. Penelitian tersebut menggunakan ATmega 8535 sebagai mikrokontrolernya [2]. Penelitian tersebut menjadi salah satu referensi untuk selanjutnya dikembangkan menggunakan mikrokontroler berbasis industri.

Penelitian selanjutnya adalah *Design of an Automatic Water Level Controller Using Mercury Float Switch* yang

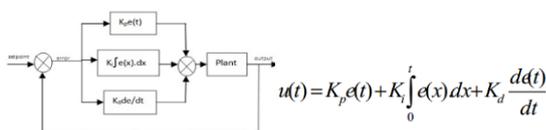
dilakukan oleh Erua dan Anyasi. Penelitian tersebut menggunakan kendali On-Off pada sebuah aktuator berupa motor pompa yang akan bekerja ketika tangki kosong dan berhenti ketika tangki penuh [3]. Penelitian tersebut digunakan sebagai bahan referensi untuk dikembangkan dengan kendali PID.

Berdasarkan beberapa literatur dan kajian pustaka penelitian dengan *plant water level control* memiliki peluang yang cukup besar untuk dikembangkan. Pengembangan yang dilakukan dengan mengintegrasikan kontroler berbasis industri yang berbeda yakni tiga buah LCU berupa ADAM 6018, ADAM 6022, dan ADAM 6024, serta sebuah RTU yaitu STARDOM FCN-RTU Yokogawa dengan mengimplementasikan kendali PID untuk memberikan respon yang cepat dan konsisten kemudian dihubungkan pada sebuah HMI SCADA untuk proses *monitoring* dan *remote access*.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Kendali PID

Kendali Proportional-Derivatif-Integral (PID) merupakan kendali yang relatif sederhana untuk diterapkan di industri. Selain itu, kendali ini cukup mudah untuk dirancang, biaya rendah, dan efektif. Parameter P, I, dan D mengacu pada domain waktu respon sistem dengan perhitungan nilai *error*. Nilai P mengacu pada error saat ini, nilai I mengacu pada akumulasi *error* sebelumnya dan nilai D berdasarkan prediksi *error* masa depan. Kemudian, keluaran kendali PID dihitung dengan menjumlahkan hasil dari nilai P, I, dan D yang dikalikan dengan *error*-nya masing-masing. Hasil akhir ditentukan oleh  $u(t)$  seperti persamaan pada gambar 1 [3]:



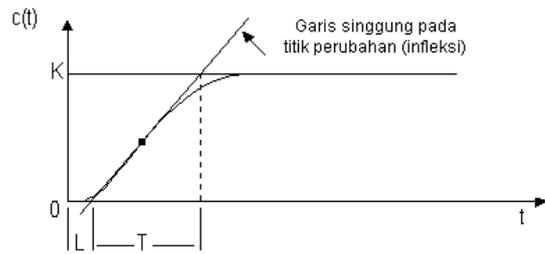
Gambar 1 Blok diagram PID [3]

### 2.2.2 Desain Kendali PID Menggunakan Metode Ziegler Nichols

#### • Metode Ziegler Nichols 1

Pemodelan kendali pada *plant* dengan pemodelan matematika tidak mudah, maka dikembangkan metode eksperimental, salah satunya adalah Ziegler Nichols 1. Metode ini didasarkan pada respon sistem terhadap nilai SV yang diberikan. Penalaan parameter kendali PID didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur. Dengan demikian betapapun rumitnya suatu *plant*, perilaku *plant* tersebut dapat diketahui terlebih dahulu sebelum penalaan parameter PID itu dilakukan.

Berikut garis besar untuk memperoleh nilai-nilai parameter dengan metode Ziegler Nichols 1: [3]



Gambar 2 Metode Ziegler-Nichols 1 [3]

Kurva berbentuk 's' mempunyai dua konstanta, waktu mati L dan waktu tunda T. Dari gambar 2 terlihat bahwa kurva realsi berubah naik, setelah selang waktu L sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai 66% dari keadaan mantapnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik awal L. [3]

Penalaan parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta itu. Tabel 1 merupakan rumus penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi. [3]

Tabel 1. Penalaan parameter PID dengan metode kurva reaksi [3]

Tipe Kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$T/L$	~	0
PI	$0.9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2 T/L$	$2L$	$0.5L$

### 2.2.3 Local Control Unit (LCU)

*Local Control Unit* adalah bagian dari sistem kendali jarak jauh yang dipasangkan pada transmitter atau transducer suatu sensor di lapangan untuk selanjutnya dihubungkan ke RTU.

### 2.2.4 Remote Terminal Unit (RTU)

*Remote Terminal Unit* (RTU) adalah salah satu bagian dari sistem kendali jarak jauh yang ditempatkan pada suatu *field* dan jauh dari *master station*. RTU berfungsi untuk mengambil informasi dari LCU di lapangan, kemudian dikirimkan ke MTU [4].

### 2.2.5 Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

*Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) adalah sistem *monitoring* yang dipakai untuk pengontrolan suatu proses pengendalian *plant*. Salah satu hal yang penting pada sistem SCADA adalah komunikasi data antara sistem remote dengan pusat kendali (*room control*) [5].

### 2.2.6 Komunikasi Modbus TCP/IP

*Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) yang merupakan gabungan dari protokol TCP dan IP sebagai sekelompok protokol yang mengatur komunikasi data dalam proses tukar-menukar data dari satu komputer

ke komputer lain di dalam jaringan internet yang akan memastikan pengiriman data sampai ke alamat yang dituju [6].

### 2.2.7 Stardom FCN-RTU Yokogawa

Stardom FCN-RTU Yokogawa merupakan sebuah RTU dengan konsumsi daya rendah yang dapat bekerja dengan baik pada suhu ekstrim antara  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $70^{\circ}\text{C}$ . Stardom FCN-RTU dapat diprogram dengan beberapa bahasa pemrograman yakni Ladder, Diagram Blok, Listing Program. Stardom FCN – RTU telah dilengkapi dengan port ethernet untuk komunikasi secara Modbus TCP.



Gambar 3. STARDOM FCN-RTU Yokogawa [7]

### 2.2.8 ADAM 6018, 6022, 6024 ADVANTECH

Sistem yang dibangun ini dilengkapi dengan tiga buah LCU yang terdiri dari beberapa modul ADAM series 6000 dari Advantech. Masing-masing modul memiliki peran dan fungsinya masing-masing.

ADAM 6018 merupakan sebuah modul yang berfungsi sebagai LCU untuk membaca nilai suhu dan mengirimkannya ke Stardom sebagai RTU. Pembacaan suhu oleh ADAM 6018 adalah hasil dari nilai pembacaan sensor suhu thermocouple.



Gambar 4. ADAM 6018 [8]

ADAM 6022 merupakan modul PID yang berfungsi untuk mengendalikan *plant* level air dengan kendali PID. Adam 6022 akan menerima perintah berupa nilai-nilai parameter dari stardom, selanjutnya berdasarkan parameter yang dikirim ADAM 6022 mengolahnya dengan mengkalkulasi dengan umpan balik dari *plant* yang dikendalikan.



Gambar 5. ADAM 6022 [8]

Modul terakhir yang digunakan sebagai LCU pada penelitian ini adalah ADAM 6024. ADAM 6024 merupakan modul ADAM sebagai LCU yang digunakan sebagai locking safety system. Modul ini akan memberi perintah pengunci ketinggian air ketika tinggi air mencapai batas atas atau bawahnya. Sistem ini digunakan sebagai keamanan sistem agar keadaan tangki tidak kosong dan mempertahankan keadaan air pada tingkat batas minimumnya. Modul ini akan mengaktifkan relay yang terhubung pada solenoid valve untuk mengunci aliran air.

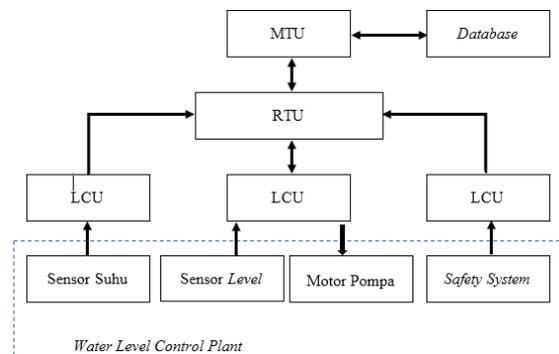


Gambar 6. ADAM 6024 [9]

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Blok Diagram

Tujuan blok diagram sistem adalah sebagai acuan dalam merancang kendali PID pada *water level control* agar sesuai dengan rancangan. Blok diagram sistem ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram Blok Sistem

Gambar 7 merupakan rancangan blok diagram dari alat yang akan dibuat. Alat yang akan dibuat memiliki tiga buah LCU yaitu Adam 6018, Adam 6022, dan Adam 6024 serta sebuah RTU yakni STARDOM FCN-RTU Yokogawa. Secara garis besar, alat akan dikendalikan oleh sebuah kontroler di RTU. Setelah itu RTU mengirim perintah ke LCU untuk dikerjakan oleh aktuator atau sensor. Sensor *level* air memberi *feedback* sebagai bahan referensi pengolahan data di RTU. Seluruh proses dapat di-*monitoring* dengan sistem HMI SCADA di MTU dengan perangkat lunak *FAST/Tool* dan perangkat keras berupa PC/Laptop. Selain itu, data dan proses yang berlangsung tersimpan dalam sebuah *database*.

### 3.2 Spesifikasi Sistem

Pada bagian ini menjelaskan mengenai unsur-unsur pembangun sistem yang dibuat berdasarkan prasyarat sebelumnya. Spesifikasi sistem diperlukan untuk memberi gambaran yang jelas dalam perancangan dan realisasi sebuah alat. Spesifikasi sistem yang dibuat adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Sistem

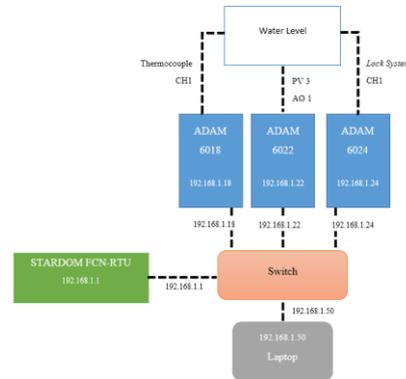
Nama	Keterangan
Catu Daya	- Power supply 3A/15V <sub>DC</sub> s.d. 15V <sub>DC</sub> - Power supply 5A/24V <sub>DC</sub>
Data input	- Analog (4-20mA) - Digital (contact)
Pengolah data	STARDOM FCN-RTU Yokogawa
Output Alat	- Kendali level air - Monitoring suhu dan aliran air - HMI SCADA
Bahasa Pemrograman	Blok diagram/listing program (Logic Designer) Yokogawa
Human Machine Interface (HMI)	FAST/Tool
Main Terminal Unit (MTU)	PC/Laptop
Remote Terminal Unit (RTU)	STARDOM FCN-RTU Yokogawa
Local Control Unit (LCU)	Advantech - Adam 6018 - Adam6022 - Adam6024
Fungsi Alat	- Automatic Water Level Control - Remote command and monitoring
Komunikasi	Modbus TCP/IP
Data Logger	PC atau Laptop

### 3.3 Perancangan Sistem

Proses perancangan sistem yang akan dibuat dibagi kedalam lima bagian, yaitu perancangan elektronik, perancangan mekanik, perancangan sistem kendali, perancangan perangkat lunak, dan perancangan tampilan Human Machine Interface (HMI).

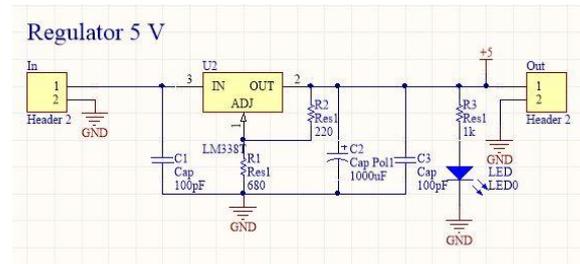
### 3.3.1 Perancangan Elektronika

Perancangan elektronika pada penelitian ini berupa wiring diagram yang menghubungkan antar modul, LCU, RTU, dan MTU. Penyambungan setiap komponen ditujukan pada gambar 8.



Gambar 8. Wiring Diagram

Selain perancangan elektronik berupa wiring diagram dirancang pula rangkaian regulator pada catu daya. Skematik perancangan dan layout regulator catu daya ditunjukkan pada gambar 9.



(a)

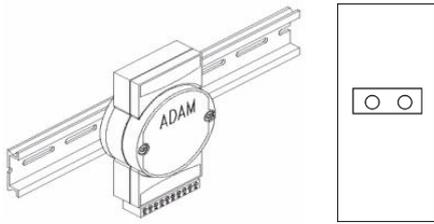


(b)

Gambar 9.a Skematik regulator dan 9.b Layout PCB regulator

### 3.3.2 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik dilakukan untuk merancang pengemasan alat-alat yang digunakan pada sistem pengendali tingkat ketinggian air, berupa box catu daya dan modul.



Gambar 10. Panel Mounting Adam



Gambar 11. Box catu daya

### 3.3.3 Perancangan Kendali

Perancangan kendali adalah perancangan untuk menerapkan kendali PID pada sistem penengendali tingkat ketinggian air yang dibuat dengan menggunakan metode Ziegler Nichols 1. Proses perancangan kendali dilakukan dengan menggunakan MatLab untuk memudahkan mendapat nilai awal parameter PID. Perancangan kendali tingkat ketinggian air yang menggunakan metode Ziegler Nichols 1 diatur secara *loop* tertutup dengan nilai  $K_p = 1$ .



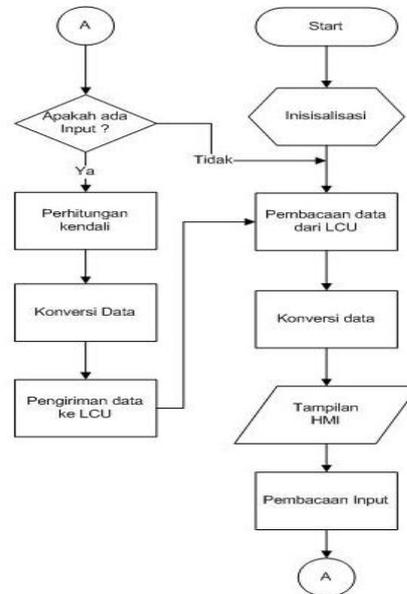
Gambar 12. Respon Sistem pada Proses Perancangan Kendali

Setelah respon didapat seperti gambar 13 kemudian ditarik garis lurus pada respon saat *steady state* kemudian ditarik garis tangen pada respon. Didapat nilai T dan L sehingga akan didapat nilai parameter  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  hasil awal perancangan. Selanjutnya nilai  $T_i$  dan  $T_d$  diolah dengan proses perhitungan sesuai dengan tabel 1 agar menjadi nilai  $K_i$  dan  $K_d$ . Hal tersebut dikarenakan LCU yang digunakan yakni Adam 6022 hanya dapat diberi parameter dalam bentuk nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ .

### 3.3.4 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak merupakan diagram alir dari program RTU yang akan dibuat. Perangkat lunak yang digunakan pada RTU adalah *Logic Designer* dari Yokogawa berupa kumpulan *function block* yang memiliki fungsi khusus. Diagram alir program untuk RTU ditunjukkan pada gambar 13.

### 3.3.5 Perancangan Human Machine Interface (HMI)



Gambar 13. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan tampilan HMI dibuat sesuai dengan fasilitas perangkat lunak yang akan digunakan yakni FAST/TOOLS. Pada perangkat lunak tersebut perancangan HMI akan diaplikasikan pada Edit Module. HMI dirancang agar mudah dipahami, nyaman dilihat, dan informatif. Selain itu, HMI dilengkapi dengan beberapa fitur yang dapat diakses oleh operator atau pengguna. Beberapa fitur tersebut adalah sebagai berikut:

- Animasi

Animasi digunakan untuk memberi tampilan HMI yang lebih menarik dan informatif untuk mempermudah operator atau pengguna.

- *Faceplate PID object*

*Faceplate* PID berfungsi sebagai tampilan yang digunakan untuk mengatur nilai-nilai parameter PID pada sistem.



Gambar 14. Faceplate PID object

- Security

HMI diberi fitur keamanan agar mengurangi kesalahan pengoperasian yang dapat menimbulkan kerusakan pada sistem.

- Alarm

Bunyi peringatan bahaya digunakan untuk memberitahukan pada operator bahwa terjadi kegagalan fungsi sistem pada *plant*.

- Database

Database merupakan fiur untuk menyimpan data yang berlangsung pada sistem *plant* yang beroperasi.

Dalam merealisasikan HMI dan membaca fungsi HMI, maka dibuat langkah perintahnya pada sebuah tabel sekuensial yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Sekuensial HMI pada *Water Level Control*

Symbol Tag	Comment Step	Bagian Input																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
L Operator Interface	Overview sistem	Y																					
L Next	Overview Next Button	Y																					
L User	Input User Name = Administrator				Y																		
L Password	Input Password = Administrator					Y																	
L Login	Input Password = Guest						Y																
L Startstop	Start/Stop Button						Y																
L_Silnu Air	ADAM 6017						Y																
L_Locking System	ADAM 6024						Y																
L_TangkalAir	ADAM 6022						Y																
L_TangkalAirAck	Tangkal Air Ack							Y															
L_LogOut	LogOut Button								Y														
Bagian Output																							
O_OverviewWindow	Window Overview																						
O_SecurityWindow	Window Login																						
O_MainWindow	Window Utama																						
O_Normal	Indikator Kondisi Normal																						
O_Warning	Indikator Kondisi Waspada																						
O_Overload	Indikator Kondisi Abnormal																						
O_Alarm	Lagu kondisi Abnormal																						
O_Start	Indikator Kondisi Sistem Bekerja																						
O_Stop	Indikator Kondisi Sistem Berhenti																						
Next Step	Then	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	1

### 3.3.6 Pengolahan Data

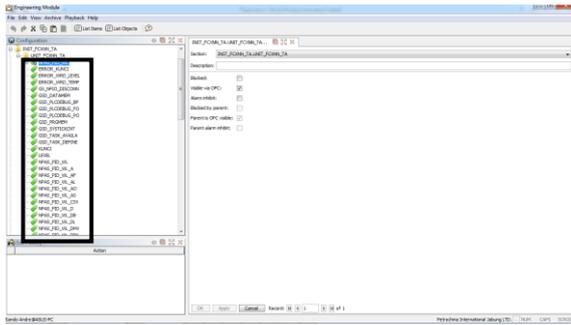
Pengolahan data dibagi menjadi dua bagian utama, yakni data kendali dan data sistem. Data kendali diolah oleh LCU ADAM 6022 untuk mengendalikan tingkat ketinggian air dengan kendali PID. Sedangkan data sistem diolah oleh STARDOM FCN RTU dengan masukan data mentah dari ADAM 6018, ADAM 6022, dan ADAM 6024 dengan hasil akhir sebagai informasi data kepada pengguna atau operator.

## 3.4 Realisasi dan Analisis Hasil Pengujian

### 3.4.1 Realisasi Integrasi Advantech dan Yokogawa

Realisasi integrasi dua teknologi industri berbeda adalah dengan menghubungkannya dengan komunikasi Modbus TCP. Keduanya dihubungkan dengan alamat IP Address yang diatur lalu dihubungkan melalui sebuah program menggunakan *function blok* pada perangkat lunak *Logic Designer* dari Yokogawa.

*Item* yang digunakan dalam menghubungkan keduanya ditampilkan pada gambar 15 dan alamat IP yang digunakan ditunjukkan pada tabel 4.



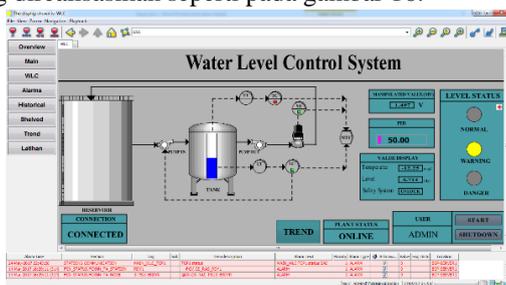
Gambar 15. Item yang diintegrasikan

Advantech yang terhubung dengan STARDOM	Parameter yang dikerjakan	IP Address
ADAM 6018	Pengukuran Temperatur	192.168.1.18
ADAM 6022	Kendali Level Air dan Pengukuran Level Air	192.168.1.22
ADAM 6024	Safety Locking System	192.168.1.24

Tabel 4. Koneksi alamat IP Stardom dengan Advantech ADAM

### 3.4.2 Realisasi HMI

Realisasi HMI menggunakan FAST/TOOLS Yokogawa. Dalam pembuatan HMI dibuat beberapa fungsi animasi seperti *alarm*, indikator *level* air dalam tangki, dan nilai-nilai yang diukur seperti *level* air dan temperatur. HMI yang direalisasikan seperti pada gambar 16.



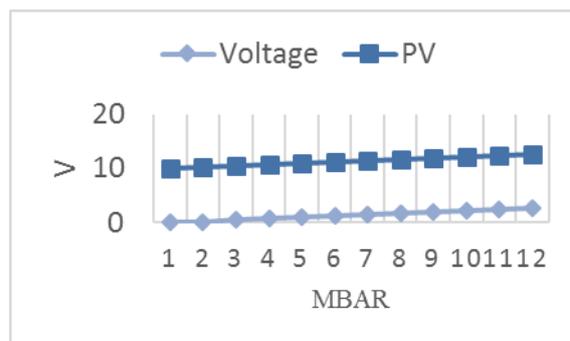
Gambar 16. HMI Water Level Control System

### 3.4.3 Analisis Pengujian Sensor

Sensor yang digunakan untuk mengukur *level* air adalah modul sensor *differential pressure transducer*. Cara kerja sensor tersebut adalah mengukur tekanan yang terisi pada tangki melalui sebuah membran yang memiliki tekanan acuan sebesar 1 atm. Lalu selisih tekanan air terhadap referensi (1 atm) diteruskan pada sebuah penguat (op-amp) untuk menghasilkan nilai keluaran berupa tegangan. Pengujian sensor dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran yang diberikan sensor dengan data seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Pengukuran uji sensor

Bar	Voltage (V)	PV	Selisih (V)	
0	0.027	10.026		
1	0.029	10.222	0.002	0.196
2	0.474	10.488	0.445	0.266
3	0.721	10.734	0.247	0.246
4	0.988	10.972	0.267	0.238
5	1.244	11.252	0.256	0.28
6	1.491	11.504	0.247	0.252
7	1.727	11.742	0.236	0.238
8	1.946	11.906	0.219	0.164
9	2.176	12.148	0.23	0.242
10	2.42	12.39	0.244	0.242
11	2.656	12.708	0.236	0.318
		Rata2	0.239	0.24382



Gambar 17. Grafik data sensor

### 3.4.4 Analisis Pengujian Kendali PID

Desain kendali yang digunakan untuk mencari nilai-nilai parameter PID adalah metode Ziegler Nichols 1. Perhitungan dengan menggunakan metode ZN1 ini dapat dilihat pada tabel 1 dan respon sistem yang dihitung ditunjukkan pada gambar 12. Adapun perhitungan parameter PID adalah sebagai berikut:

- **Perhitungan Waktu Matlab**

Karena waktu Matlab tidak sama dengan waktu real, maka perlu dilakukan perbandingan terlebih dahulu dengan persamaan:

$$Waktu Real = \frac{Waktu Real (stopwatch)}{Waktu MatLab} = \frac{8.75}{50} = 0.175 \text{ detik}$$

Berdasarkan gambar 13 pada uraian sebelumnya, maka dapat diketahui parameter T dan L seperti berikut:

$$L = (X1 - Xstep) \times 0.175 = (63.8 - 61.6) \times 0.175 = 0.385 \text{ detik}$$

$$T = (X2 - X1) \times 0.175 = (66.2 - 63.8) \times 0.175 = 0.42 \text{ detik}$$

Syarat desain PID dengan Ziegler Nichols 1 telah terpenuhi dari kedua parameter (L&T) di atas, maka nilai Kp, Ki, dan Kd dapat dicari menggunakan persamaan pada tabel 1.

$$Kp = 1.2 \times TL = 1.2 \times 0.42 \times 0.385 = 1.1$$

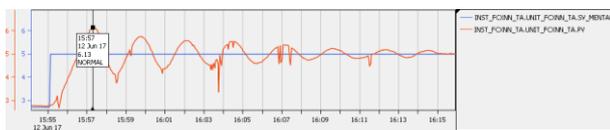
$$Ti = 2 \times L = 2 \times 0.385 = 0.84 \text{ maka } Ki \text{ menjadi:}$$

$$Ki = Kp / Ti = 1.1 / 0.84 = 1.31$$

$$Td = 0.5 \times L = 0.5 \times 0.385 = 0.21 \text{ maka,}$$

$$Kd = Kp \times Td = 1.1 \times 0.21 \text{ detik} = 0.231$$

Pengujian kendali PID berdasarkan hasil perancangan dan perhitungan sebelumnya diujikan pada LCU Adam 6022 dengan memberi SV=5 mBar menggunakan aplikasi FAST/TOOLS sehingga didapat hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Respon Sistem Awal Menggunakan ZN1

Pada respon awal sistem menggunakan ZN1 dapat dianalisis bahwa sistem awal tersebut memiliki nilai sebagai berikut:

1. *Settling time* = 727 detik
2. *Overshoot* =  $((6.13-5)/5) \times 100\% = 22.6\%$
3. *Rise time* = 151 detik

Berdasarkan analisis pada hasil perhitungan respon awal tersebut maka dapat dikatakan bahwa respon tersebut belum memenuhi respon sistem yang baik, karena memiliki nilai *Overshoot* > 10%. Sedangkan, nilai *rise time* dan *settling time* masih cukup lama dari yang diharapkan oleh penulis karena diharapkan sistem yang dibangun memiliki *rise time* dan *settling time* yang lebih cepat. Oleh sebab itu setelah didapat hasil respon berdasarkan ZN1, maka penulis melakukan proses *manual tuning* untuk mendapatkan hasil yang optimal.

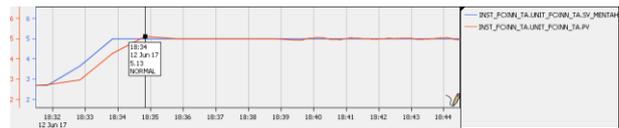
*Manual tuning* dilakukan dengan mengatur nilai-nilai parameter PID, yakni Kp, Ki, dan Kd berdasarkan pertimbangan yang disajikan pada Gambar 19.

Manual Tuning

Parameter	Rise Time	Overshoot	Settling Time	S-S Error
Kp	Berkurang	Bertambah	Minor Change	Berkurang
Ki	Berkurang	Bertambah	Bertambah	Menghilangkan
Kd	Minor Change	Berkurang	Berkurang	Minor Change

Gambar 19. Aturan *Manual Tuning* [10]

Berdasarkan aturan *manual tuning* pada gambar 19 maka diharapkan respon memiliki *settling time*, *overshoot*, dan *rise time* yang lebih kecil dibandingkan respon sistem hasil perancangan. Oleh sebab itu, maka nilai Kp, Ki, dan Kd diubah menjadi Kp = 3.1, Ki = 6.31, dan Kd = 7.231. Kemudian, setelah sistem diberikan nilai parameter yang baru didapat respon sistem seperti pada Gambar 20.



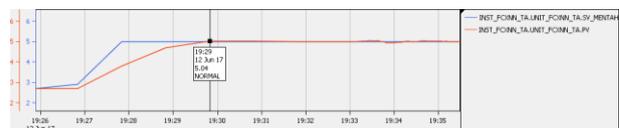
Gambar 20. Respon Sistem Hasil *Manual Tuning* Pertama

Pada respon sistem setelah *manual tuning* pertama dapat dianalisis bahwa sistem awal tersebut memiliki nilai sebagai berikut:

1. *Settling time* = 220 detik
2. *Overshoot* =  $((5.13-5)/5) \times 100\% = 2.6\%$
3. *Rise time* = 87 detik

Berdasarkan analisis pada hasil perhitungan respon sistem tersebut maka dapat dikatakan bahwa respon tersebut belum optimal, karena diharapkan *settling time*, *overshoot*, dan *rise time* memiliki nilai yang lebih kecil. Oleh sebab itu setelah didapat hasil respon sistem setelah *manual tuning* pertama, maka dilakukan proses *manual tuning* kedua untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

Mengacu pada *manual tuning* pada gambar 19 maka diharapkan respon memiliki *settling time*, *overshoot*, dan *rise time* yang lebih kecil dibandingkan *manual tuning* pertama. Oleh sebab itu, maka nilai Kp, Ki, dan Kd diubah menjadi Kp = 5.1, Ki = 7.31, dan Kd = 8.231. Setelah hasil perancangan dan *manual tuning* yang kedua maka didapat respon akhir yang cukup baik seperti pada gambar 21.



Gambar 21. Respon Akhir *Water Level Control System*

Pada respon sistem setelah *manual tuning* kedua dapat dianalisis bahwa sistem awal tersebut memiliki nilai sebagai berikut:

1. *Settling time* = 184 detik
2. *Overshoot* =  $((5.04-5)/5) \times 100\% = 0.8\%$
3. *Rise time* = 81 detik

Berdasarkan analisis pada hasil perhitungan respon sistem setelah *manual tuning* kedua tersebut maka dapat dikatakan bahwa respon tersebut sudah cukup optimal, karena *settling time*, *overshoot*, dan *rise time* memiliki nilai yang sesuai dengan yang diharapkan.

#### 4. DISKUSI

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengganti *Local Control Unit* menggunakan komunikasi lainnya seperti RS 485 ataupun *Wireless*.

Selain itu, sistem dapat dikembangkan dengan parameter yang dikendalikan lebih dari satu tidak hanya *level* air saja sehingga dapat pengembangan sistem yang baru yakni kendali secara *cascade*.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil uji coba yang didapat didapat kesimpulan sebagai berikut:

- Dua teknologi berbasis industri (LCU dan RTU) yang berbeda dapat diintegrasikan dengan komunikasi Modbus TCP.
- Sistem SCADA dapat diterapkan pada *Water Level Control System* sebagai fungsi *monitoring*.
- *Level* air dapat dikendalikan secara otomatisasi dengan menerapkan kendali PID.
- Parameter PID optimal adalah  $K_p=5.1$ ,  $K_i=7.31$ , dan  $K_d=8.231$ .

## 6. SARAN

Untuk pengembangan lebih lanjut pada sistem ini, dapat dilakukan beberapa hal yaitu:

- Mencoba kehandalan sistem pada *plant* yang lebih besar/*real*, sehingga dapat diuji kehandalannya sebagai sistem berbasis industri.
- Penyempurnaan fitur HMI sehingga lebih informative dengan memberi layanan akses pengguna yang lebih mudah pada menu *Operator Interface* di aplikasi Fast/Tools.
- Dalam menguji sensor *Differential Pressure Transducer* harus menggunakan referensi yang sama dengan cara ujung sensor tidak dibiarkan terisi udara.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada tim *Learning Center* Yokogawa sehingga penelitian dapat berjalan sebagaimana mestinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antoni Susiono HWHF. Aplikasi Scada System pada Miniatur Water Level Control. *Jurnal Teknik Elektro*. 2006; 6(1): p. 37-45.
- [2] Anggraini D. RANCANG BANGUN SISTEM SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION (SCADA) UNTUK PENGONTROL LEVEL AIR MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK. SEMARANG;; 2014.
- [3] Band EJ, Anyasi FI. Design of an Automatic Water Level Controller Using Mercury FLoat Mercury. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*. 2014 March-April; 9(2): p. 16-21.
- [4] Sustika R, Mahendra O. Pengembangan RTU (Remote Terminal Unit) untuk Sistem Kendali Jarak Jauh berbasis IP. *INKOM*. 2010 November; IV(2): p. 88-94.
- [5] Wikipedia. [Online].; 2016 [cited 2017 January 18]. Available from: <https://id.wikipedia.org/wiki/SCADA>.
- [6] Wikipedia. [Online].; 2016 [cited 2017 January 18]. Available from: [https://id.wikipedia.org/wiki/Suit\\_protokol\\_internet](https://id.wikipedia.org/wiki/Suit_protokol_internet).
- [7] STARDOM FCN\_RTU. Technical Report. Yokogawa

Japan, Engineering Department; 2010.

[8] ADAM 6022 Manual Book: Advantech.

[9] Adam 6000-series User Manual: Advantech; 2008.