

PEMBUATAN DESAIN SISTEM INSTRUMENTASI DAN KONTROL BERBASIS PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) PADA USSA-FT01

Yayang Apriyanto¹

¹Conoco Phillips Indonesia Inc. Ltd. Gedung Ratu Prabu 2, Jl. TB. Simatupang Kav.1B, Jakarta Selatan 12560

E-mail: yayang.apriyanto@conocophillips.com

ABSTRAK

PEMBUATAN SISTEM INSTRUMENTASI DAN KONTROL BERBASIS PLC PADA USSA-FT01. Kelebihan pengukuran dan pengontrolan parameter-parameter fasilitas uji USSA FT-01 secara elektronik dengan PLC antara lain proses pengukuran yang real time, hasil pengukuran yang akurat, dan proses pengontrolan bisa dilakukan secara otomatis tanpa campur tangan manusia. Proses pembuatan sistem instrumentasi dan kontrol diawali dengan penentuan desain sistem yang diinginkan. Berdasarkan desain awal tersebut kemudian dipilih peralatan pengukuran dan produk PLC yang sesuai dengan kebutuhan. Metode yang telah dilakukan, meliputi: (1) pembuatan desain sistem pengukuran dan kontrol USSA FT-01 dalam bentuk diagram instrumentasi, (2) penentuan skala engineering unit sinyal pengukuran yang dipakai, (3) pembuatan desain sistem alarm, (4) pembuatan desain pengontrolan level air tangki, temperatur cooler, temperatur heater, menerjemahkan ke dalam bahasa program ladder diagram, dan men-download program ladder diagram ke PLC, (5) pembuatan program HMI dan pengkomunikasian antara HMI dan PLC, (6) pembuatan desain dan perakitan (electrical wiring) panel USSA FT-01, (7) pembuatan prosedur pengoperasian fasilitas uji USSA FT-01. Terdapat deviasi pembacaan temperatur, level, pressure, dan flow antara sinyal simulator dan PLC. Deviasi ini disebabkan oleh tingkat ketelitian I/O PLC yang berbeda dengan simulator sinyal, proses perhitungan sinyal, dan keterbatasan display HMI. Respon pengontrolan pada level tangki dan temperatur cooler menyebabkan process variable yang berosilasi karena menggunakan jenis on-off control. Respon pengontrolan temperatur heater memungkinkan process variable stabil mendekati setpoint karena menggunakan jenis PID control. Berdasarkan hasil commissioning maka dapat disimpulkan, bahwa (1) Sistem pengukuran dan pengontrolan pada USSA FT-01 berbasis PLC diperoleh melalui beberapa tahap yaitu: pembuatan desain sistem pengukuran dan pengontrolan, penerjemahan sistem ke dalam program ladder diagram, pembuatan program HMI, pembuatan desain dan perakitan panel kontrol USSA FT-01; (2) dengan, (2.a) Setiap pengukuran memiliki deviasi yang disebabkan oleh keterbatasan ketelitian pengukuran; (2.b) Respon pengontrolan on dan off ini menghasilkan proses variable berosilasi; (2.c) Respon pengontrolan jenis PID dapat mengeliminasi process variable yang berosilasi jika dilakukan tuning respon PID yang tepat.

Kata kunci: Sistem Instrumentasi, kontrol berbasis PLC, USSA-FT01

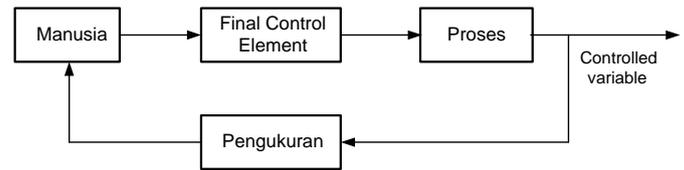
1. PENDAHULUAN

PT. Basuh Power Electric, mulai menempati gedung USSA-FT01 adalah suatu fasilitas uji yang dibuat oleh Fakultas Teknik UIKA Bogor untuk meneliti fenomena sirkulasi alamiah. USSA merupakan singkatan dari Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah. Parameter yang akan diukur pada fasilitas uji USSA-FT01 adalah temperatur *loop*, level tangki, laju aliran fluida pada *loop*, dan tekanan *loop*. Tiga parameter yang dikontrol pada fasilitas USSA FT-01 adalah temperatur keluaran dari pendingin, temperatur keluaran dari pemanas, dan level fluida pada tangki. Pengukuran dan pengontrolan parameter pada USSA-FT01 dapat dilakukan secara manual oleh seorang operator. Pengukuran dan pengontrolan secara manual memiliki kekurangan karena hanya mengandalkan

operator sehingga lambat dan tidak akurat. Metode pengukuran manual juga tidak memiliki fasilitas recording dan hanya mengandalkan check sheet dari operator [1].

Pengukuran pada USSA-FT01 dapat juga dilakukan dengan menggunakan peralatan elektronik seperti *thermocouple* untuk mengukur temperatur, level transmitter untuk mengukur level, pressure transmitter untuk mengukur tekanan, dan flow transmitter untuk mengukur laju aliran. Pengontrolan dapat dilakukan secara elektronik menggunakan Programmable Logic Controller (PLC). Semua parameter hasil pengukuran secara elektronik akan dimasukkan ke sistem PLC melalui input module sedangkan pengontrolan oleh PLC dilakukan melalui output module [2]. Sistem pengukuran dan pengontrolan

elektronik berbasis PLC ini memiliki beberapa keunggulan yaitu tingkat keakuratan pengukuran tinggi, pengontrolan dapat dilakukan secara otomatis tanpa campur tangan manusia, dan parameter hasil pengukuran dapat dikirim ke sistem akuisisi data untuk keperluan *recording* [3]. Pengukuran dan pengontrolan secara elektronik memiliki banyak kelebihan dibandingkan sistem *manual* sehingga perlu dilakukan pembuatan sistem instrumentasi dan kontrol berbasis PLC pada fasilitas uji USSA-FT01.



Gambar 1 Block diagram sistem pengontrolan manual

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem instrumentasi adalah bagian dari ilmu pengontrolan proses (*process control*). Ilmu pengontrolan proses (*process control*) sendiri terbagi menjadi dua bagian yaitu sistem pengontrolan proses (*process control system*) dan instrumentasi pengontrolan proses (*process control instrumentation*). Pembahasan tentang ilmu *process control instrumentation* lebih ditekankan pada penjelasan kerja alat sedangkan *process control system* pembahasannya lebih di pusatkan pada kerja sistem [1].

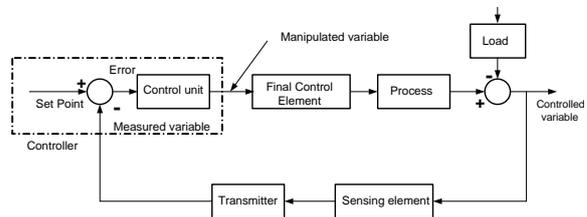
2.1 Sistem Pengukuran

Pengukuran adalah proses membandingkan sesuatu yang telah ditentukan sebagai standard dengan sesuatu yang belum diketahui untuk mendapatkan besaran kuantitatif dari sesuatu yang diukur tersebut. Unsur-unsur di dalam sistem pengukuran adalah [1]:

1. *Sensing element dan transmitter*,
2. Skala pengukuran,
3. *Accuracy* atau ketelitian,
 - a) Dalam variabel pengukurannya,
 - b) Dalam persentasi *span*,
 - c) Dalam persentasi skala maksimum (*full scale-FS*),
 - d) Dalam persentasi pembacaan.
4. *Repeatability dan reliability*.

2.2 Jenis-jenis Pengontrolan

Pengontrolan terdiri dari dua jenis yaitu pengontrolan secara manual (*open loop*) dan pengontrolan secara otomatis (*close loop*). Secara prinsip sistem kerja pengontrolan otomatis dan manual adalah sama. Kedua sistem tetap melakukan langkah mengukur – membandingkan – menghitung - mengkoreksi. Perbedaan pokoknya yaitu pada pengontrolan otomatis keempat langkah tersebut tidak lagi dikerjakan oleh manusia tetapi oleh sebuah *controller*. Blok diagram pengontrolan *manual* dan otomatis adalah seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2 [1].



Gambar 2 Block diagram sistem pengontrolan otomatis

2.3 Jenis-jenis Respon Pengontrolan Otomatis

Respon pengontrolan otomatis terdiri dari beberapa jenis diantaranya yaitu [1]:

1. Pengontrolan *on-off*

Pengontrolan *on-off* hanya bekerja pada dua keadaan yaitu *on* dan *off*. Bentuk *final control element*-nya dapat berupa kontaktor (*contact relay*) ataupun *on-off valve*. Salah satu contoh *on-off valve* adalah *solenoid valve*.

2. Pengontrolan *Proportional (P)*

Pengontrolan *P* merupakan salah satu jenis dari pengontrolan kontinu. Nilai *output* pengontrolan *P* seperti pada Persamaan 2.1. Blok diagram pengontrolan *P* seperti Gambar 3.

$$O = G_c \cdot e + B \dots \dots \dots (2.1),$$

dengan,
O = *output (manipulated variable)*,
G_c = *Gain*,
e = *error*, dan
B = *Bias*.



Gambar 3 Block diagram pengontrolan *proportional*

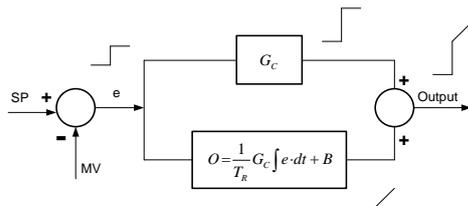
3. Pengontrolan *Proportional plus Integral (PI)*

Nilai *output* pengontrolan *PI* seperti pada Persamaan 2.2. Blok diagram pengontrolan *PI* seperti Gambar 4.

$$O = G_c \left(e + \frac{1}{T_R} \int e \cdot dt \right) + B \dots \dots \dots (2.2),$$

dengan,
O = *output (manipulated variable)*,
G_c = *Gain*,
e = *error*, dan

$B = \text{Bias}$.
 $T_R = \text{integral time}$

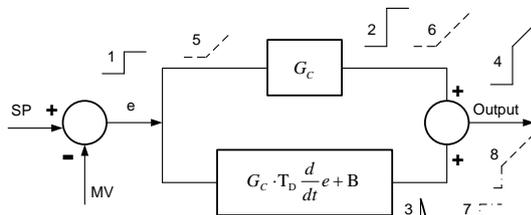


Gambar 4 Block diagram pengontrolan PI

3. Pengontrolan *Proportional plus Derivative (PD)*
 Nilai *output* pengontrolan *PD* seperti pada Persamaan 2.3. Blok diagram pengontrolan *PD* adalah seperti Gambar 5.

$$O = G_c(e + T_D \frac{d}{dt} e) + B \dots\dots\dots(2.3),$$

dengan,
 $O = \text{output (manipulated variable)}$,
 $G_c = \text{gain}$,
 $e = \text{error}$, dan
 $B = \text{bias}$.
 $T_D = \text{derivative time}$

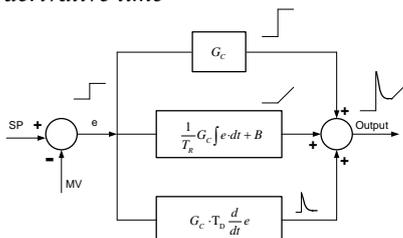


Gambar 5 Block diagram pengontrolan PD

4. Pengontrolan *Proportional, Integral, plus Derivative (PID)*
 Nilai *output* pengontrolan *PID* seperti pada Persamaan 2.4. Blok diagram pengontrolan *PID* seperti Gambar 6.

$$O = G_c(e + \frac{1}{T_R} \int e \cdot dt + T_D \frac{d}{dt} e) + B \dots\dots\dots(2.4),$$

dengan,
 $O = \text{output (manipulated variable)}$,
 $G_c = \text{gain}$,
 $e = \text{error}$, dan
 $B = \text{bias}$.
 $T_R = \text{integral time}$
 $T_D = \text{derivative time}$

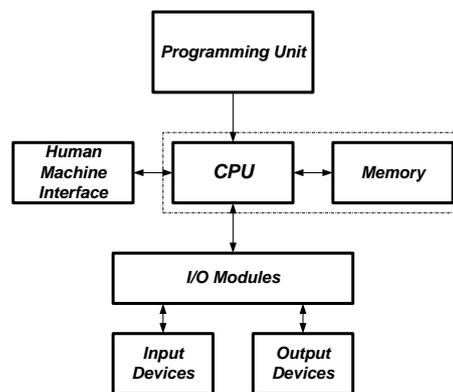


Gambar 6 Block diagram pengontrolan PID

2.4 Sistem Berbasis PLC

Programmable Logic Controllers (PLC) adalah komputer elektronik yang mudah digunakan (*user friendly*) yang memiliki fungsi kendali untuk berbagai tipe dan tingkat kesulitan yang beraneka ragam [10]. Definisi *Programmable Logic Controller* menurut Capiel (1982) adalah *sistem elektronik yang beroperasi secara digital dan didesain untuk pemakaian di lingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, perwaktuan, pencacahan dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O digital maupun analog* [10].

Sebuah *PLC* mempunyai konfigurasi yang tetap, walaupun dalam perkembangannya untuk saat ini ada berbagai peralatan penunjang pengoperasian *PLC*. Konfigurasi dasar dari sebuah *PLC* terdiri atas *Central Processing Unit (CPU)*, *Memory*, *I/O Module*, *Programming Unit*, *Human Machine Interface*, dan *Power Supply*. Konfigurasi *PLC* adalah seperti Gambar 7.



Gambar 7 Konfigurasi dasar PLC

3. METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai dalam membuat sistem pengukuran dan pengontrolan pada USSA FT-01 adalah:

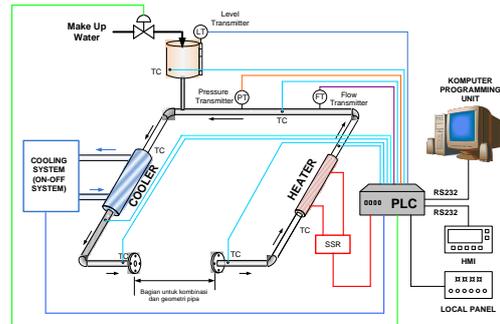
1. Pembuatan desain sistem pengukuran dan kontrol USSA FT-01.
2. Pembuatan desain sistem pengukuran dan kontrol USSA FT-01 dalam bentuk diagram instrumentasi.

3. Penentuan skala *engineering unit* untuk temperatur dan semua *transmitter* (*level*, *flow*, dan *pressure transmitter*). Sinyal *analog input* pada *PLC* akan dihitung dan dikonversi ke dalam data *digital* sesuai dengan *range* kerja skala *engineering unit* yang dipakai. Tahap ini juga dilakukan kalibrasi terhadap *I/O module PLC* dengan *calibrator* dan *multimeter* standar.
4. Pembuatan desain *alarm system* dan *safety interlock system* pada USSA FT-01 dengan program *ladder diagram*.
5. Pembuatan desain prinsip kerja pengukuran *level*, *cooler temp.*, *heater temp. control mode* dan konfigurasi *start-stop system* dengan program *ladder diagram*.
6. Pembuatan desain prinsip kerja sistem pengontrolan *level* air pada tangki USSA FT-01 dengan program *ladder diagram*.
7. Pembuatan desain prinsip kerja sistem pengontrolan *cooler outlet temperature* dengan program *ladder diagram*.
8. Pembuatan desain prinsip kerja sistem pengontrolan *heater outlet temperature* dengan program *ladder diagram*.
9. Pembuatan program *HMI display* dengan software *OP Series Edit Tools* Versi 6.5C. Program *HMI display* ini setelah selesai disusun kemudian di-download ke *PLC HMI* OP 320-A.
10. Pengkomunikasian *HMI* dengan *PLC*. Jenis komunikasi antara *HMI* dan *PLC* adalah RS-232 dengan format *modbus protocol*.
11. Pembuatan panel kontrol USSA FT-01.
12. Perancangan dan pembuatan *electrical wiring* USSA FT-01.
13. Pembuatan USSA FT-01 *standard operating procedure*.

4. HASIL DAN BAHASAN

4.1 Desain Sistem Pengukuran dan Pengontrolan USSA FT-01

Desain sistem pengukuran dan kontrol USSA FT-01 mengacu ke Gambar 4.1. Parameter yang diukur pada sistem USSA FT-01 adalah temperatur, *level* air di dalam tangki, laju aliran (*flow*), tekanan (*pressure*). Parameter temperatur diukur dengan menggunakan termokopel, *level* air tangki diukur dengan menggunakan *level transmitter*, laju aliran *loop* diukur dengan menggunakan *pressure transmitter*. Selain pengukuran parameter, USSA FT-01 mempunyai tiga proses pengontrolan utama yaitu proses pemanasan, proses pendinginan, dan proses pengontrolan *level* air pada tangki.

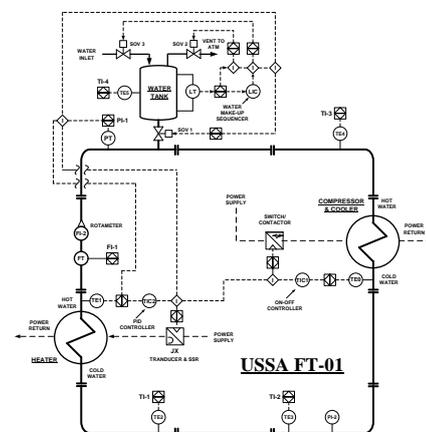


Gambar 8 Desain sistem pengukuran dan pengontrolan USSA FT-01

Proses pemanasan menggunakan *heater* listrik dan pengontrolan *heater* berdasarkan umpan balik negatif dari suhu keluaran pemanas. Proses pendinginan menggunakan sistem *refrigerant* dan pengontrolan *cooler* berdasarkan umpan balik negatif dari suhu keluaran *cooler*. Pengontrolan *level* air tangki adalah dengan cara menambah air jika *level* telah mencapai batas rendah (*low limit*). Pengisian air ke dalam tangki melalui *solenoid valve*. Semua data pengukuran dikirim ke *PLC*. Proses kontrol dan *interlock* dilakukan secara otomatis oleh *PLC*. *Operator* dapat me-monitor dan mengubah *setting* kontrol parameter melalui *HMI* dan *local panel*.

4.2 Desain Sistem Pengukuran dan Pengontrolan Dalam Bentuk Diagram Instrumentasi

Fenomena yang muncul pada USSA adalah temperatur fluida pada *loop*, *cooler*, *heater*, *tangki*, tekanan *loop*, laju aliran fluida di dalam *loop*, dan *level* fluida pada tangki. Mengacu pada fenomena tersebut maka perlu di buat diagram instrumentasi pengukuran dan pengontrolan seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Diagram instrumentasi USSA FT-01

Diagram instrumentasi adalah diagram yang berisi sistem pengukuran dan pengontrolan suatu proses dengan simbol-simbol instrumentasi. Diagram instrumentasi pada umumnya juga berisi

diagram alur sistem *interlock*. Diagram instrumentasi USSA-FT01 adalah seperti pada Gambar 4.2. Diagram tersebut menggambarkan pengukuran temperatur *cooler*, temperatur *heater*, temperatur *loop*, temperatur tangki, tekanan *loop* dengan *Pressure Transmitter (PT)*, laju aliran dengan *Flow Transmitter (FT)*. Selain sistem pengukuran ada tiga proses pengontrolan yaitu pengontrolan temperatur pendingin (*cooler*) dengan *Temperature Indicating Controller (TIC1)*, temperatur pemanas (*heater*) dengan *TIC2*, dan *level* air pada tangki dengan *LIC*. Ketiga *controller* tersebut dapat diposisikan *manual* dan *automatic*.

Jenis pengontrolan yang dipakai pada pengontrolan *level* tangki adalah jenis *on-off*. Jenis pengontrolan *on-off* dipilih karena proses pengontrolan *level* air tangki tidak terlalu berfluktuasi sehingga proses penambahan air cukup menggunakan *on-off valve* yaitu *solenoid valve*. *Solenoid valve* relatif jauh lebih murah dibandingkan dengan *control valve* pada pengontrolan kontinu.

Jenis pengontrolan temperatur *cooler* adalah jenis *on-off control*. Jenis pengontrolan *on-off* pada *cooler* dipilih sebagai alternatif terakhir karena ketiadaan *inverter* satu fasa untuk men-drive kompresor pada *cooler* di pasaran. *Final control element* yang dipakai pada pengontrolan cooler ini adalah *contactor*.

Jenis pengontrolan temperatur *heater* adalah jenis pengontrolan kontinu jenis *PID control*. Jenis *PID control* dipilih karena mempunyai respon pengontrolan yang lebih baik dibandingkan dengan *on-off control* jika dilakukan *tuning* dengan tepat. *Final control element* yang dipakai pada pengontrolan temperatur *heater* ini adalah *Solid State Relay (SSR)*.

4.3 Kinerja Sistem Pengukuran

1. Pengukuran temperatur.

Kinerja atau hasil pengukuran temperatur seperti pada Tabel 1 Pengukuran oleh PLC dibandingkan dengan temperatur *calibrator*.

Tabel 1 Hasil simulasi pengukuran temperatur PLC Thinget XC3 series menggunakan *Temperature Calibrator*

Calibrator	Cooler Temp.	Heater Temp.	TI-1	TI-2	TI-3	TI-4
°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
-15	-117	-	-	-	-	-
-12	-117	-	-	-	-	-
-10	-98	-	-	-	-	-
-5	-5.1	-	-	-	-	-
-1	-1.1	-	-	-	-	-
0	0.3	0.2	0.2	0	0.3	0.6
5	5.1	-	-	-	-	-
10	9.9	10.1	10.3	10.2	10.1	10.2
15	14.8	-	-	-	-	-
20	19.9	19.8	20.1	19.6	20.1	20.1
25	24.8	-	-	-	-	-
30	30.1	29.9	29.9	30.2	30.3	30.4
35	34.9	-	-	-	-	-
40	40.2	39.5	40.1	40.1	39.8	40.4
50	49.8	49.7	49.6	49.9	49.9	50.1
60	-	59.7	59.7	59.9	60.2	60.5
70	-	69.9	70.2	70	70.2	70.7
80	-	79.9	80	79.7	80.4	80.4
90	-	89.7	89.8	90.3	90.1	90.4
100	100.4	100.2	100.2	100.2	100.3	100.3
125	-	124.6	124.8	125.2	125.4	125.2
150	149.8	149.6	149.8	149.6	150.1	150.5
200	199	198.1	198.7	198.8	198.1	198.8
300	297.4	296.4	296.7	297.7	296.7	297.8
400	398.5	397.8	398.3	399.5	399.7	399.2
500	496.5	497.3	496.7	496.7	497	497.8
600	596.5	596	596	596.1	596.8	597.1
700	693.9	694.1	694.3	694.1	695.8	695.7
800	794.1	794.4	795	794.2	795.1	796
900	893.8	892.6	892.4	894	893	893.5
950	941	940.7	940.8	941.1	942.6	942.7

2. Pengukuran level.

Kinerja atau hasil pengukuran *level* seperti pada Tabel 2 Proses pensimulasian sinyal mengacu kepada *multimeter* standar.

Tabel 2 Hasil simulasi pengukuran *level* air tangki pada USSA FT-01

Teg. Input (Mtr)	Data ID 200 (teori)	Data ID 200 (aktual)	Perhitungan (%teori)	Pembacaan PLC (%aktual)	Deviasi (%)
0	0	0	0	0	0
1.25	4095	4072	25	25.4	0.4
2.5	8191	8162	50	51	1
3.75	12287	12252	75	76.5	1.5
5	16383	16344	100	102.1	2.1

Deviasi terbesar = 2.1%

Accuracy = 2.1%span

3. Pengukuran tekanan.

Kinerja atau hasil pengukuran tekanan seperti pada Tabel 3 Proses pensimulasian sinyal mengacu kepada *multimeter* standar.

Tabel 3 Hasil simulasi pengukuran tekanan *loop* pada USSA FT-01

Curr. Input (mA)	Data ID 202 (teori)	Data ID 202 (aktual)	Perhitungan (Bar-teori)	Pembacaan PLC (Bar-aktual)	Deviasi (Bar)
4.055	56	4	0.01	0	-0.01
8.015	4152	4068	1	0.9	-0.1
12.012	8203	8150	2	1.9	-0.1
15.99	12277	12220	2.99	2.9	-0.09
19.364	15732	15669	3.83	3.8	-0.03

Deviasi terbesar = -0.1 Bar,

Accuracy = 2.5%span

4. Pengukuran laju aliran.

Kinerja atau hasil pengukuran laju aliran seperti pada Tabel 4 Proses pensimulasian sinyal mengacu kepada *multimeter* standar.

Tabel 4 Hasil simulasi pengukuran laju aliran air pada *loop* USSA FT-01

Curr. Input (mA)	Data ID 201 (teori)	Data ID 201 (aktual)	Perhitungan (L/Mteori)	Pembacaan PLC (L/Maktual)	Deviasi (L/M)
4.057	58	4	0.01	0	-0.01
8	4095	4068	1.25	12	-0.05
12.06	8252.9	8150	2.51	24	-0.11
16.015	12302	12220	3.75	37	-0.05
19.69	16065	15669	4.9	4.8	-0.1

Deviasi terbesar = -0.11 LM

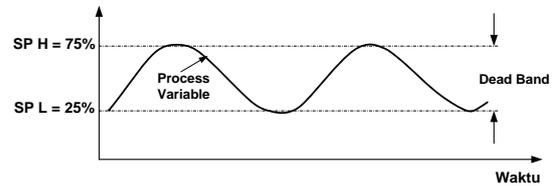
Accuracy = 2.2%span

4.4 Kinerja Sistem Pengontrolan

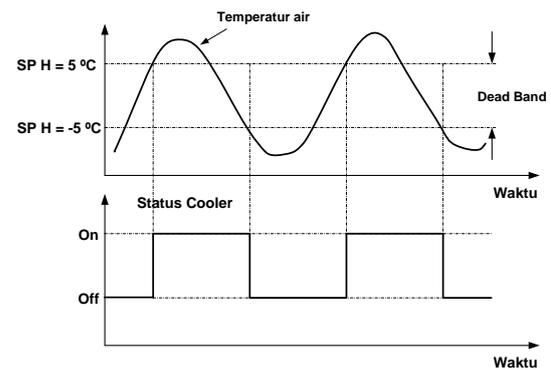
1. Pengontrolan *on-off* (*level* dan *cooler*).

Sistem USSA FT-01 mempunyai dua buah sistem pengontrolan *on-off* yaitu pengontrolan *level*

air tangki dan pengontrolan temperatur air keluaran *cooler*. Pengontrolan *on-off* adalah pengontrolan *discrete* sehingga hanya mengenal 2 kondisi yaitu *on* dan *off*. Hasil pengontrolan *on-off* akan selalu menghasilkan proses yang beresilasi. Kinerja pengontrolan *level* air tangki dan temperatur *cooler* seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10 Pengontrolan *level* air tangki



Gambar 11 Respon pengontrolan temperatur air keluaran *cooler*

2. Pengontrolan *PID* (*heater*).

Pengontrolan *Proportional Integral Derivative* (*PID*) adalah jenis pengontrolan *analog*. *Range* kerja pengontrolan *PID* adalah 0-100% *output*. *Mode* pengontrolan temperatur *heater* ada 2 yaitu *manual* dan *automatic*. Kontrol *PID* mengandung unsur *P*, *I*, dan *D*. *Feature* kontrol *PID* dapat dibangun dengan menghidupkan semua unsur *controller* pada instruksi *PID* di program *ladder diagram* PLC Thinget *XC3 series*. Inisialisasi data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

P = 50 %, unsur proporsional 50% atau gain = 0,5,

I = 5 menit, unsur *I*,

D = 2 menit, unsur *D*,

B = 50%, *bias*,

SP = 50 °C, *sepoint*, dan

PV = 49 °C *ramping* menuju 45 °C, *process variable*

adalah nilai *ramping down*.

Mengacu ke Persamaan 2.4 nilai *output* pengontrolan *PID* adalah sebagai berikut:

$$O = G_C \left(e + \frac{1}{T_R} \int e \cdot dt + T_D \frac{d}{dt} e \right) + B$$

Unit kontrol *D* pada *controller PID* tidak akan memberikan respon jika nilai *error*-nya konstan

sehingga perlu disimulasikan nilai *error* yang bersifat *ramping down*. PV bergerak turun dari 49 °C menuju 45 °C dengan laju tetap sebesar 1 °C per menit ($\frac{d}{dt}e(t) = 1t = t$). Nilai *output* untuk t0 s/d t5 adalah sebagai berikut:

$$O = (0,5 \cdot e(t)) + (0,5 \cdot \frac{1}{5} \int e(t) dt) + (0,5 \cdot 2 \cdot \frac{d}{dt}e(t)) + 50\%$$

$$O = (0,5 \cdot 1(t)) + (0,5 \cdot \frac{1}{5} \int 1(t) dt) + (0,5 \cdot 2 \cdot \frac{d}{dt}1(t)) + 50\%$$

$$O = (0,5 \cdot (t)) + (0,5 \cdot \frac{1}{5} \int (t) dt) + (0,5 \cdot 2 \cdot \frac{d}{dt}(t)) + 50\%$$

$$O = (0,5 \cdot t) + (0,5 \cdot \frac{1}{5} \int t dt) + (0,5 \cdot 2 \cdot \frac{dt}{dt}) + 50\%$$

$$= (0,5 \cdot t) + (0,5 \cdot 0,2 \cdot \frac{1}{2} t^2) + (0,5 \cdot 2 \cdot 1) + 50\%$$

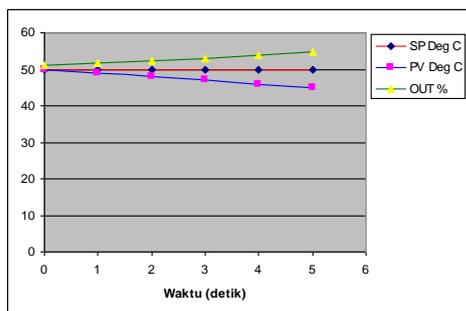
$$= 0,5t + 0,05 t^2 + 1 + 50\%.$$

Tabel nilai *output* pengontrolan *PID* dengan laju perubahan *error* sebesar 1 °C adalah seperti pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai *output* pengontrolan *PID* dengan laju perubahan *error* sebesar 1 °C per menit (PV *ramping down* dari 50 °C ke 45 °C)

T	SP	PV	e	e(t)	Output ($O=0,5t+0,05t^2+1+50$)
0	50	50	0	1t	51.00%
1	50	49	1	1t	51.55%
2	50	48	2	1t	52.20%
3	50	47	3	1t	52.95%
4	50	46	4	1t	53.80%
5	50	45	5	1t	54.75%

Kurva respon pengontrolan *PID* seperti Gambar 12.



Gambar 12 Kurva hubungan antara Set Point (SP), Process Variable (PV), dan Controller Output (CO) pada pengontrolan *PID*

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian:

- [1] Sistem pengukuran dan pengontrolan pada USSA FT-01 berbasis PLC diperoleh melalui beberapa tahap yaitu: pembuatan desain sistem pengukuran dan pengontrolan, penerjemahan sistem ke dalam program *ladder diagram*, pembuatan program *HMI*, pembuatan desain dan perakitan panel kontrol USSA FT-01.
- [2] Kinerja sistem pengukuran dan pengontrolan pada USSA FT-01 berbasis PLC Thinget XC3 series berdasarkan hasil *commissioning* dan proses simulasi sinyal *input* adalah sebagai berikut:
 - a) Ketelitian pembacaan temperatur adalah 0,04% *span* untuk *range* 0-100°C; 0,13% *span* untuk *range* 100-200°C; 0,36% *span* untuk *range* 200-500°C; 0,96% *span* untuk *range* 500-950°C. Ketelitian pembacaan *level* adalah 2,1% *span* untuk *range* pembacaan 0-100%. Ketelitian pembacaan tekanan adalah 2,5% *span* untuk *range* pembacaan 0-4 Bar. Ketelitian pembacaan laju adalah 2,2% *span* untuk *range* pembacaan 0-5 Liter/Menit. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan ketelitian pengukuran.
 - b) *On-off control* pada pengontrolan *level* tangki dan temperatur *cooler* menghasilkan respon pengontrolan *on* dan *off*. Respon *on* dan *off* ini menghasilkan *process variable* beresilasi.
 - c) *PID control* pada pengontrolan temperatur *heater* menghasilkan respon sinyal pengontrolan *analog* 0-100%. Respon sinyal 0-100% akan mengeliminasi *process variable* yang beresilasi jika dilakukan *tuning* respon *PID* yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunterus, Frans, *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 1994.
- [2] Tjokronegoro, Harijono A, *Programmable Logic Controller*, Laboratorium Instrumentasi dan Kontrol, Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung, 1994.

- [3] A. Abtokhi, *Sistem Akuisisi Data Berbasis Komputer PC pada Untai Uji Termohidrolika*, Sigma Epsilon, 1997.
- [4] Shinskey, F. G., *Process Control System (Application Design Adjustment)*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1988.
- [5] Ogata, Katsuhiko, *Modern Control Engineering Third Edition*, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1997.
- [6] Smith, C. A. and Corripio, Armando B., *Principles and Practice of Automatic Process Control Second Edition*, John Wiley and Son, Inc., New York, 1997.
- [7] IDC Technologies, *Practical Instrumentation for Automation and Process Control for Engineer and Technician*, IDC Technologies, Sydney, 2004.
- [8] Parr, E. A., *Programmable Logic Controller an Engineer Guide's Third Edition*, Newnes, Oxford, 2003.
- [9] PT Indocement Tunggal Prakarsa, *Diktat Training PLC Allen-Bradley, Technical Training Section* PT Indocement Tunggal Prakarsa, Bogor, 2005.
- [10] Pusdiklat Migas Cepu, *Diktat Training PLC, Instrument Technician Training Section* Pusdiklat Migas Cepu, Blora, 2007.
- [11] Coughlin, Robert F; Driscoll, Frederick F, *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear Edisi 2*, Erlangga, Jakarta, 1985.
- [12] Xinje Electronic Co., Ltd., *XC Series Edit Tools XCP Pro User Manual*, Xinje Electronic Co., Ltd, Wuxi Jiangsu, 2004.
- [13] Xinje Electronic Co., Ltd., *General XC3 PLC Hardware Specification Data Sheet*, Xinje Electronic Co., Ltd, Wuxi Jiangsu, 2004.
- [14] Xinje Electronic Co., Ltd., *OP Series Display User Manual*, Xinje Electronic Co., Ltd, Wuxi Jiangsu , 2004.
- [15] Xinje Electronic Co., Ltd., *XC Series Expansions With Special Functions Operate Manual*, Xinje Electronic Co., Ltd, Wuxi Jiangsu, 2004.