

TUGAS AKHIR - EE184801

**PERANCANGAN KONTROLER PID DENGAN METODE
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK SISTEM
PENGATURAN CASCADE LEVEL DAN FLOW PADA
PLANT PCT-100**

KHOIRUS FAUZI RAHMADHANI

NRP 07111840000029

Dosen Pembimbing

Eka Iskandar, ST., MT

NIP 198005282008121001

Program Studi Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - EE184801

**PERANCANGAN KONTROLER PID DENGAN METODE
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK SISTEM
PENGATURAN CASCADE LEVEL DAN FLOW PADA
PLANT PCT-100**

KHOIRUS FAUZI RAHMADHANI

NRP 07111840000029

Dosen Pembimbing

Eka Iskandar, ST., MT

NIP 198005282008121001

Program Studi Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - EE184801

PID CONTROLLER DESIGN WITH PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHOD FOR CASCADE LEVEL AND FLOW CONTROL SYSTEMS AT PLANT PCT-100

KHOIRUS FAUZI RAHMADHANI

NRP 07111840000029

Advisor

Eka Iskandar, ST., MT

NIP 198005282008121001

Study Program Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Intelligent Electrical and Information Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN KONTROLER PID DI DCS YOKOGAWA CENTUM VP UNTUK SISTEM PENGATURAN CASCADE LEVEL DAN FLOW PADA PLANT PCT-100

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Sistem Pengaturan
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: KHOIRUS FAUZI RAHMADHANI

NRP. 07111840000029

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | |
|-----------------------------------|---------------|
| 1. Eka Iskandar, ST., MT | Pembimbing |
| 2. Mohamad Abdul Hady, S.T., M.T. | Ko-pembimbing |
| 3. Nama dan gelar penguji | Penguji |
| 4. Nama dan gelar penguji | Penguji |
| 5. Nama dan gelar penguji | Penguji |

SURABAYA

Desember, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Khoirus Fauzi Rahmadhani / 07111840000029
Program studi : Teknik Sistem Pengaturan
Dosen Pembimbing / NIP : Eka Iskandar, ST., MT / 198005282008121001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “PERANCANGAN KONTROLER PID DENGAN METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK SISTEM PENGATURAN CASCADE LEVEL DAN FLOW PADA PLANT PCT-100” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 15 Desember 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing


Eka Iskandar, ST., MT
NIP. 198005282008121001

Mahasiswa


Khoirus Fauzi Rahmadhani
NRP. 07111840000029

ABSTRAK

PERANCANGAN KONTROLER PID DI DCS YOKOGAWA CENTUM VP UNTUK SISTEM PENGATURAN CASCADE LEVEL DAN FLOW PADA PLANT PCT-100

Nama Mahasiswa / NRP : Khoirus Fauzi Rahmadhani / 07111840000029
Departemen : Teknik Elektro FTEIC - ITS
Dosen Pembimbing : Eka Iskandar, ST., MT

Abstrak

Dalam sistem kontrol proses industri skala besar, variabel yang sering dikontrol adalah level cairan, laju aliran, suhu, dan tekanan. Lebih dari 90% aplikasi kontrol industri menggunakan kontroler PID untuk pengendalian otomatis. Namun terdapat controller PID masih belum optimal terutama adanya disturbance berupa ketidakstabilan sehingga output juga berubah. Kelemahan dari kontroler konvensional tidak dapat diabaikan karena sebagian besar industri berfokus pada akurasi, margin keuntungan, dan waktu operasi. Tujuan dari tugas akhir ini adalah merancang algoritma tuning PID dengan metode *particle swarm optimization* pada sistem pengaturan cascade level dan flow. Pada Inner Loop diperoleh besaran K_p , K_i , dan K_d yang dituning dengan PSO sebesar 20.8441, 10.0045, dan 5.8969 dengan indeks performansi ITAE sebesar 0.6534 dan ISE 0.2022. Memiliki Karakteristik sistem max overshoot 0.567%, Rise time 0.1544 detik dan Settling time 0.2473 detik. Pada Outer Loop diperoleh besaran K_p , K_i , dan K_d yang dituning dengan PSO sebesar 68.4639, 1.8237, dan 10.2855 memiliki indeks performansi error ITAE sebesar 1.51 dan ISE sebesar 0.5841. Sistem tersebut mengalami max overshoot sebesar 1.4001%, Rise Time 2.0383 detik, dan Settling time 3.2569 detik. Pada implementasi nyata kontroler PID dituning dengan PSO mampu menanggulangi gangguan yang ditimbulkan oleh bukaan valve

Kata kunci: *Level, Flow, PID, Particle Swarm Optimization, Cascade*

ABSTRACT

PID CONTROLLER DESIGN WITH PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHOD FOR CASCADE LEVEL AND FLOW CONTROL SYSTEMS AT PLANT PCT-100

Student Name / NRP : Khoirus Fauzi Rahmadhani / 07111840000029
Department : Teknik Elektro FTEIC - ITS
Advisor : Eka Iskandar, ST., MT

Abstract

In large-scale industrial process control systems, the variables that are often controlled are liquid level, flow rate, temperature, and pressure. More than 90% of industrial control applications use PID controllers for automated control. However, there is a PID controller that is still not optimal, especially if there is a disturbance in the form of instability so that the output also changes. The disadvantages of conventional controllers cannot be ignored as most of the industry focuses on accuracy, profit margins and uptime. The aim of this final project is to design a PID tuning algorithm using the particle swarm optimization method for a cascade level and flow control system. In the Inner Loop, the K_p , K_i , and K_d values were adjusted with a PSO of 20.8441, 10.0045, and 5.8969 with an ITAE performance index of 0.6534 and an ISE of 0.2022. Has the characteristics of a max overshoot system of 0.567%, Rise time of 0.1544 seconds and Settling time of 0.2473 seconds. In the Outer Loop, the K_p , K_i , and K_d values were adjusted with PSO of 68.4639, 1.8237, and 10.2855 with an ITAE error performance index of 1.51 and an ISE of 0.5841. The system experienced a max overshoot of 1.4001%, Rise Time of 2.0383 seconds, and Settling time of 3.2569 seconds. In the real implementation of the PID controller tuned with PSO is able to overcome the disturbance caused by the valve opening

Keywords: *Level, Flow, PID, Particle Swarm Optimization, Cascade*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SIMBOL.....	Error! Bookmark not defined.
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	Error! Bookmark not defined.
2.2 Plant PCT 100.....	4
2.3 Pemodelan <i>Plant</i> PCT-100	5
2.3.1 Pemodelan Pompa	7
2.3.2 Pemodelan Pipa	7
2.3.3 Pemodelan Tanki.....	7
2.3.4 Pemodelan Sensor	9
2.4 Pemodelan Sistem Dengan Menggunakan Kurva Reaksi	9
2.4.1 Menentukan jumlah dari parameter τ_{H1} dan τ_{H2}	10
2.4.2 Menentukan parameter t_1 dan Y_1	11
2.4.3 Menentukan parameter pada kurva Harriot.....	11
2.4.4 Menentukan parameter τ_{H1}	11
2.4.5 Menentukan Parameter τ_{H2}	11
2.4.6 Menentukan parameter TdH	11
2.5 Kontroler PID	12
2.6 Sistem Pengaturan <i>Cascade</i>	12
2.7 <i>Particle Swarm Optimization</i>	14
BAB 3 METODOLOGI	17

3.1	Metode yang digunakan.....	17
3.2	Bahan dan peralatan yang digunakan	18
3.2.1	Process Control Technology 100 Byotronics.....	18
3.2.2	Adam 5000 L TCP/IP.....	18
3.2.3	Matlab.....	19
3.2.4	Simulink	19
3.2.5	Personal Computer	20
3.3	Urutan pelaksanaan penelitian.....	20
3.3.1	Pemodelan Sistem Pengaturan Level pada PCT 100	20
3.3.2	Pemodelan Sistem Pengaturan Flow	21
3.3.3	Tuning PID Menggunakan pada Sistem Pengaturan Cascade	25
3.3.4	Tuning PID dengan Metode Particle Swarm Optimization	26
BAB 4	Hasil Penelitian dan Pembahasan.....	30
4.1	Hasil Pemodelan dari Sistem Pengaturan Level.....	30
4.2	Hasil Pemodelan dari Sistem dari Sistem Pengaturan Flow.....	30
4.3	Hasil Pengujian Tuning PID dengan PSO Inner Loop	32
4.3.1	Pengujian Variasi $w=0.4$	32
4.3.2	Pengujian Variasi $w=0.8$	34
4.3.3	Pengujian Variasi $w = 0.9$	35
4.3.4	Pengujian Jumlah Partikel (N) = 10	37
4.3.5	Pengujian Jumlah Partikel (N)=30	39
4.3.6	Pengujian Jumlah Partikel (N)=50	41
4.3.7	Pembahasan	43
4.3.8	Perbandingan Tuning PSO-PID dengan Ziegler Nichols pada Inner Loop Flow	45
4.4	Hasil Pengujian Tuning PID pada Outer Loop Level Plant	47
4.4.1	Hasil Tuning Outer Loop Menggunakan Ziegler Nichols	47
4.4.2	Hasil Tuning Outer Loop Menggunakan Particle Swarm Optimization.....	48
4.4.3	Pembahasan	50
4.5	Pengujian Hasil Tuning PSO-PID pada Sistem Cascade Level dan Flow Dengan Variasi Disturbance	51
4.5.1	Pengujian dengan Set Point 10 tanpa Disturbance.....	52
4.5.2	Pengujian dengan Set Point 10 Dengan Disturbance=0.5.....	53
4.5.3	Pengujian dengan Set Point 10 Dengan Disturbance = 1	53
4.5.4	Pengujian dengan Set Point 10 Dengan Disturbance = 3	54

4.5.5	Pembahasan Pengujian Pengujian Hasil Tuning PSO-PID pada Sistem Cascade Level dan Flow Dengan Variasi Disturbance	54
4.6	Hasil Implementasi Tuning PID Ziegler Nichols	55
4.7	Hasil Implementasi Tuning PID dengan Metode PSO	57
BAB 5	Kesimpulan dan Saran	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN		63
BIODATA PENULIS		74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Plant PCT 100.....	4
Gambar 2-2 Diagram P&ID Cascade Level dan Flow	6
Gambar 2-3 Diagram Proses Pemodelan Level	6
Gambar 2-4 Metode Linearisasi.....	8
Gambar 2-5 Harriot's Curve.....	10
Gambar 2-6 Diagram Cascade Control.....	13
Gambar 2-7 Flowchart Algoritma Particle Swarm Optimization	15
Gambar 3-1 Flowchart Diagram Alur Penelitian.....	17
Gambar 3-2 Module Control PCT 100	18
Gambar 3-3 ADAM Advantech 5000L/TCP	18
Gambar 3-4 Ikon Matlab.....	19
Gambar 3-5 Simulink.....	19
Gambar 3-6 Diagram Block Proses Identifikasi	22
Gambar 3-7 Grafik Response dalam bentuk bilangan Bit	23
Gambar 3-8 Grafik Respons Sistem Open Loop Flow	24
Gambar 3-9 Diagram Block Tuning PID-PSO Pada Sistem Pengaturan Cascade Level dan Flow	27
Gambar 4-1 Open Loop Response Level.....	30
Gambar 4-2 Respons Open Loop Flow	31
Gambar 4-3 Respon sistem pengaturan flow dituning dengan parameter $w=0.4$	33
Gambar 4-4 Respon sistem pengaturan flow setelah dituning dengan $w = 0.8$	35
Gambar 4-5 Respon sistem pengaturan flow setelah dituning dengan $w=0.9$	37
Gambar 4-6 Respon sistem pengaturan flow setelah dituning dengan $N=10$	39
Gambar 4-7 Respon sistem pengaturan flow setelah dituning dengan $N=30$	41
Gambar 4-8 Respon sistem pengaturan flow setelah dituning dengan $N=50$	43
Gambar 4-9 Hasil Respon Sistem Pengaturan Flow Tuning Dengan PSO-PID.....	45
Gambar 4-10 Hasil Respon Sistem Pengaturan Flow Tuning Dengan Ziegler Nichols....	46
Gambar 4-11 Hasil Tuning Outer Loop menggunakan Ziegler Nichols	47
Gambar 4-12 Hasil tuning Outer loop menggunakan PSO PID	49
Gambar 4-13 Block Diagram Simulink Sistem Pengaturan Cascade Level dan Flow	51
Gambar 4-14 Respon Sistem Tuning dengan Ziegler Nichols tanpa Gangguan	55
Gambar 4-15 Respon Sistem Tuning dengan Ziegler Nichols dengan Gangguan bukaan valve	56
Gambar 4-16 Respon Sistem tuning dengan PSO PID tanpa gangguan.....	57
Gambar 4-17 Respon Sistem tuning dengan PSO PID dengan gangguan bukaan valve...	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Spesifikasi PCT 100	5
Tabel 2-2 Tabel Konversi Satuan	6
Tabel 2-3 Karakteristik Kontroller PID	12
Tabel 3-1 Spesifikasi ADAM	19
Tabel 3-2 Spesifikasi Komputer yang Digunakan	20
Tabel 4-1 Karakteristik sistem open loop flow	31
Tabel 4-2 Hasil Tuning variasi w.....	43
Tabel 4-3 Hasil Tuning variasi N.....	44
Tabel 4-4 Perbandingan PSO PID dengan Ziegler Nichols pada Sistem Pengaturan Flow	46
Tabel 4-5 Karakteristik respon outer loop setelah dituning dengan PSO-PID	50
Tabel 4-6 Perbandingan Hasil tuning PSO PID dengan Ziegler Nichols pada outer loop 50	
Tabel 4-7 Perbandingan Performansi Sistem Tiap Disturbance	54

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sistem kontrol proses industri skala besar, variabel yang sering dikontrol adalah level cairan, laju aliran, suhu, tekanan dan sebagainya, yang sebagian besar merupakan fungsi non linier dari input kontrol. Namun, untuk menggunakan teknik kontrol linear secara umum proses nonlinier perlu didekati untuk mendapatkan model linierisasi, salah satunya adalah fungsi alih. (Wen et al., 2012). Masalah utama dalam industri pengolahan adalah pengaturan level dan aliran cairan. Saat ini, sering terjadi masalah dengan alat kontrol pada tangki reaktor selama proses pengaturan level dan aliran. Contohnya, kerusakan pada instrumen pengukur dan gangguan tak terduga. Hal ini tentu saja mempengaruhi operasi sistem kontrol level dan aliran cairan. Untuk mencapai kinerja yang baik dalam sistem pengaturan level dan aliran, diperlukan pengontrol yang mampu menangani masalah yang muncul dalam sistem, yaitu kontrolir PID. (Pritandi, 2016). Kontrolir proporsional-integral-derivatif (PID), yang merupakan algoritma kontrol *feedback*, telah banyak diterapkan dalam kontrol industri karena kinerja yang robust dalam berbagai kondisi operasi dan kemudahan fungsional. Lebih dari 90% aplikasi kontrol industri didasarkan pada mekanisme kontrol PID, seperti sistem robotika dan pengendalian otomatis. (Xiang et al., 2019)

Namun dalam system pengaturan yang terdapat controller PID masih belum optimal terutama adanya disturbance atau gangguan berupa ketidakstabilan laju aliran pada variable yang dimanipulasi sehingga output juga berubah. Kontrol kaskade adalah salah satu metode paling sukses untuk meningkatkan kinerja kontrol loop tunggal dengan menstabilkan, mengurangi osilasi dan kesalahan integral dari gangguan pada variabel yang dimanipulasi (Tridianto et al., 2017). Sistem pengaturan kaskade pada umumnya masih menggunakan controller PID konvensional pada industri proses terutama untuk mengatur level dan aliran. Kelemahan dari pengontrol konvensional tidak dapat diabaikan karena sebagian besar industri berfokus pada akurasi, margin keuntungan, dan waktu operasi. (Guong et al., 2018). Terinspirasi oleh perilaku sosial kawanan burung dan kelompok ikan, PSO diusulkan sebagai metaheuristik berbasis populasi teknik optimasi untuk solusi dari berbagai fungsi nonlinier dan masalah optimisasi. Sudah beberapa tahun, PSO terbukti cukup populer di berbagai bidang terutama karena sederhana, *Robustness*, dan *high dimensionality* (Pano & Ouyang, 2014). Terdapat penelitian yang membahas perihal *Particle Swarm Optimization* diantaranya adalah PSO digunakan untuk desain yang optimal pengontrol PID untuk gerakan DC brushless linier (Ibrahim et al., 2014), dan Pengendalian PID multi-objektif Berdasarkan PSO Dengan aplikasi ke steam Pengendalian suhu di Boiler (Kumar et al., 2010).

1.2 Rumusan Masalah

Pada industri proses sering dijumpai system pengaturan kaskade dimana salah satunya adalah Sistem Pengaturan Kaskade Level dan *Flow* atau aliran. Sistem pengaturan kaskade terdiri dari inner loop dan outer loop dimana masing-masing terdapat kontroler PID, karena Sebagian besar industri sekarang berfokus pada akurasi, margin keuntungan dan waktu operasi maka tuning PID konvensional belum optimal dalam menyelesaikan masalah tersebut. Oleh karena itu diperlukan cara tuning PID dengan Algoritma PSO untuk mendapatkan hasil yang optimal. Rumusan masalah pada Tugas Akhir ini adalah bagaimana cara menala controller PID

dengan algoritma Particle Swarm Optimization dan Bagaimana respons system setelah *detuning* dengan Algoritma PSO tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Dalam melaksanakan Tugas Akhir ini, terdapat berbagai batasan masalah yang perlu diperhatikan, diantaranya sebagai berikut:

1. *Plant* yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah PCT 100 dengan system yang digunakan adalah Sistem Pengaturan Level dan Sistem Pengaturan Flow yang selanjutnya dimodelkan persamaan model linear fungsi alih.
2. Implementasi simulasi dan pengujian dengan menggunakan simulator MATLAB dan SIMULINK.
3. Parameter yang digunakan pada Particle Swarm Optimization dibuat tetap yakni $c1=1.5$, $c2=1$, iterasi maksimal =100, dan batas search space nilai 0 sampai dengan 100.

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Merancang algoritma tuning PID dengan metode particle swarm optimization sehingga di dapat nilai optimal dari masing-masing controller Proportional, Integral dan Derivatif.
2. Mengetahui Respons system setelah dituning dengan PID controller menggunakan metode particle swarm optimization serta dianalisa karakteristik respons sistem

1.5 Manfaat

Manfaat penelitian ini diharapkan tuning PID berbasis Particle Swarm Optimization pada sistem pengaturan kaskade level dan flow dapat menjadi solusi optimal pada permasalahan tuning PID konvensional dan dapat diaplikasikan dalam industri control proses, serta sebagai referensi pada penelitian selanjutnya.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plant PCT 100

Process Control Technology atau biasa disebut *PCT-100* adalah sebuah *plant* mewakili suatu sistem yang biasanya ditemukan di industri proses. Pada plant ini terdiri dari Modul Proses, Konsol Kontrol dengan Catu Daya, dan perangkat lunak kontrol interaktif.



Gambar 2-1 Plant PCT 100

Konsol Kontrol merupakan representasi dari modul proses yang terletak pada bagian depan dan terdapat *fault switch* dan titik uji. Konsol Kontrol terdapat koneksi untuk memungkinkan kontrol pada *Personal Computer* dengan menggunakan kabel (USB) dan PLC atau pengontrol PID. Pada plant PCT 100 terdapat cairan yang terkandung dalam *sump tank* dipompa di sekitar sistem ke dalam tangki proses di mana level, temperatur dan tekanan dapat dikontrol. Dalam tangki proses, level diukur menggunakan sensor magnetostriktif 0-10 Volt; tekanan diukur menggunakan sensor gauge 0-5 bar; dan PT1000 digunakan untuk mengukur suhu di tangki bah dan tangki proses. Sensor laju aliran turbin digunakan untuk mengukur laju aliran dalam sistem. Katup pengalih dapat digunakan untuk mengarahkan cairan melalui proses pendinginan udara untuk mendinginkan cairan dalam sistem. Dua katup proporsional digunakan untuk mengontrol aliran masuk dan keluar dari tangki proses, katup jarum yang dapat disesuaikan secara manual digunakan untuk menambah gangguan pada sistem dan katup pelepas tekanan yang dipasang untuk keselamatan.

Data yang dikumpulkan dapat ditampilkan pada LCD yang dipasang pada Modul Proses dan melalui perangkat lunak data dapat dipantau, disimpan maupun dicetak. Perangkat lunak pada modul ini digunakan sebagai modul untuk belajar kontroler PID dan menyediakan fitur *monitoring* serta akuisisi data dengan beberapa fitur yang sedang tren.

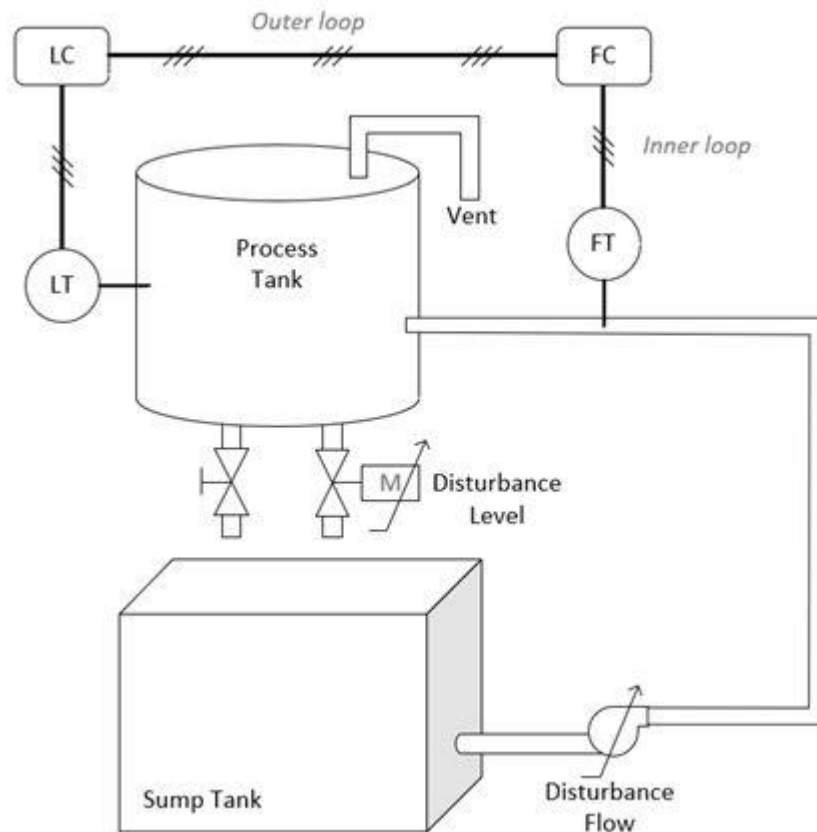
Pada PCT-100 ini terdapat modul untuk pengaturan dan eksekusi siklus proses, hingga optimalisasi pengontrol PID dengan memperkirakan parameter P, PI, dan PID menggunakan kurva reaksi proses Ziegler Nichols atau metode siklus akhir. (Bytronic Limited, n.d.)

Tabel 2-1 Spesifikasi PCT 100

Specification	
Process Module	
Sump tank volume	8 L
Process tank volume	4.5 L
Heating element power	48v dc 400W
Control elements	2 x Proportional valves
	1 x Manually adjustable needle valve
Pump	24v 0.5amp 6 Litres per minute with 1.5 bar safety cut-out
Cooling system	Radiator with forced air cooling
Maximum flow rate	2.7 Litres per minute
Level transducer	Magnetostrictive position sensor 0 – 10v
Pressure transducer	Gage 0 – 5 bar (0 – 2 bar is used as the range for laboratory exercises)
Number of LCD displays	5 x level, process tank and sump tank temperature, pressure and flow rate
Indicators	4 x heater on, drain valve open, diverter solenoid active and cooler active
Control Console	
Number of fault switches	6 x Illuminated
Test Points	5 x heater, level, temp; sump tank and process tank, flow rate
Indicators	6 x heater, drain , flow and diverter solenoid, pump and cooler active
	Graphical representation of Process Module
Connections	1 x 15 way 'D' connector and 1 x 25 way 'D' connector
	1 x power connector for heater
	1 x USB connection
	1 x Mains power connector
Actuator voltage	24Vdc
Power Supply voltage	100-250V AC @ 50/60Hz.
Approximate weight	42Kg
Approximate dimensions	100x76x40cm
Software	Windows based software with SCADA type interface. PID and Manual Control of Flow, Level. Temperature, Pressure, Open Loop and Batch. Data logging with printing and saving features

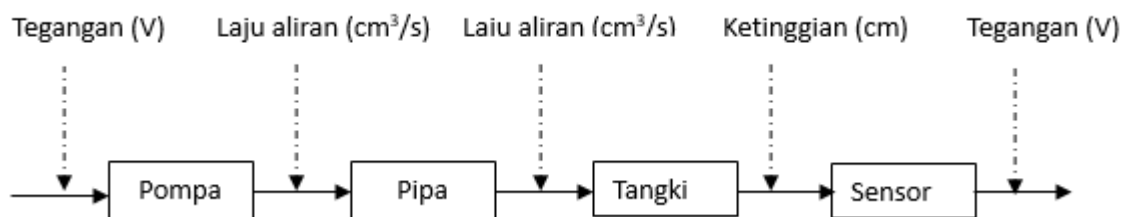
2.2 Pemodelan *Plant* PCT-100

Pada PCT-100 *plant* yang digunakan pada Gambar 2.1 menggambarkan proses pada sistem pengaturan level atau ketinggian suatu fluida. Adapun proses pengaturan level berupa pengisian tangka reaksi yang dilakukan oleh pompa sedangkan pembuangan fluida dilakukan oleh kontrol *valve* dan variabel *valve* pada PCT-100, kedua proses tersebut jika digabungkan maka akan mengontrol luaran pada sistem yakni sistem pengaturan level.



Gambar 2-2 Diagram P&ID Cascade Level dan Flow

Proses pengaturan level digambarkan dengan menggunakan diagram alir pada Gambar (Ket). Pemodelan ini dimulai dari pemodelan pompa, pemodelan pipa, pemodelan tangka, dan pemodelan sensor. Adapun diagram alirnya adalah:



Gambar 2-3 Diagram Proses Pemodelan Level

Parameter yang diperlukan dalam pemodelan *plant* terdapat pada Tabel 2.2 beserta keterangan dan satuan yang digunakan nilainya diambil dari *data sheet* dan pengukuran langsung pada *plant* PCT-100.

Tabel 2-2 Tabel Konversi Satuan

Simbol	Keterangan	Satuan
Q_{in}	Debit air yang masuk ke dalam tangka	cm^3 / s
Q_{out}	Debit air yang keluar dari tangka	cm^3 / s
Q	Debit air dalam tangka	cm^3 / s
H	Ketinggian air dalam tangki	Cm

A	Luas alas tanki	cm^2
a	Diameter pipa	cm
h_0	Ketinggian air awal pada saat titik operasi	cm
Q_0	Laju aliran keluar saat kondisi di titik operasi	cm^3 / s
R	Resistansi <i>control valve</i>	s / cm
C	Kapaistansi tangka	cm^2
L	Panjang pipa	cm
θ	Waktu tunda	Detik

Untuk memperoleh model *plant* PCT 100 terutama sistem pengaturan level maka dalam prosesnya harus digunakan persamaan atau formula untuk memodelkan Pompa, Pipa, Tangki dan Sensor adapun formulanya adalah sebagai berikut.

2.2.1 Pemodelan Pompa

Pada pemodelan pompa ini bertujuan untuk mendapatkan nilai penguatan dari pompa yang dilambangkan dengan K1 serta dirumuskan melalui persamaan 2.1

$$K1 = \frac{\text{Rentang debit air yang keluar dari pompa } (\frac{cm^3}{s})}{\text{Rentang tegangan masukan (V)}} \quad (2.1)$$

2.2.2 Pemodelan Pipa

Tujuan dalam pemodelan pipa ini adalah untuk mengetahui besarnya waktu tunda yang diakibatkan oleh panjang pipa. Hubungan waktu tunda dengan panjang pipa dapat dirumuskan dalam persamaan berikut

$$\theta = \frac{\text{Volume Pipa } (cm^3)}{\text{Debit air yang masuk pada pipa } (cm^3/s)} \quad (2.2)$$

Persamaan di atas dapat dibawa ke sistem pengaturan level dimana hubungan antara debit air yang dikeluarkan oleh pompa dan debit air yang masuk ke tangki adalah sebagai berikut

$$\frac{Q_{inT}}{Q_{outP}} = e^{-\theta s} \quad (2.3)$$

2.2.3 Pemodelan Tanki

Pada sebuah tangki reaksi sistem pengaturan level proses yang terjadi pada umumnya terdiri dari pengumpanan dan pembuangan air. Proses pengumpanan bertujuan untuk menambah volume air sedangkan proses pembuangan akan mengurangi volume air pada tangka reaksi. Parameter utama yang digunakan dalam sistem reservoir air berupa kapasitansi tanki dan resistansi jalur pembuangan. Kapasitansi reservoir didefinisikan sebagai besar perubahan volume cairan yang diperlukan untuk membuat perubahan ketinggian sebesar satu satuan (Ogata, 2010). Kapasitansi suatu tangki atau reservoir sama dengan luas permukaan penampang tangki atau reservoir tersebut. Jika luas penampang konstan maka nilai kapasitansi juga konstan

$$C = \frac{\text{perubahan volume cairan}(cm^3)}{\text{perubahan ketinggian cairan } (cm)} \quad (2.4)$$

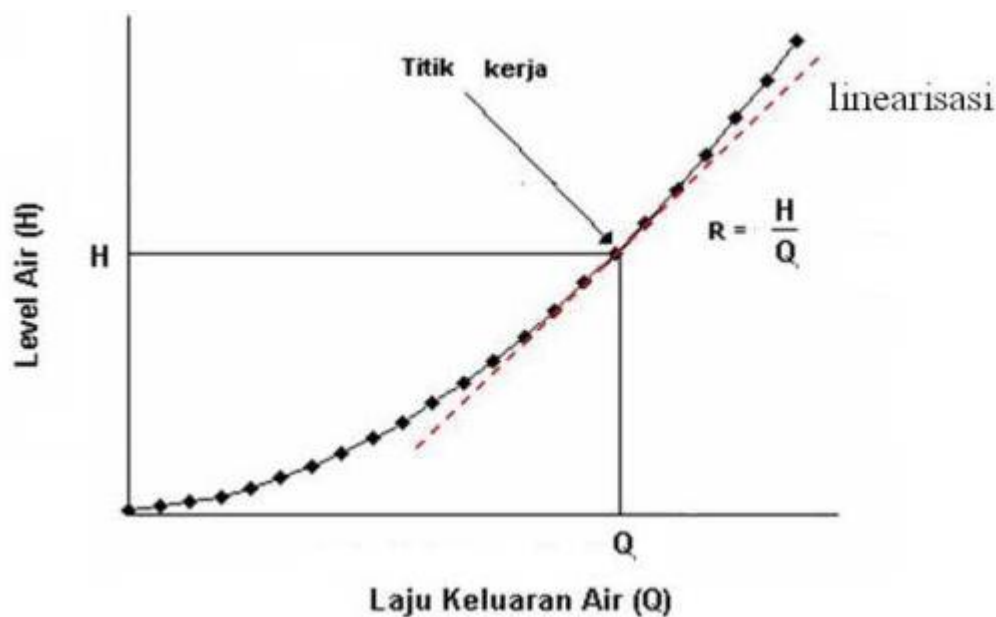
$$C = \text{Luas penampang tanki} = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.5)$$

Berdasarkan asumsi tersebut maka persamaan kesetimbangan massa adalah sebagai berikut:

$$Q_i - Q_0 = C \frac{dh}{dt}$$

$$Q_i - A_0 \sqrt{2gh} = C \frac{dh}{dt}$$

Dengan demikian sistem tangki air sebenarnya merupakan sistem yang tidak linier. Pada umumnya linierisasi dapat dilakukan untuk sistem pengendalian level air dengan daerah kerja ketinggian level yang sudah ditetapkan, sehingga linierisasi nilai resistansi dapat dilakukan (Kawasan et al., 2011). Metode linierisasi ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini



Gambar 2-4 Metode Linearisasi

Untuk melakukan linearisasi berdasarkan grafik di atas maka diperoleh persamaan yang dinyatakan sebagai berikut

$$R = \frac{\text{perubahan tinggi muka (cm)}}{\text{perubahan laju aliran (cm}^3/\text{s)}} \quad (2.6)$$

$$R = \frac{H_{\text{titik kerja}}}{Q_{\text{titik kerja}}} \quad (2.7)$$

$$Q_0 = \frac{H}{R} \quad (2.8)$$

Dengan demikian rumus kesetimbangan massa pada persamaan 2.9 menjadi :

$$Q_i - \frac{H}{R} = C \frac{dh}{dt} \quad (2.9)$$

$$Q_i R - H = RC \frac{dh}{dt} \quad (2.10)$$

Dari persamaan di atas dapat ditransformasikan Laplace sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$\begin{aligned} Q_i R(s) - H(s) &= RCsH(s) \\ Q_i R(s) &= RCsH(s) + H(s) \\ H(s)[RCs + 1] &= Q_i R(s) \quad (2.11) \end{aligned}$$

Dan diperoleh fungsi alih sistem yakni:

$$\frac{H(s)}{Q_i} = \frac{R}{RCs + 1} = \frac{R}{\tau s + 1} \quad (2.12)$$

Dengan $\tau = RC$ adalah konstanta waktu sistem tanki, Q_i adalah debit masukan air (cm^3/s), Q_o adalah debit luaran air (cm^3/s), H adalah level air (cm), dan g adalah percepatan gravitasi sedangkan A_0 adalah luas penampang pipa keluaran.

2.2.4 Pemodelan Sensor

Pemodelan sensor bertujuan untuk mendapatkan nilai penguatan yang dilambangkan dengan K_2 . Nilai K_2 dirumuskan dengan rentang kerja dari pompa terhadap masukan berupa tegangan seperti Persamaan 2.13 dibawah ini

$$K_2 = \frac{\text{Rentang tegangan keluaran (V)}}{\text{Rentang ketinggian air dalam tangki (cm)}} \quad (2.13)$$

Dari uraian persamaan pemodelan di atas didapat persamaan *plant* sistem pengaturan level seperti berikut:

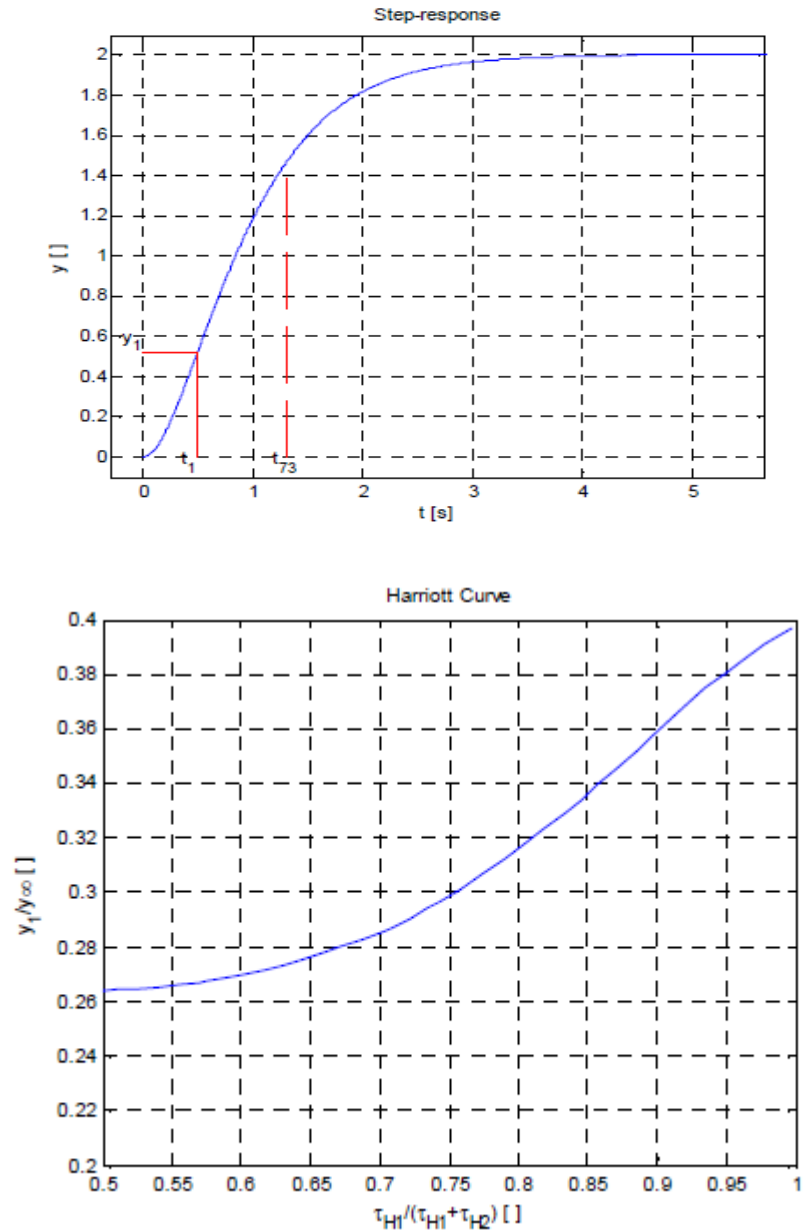
$$\frac{H(s)_{total}}{Q_{in}(s)_{total}} = K_1 * e^{-\theta s} * \frac{H(s)}{Q_{in}(s)} K_2 \quad (2.14)$$

2.3 Pemodelan Sistem Dengan Menggunakan Kurva Reaksi

Metode kurva reaksi adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi model matematis sebuah sistem dinamik. Metode ini mengandalkan pengukuran kurva respons sistem terhadap suatu sinyal *input* yang diketahui. Dengan menggunakan metode ini, sistem dinamik dapat diidentifikasi sebagai suatu model matematis seperti persamaan diferensial atau sistem persamaan linear.

Metode Harriott (Jakoubek, 2009) mencoba untuk mensimulasikan sistem dengan menggunakan model orde 2 yang memungkinkan untuk menyertakan delay waktu. Fungsi transfer model yang dihasilkan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$G_H(s) = \frac{K}{(\tau_{H1} + 1)(\tau_{H2} + 1)} e^{-T_{dH}s} \quad (2.15)$$



Gambar 2-5 Harriot's Curve

Berikut adalah tahapan untuk mendapatkan parameter τ_{H1} , τ_{H2} dan T_{dH} :

2.3.1 Menentukan jumlah dari parameter τ_{H1} dan τ_{H2}

Jumlah dari parameter τ_{H1} dan τ_{H2} dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau_{H1} + \tau_{H2} = \frac{t_{73}}{1.3} \quad (2.16)$$

Dengan t_{73} adalah waktu saat respons system berada pada kondisi 73% mendekati luaran *steady state* (Y_{ss}).

2.3.2 Menentukan parameter t_1 dan Y_1

Parameter t_1 parameter t_1 diperlukan untuk menghitung parameter Y_1 , yang diperoleh dari respon sistem yang telah diidentifikasi. Rumus untuk menghitung parameter t_1 adalah sebagai berikut:

$$t_1 = \frac{\tau_{H1} + \tau_{H2}}{2} \quad (2.17)$$

2.3.3 Menentukan parameter pada kurva Harriot

Pada kurva Harriott, parameter yang diberikan terletak pada sumbu X dan Y. Parameter yang ditunjukkan pada sumbu Y adalah sebagai berikut:

$$\frac{Y_1}{Y_{\infty}} [] \text{ atau } \frac{Y_1}{Y_{SS}} \quad (2.18)$$

Setelah menentukan parameter $\frac{Y_1}{Y_{\infty}} []$ pada sumbu Y, garis dapat ditarik untuk mendapatkan parameter $\tau_{H1}/(\tau_{H1} + \tau_{H2})$ pada sumbu X. Parameter ini merupakan koordinat sumbu X pada kurva Harriott. Dengan demikian, kita dapat menggambarkan kurva Harriott dengan menggunakan parameter yang diperoleh pada kedua sumbu tersebut.

2.3.4 Menentukan parameter τ_{H1}

Untuk mencari parameter τ_{H1} maka persamaan nilai $\tau_{H1}/(\tau_{H1} + \tau_{H2})$ dapat diasumsikan pada kurva Harriot sebagai x, kemudian substitusikan persamaan 2.19

$$\frac{\tau_{H1}}{(\tau_{H1} + \tau_{H2})} = x \quad (2.19)$$

$$\frac{\tau_{H1}}{t_{73}/1.3} = x \rightarrow \tau_{H1} = x * t_{73}/1.3 \quad (2.20)$$

2.3.5 Menentukan Parameter τ_{H2}

Untuk mendapatkan parameter , substitusikan persamaan 2.19 pada persamaan 2.22 sehingga diperoleh:

$$\tau_{H1} + \tau_{H2} = \frac{t_{73}}{1.3} \quad (2.21)$$

$$x * \frac{t_{73}}{1.3} + \tau_{H2} = \frac{t_{73}}{1.3} \quad (2.22)$$

$$\tau_{H2} = \frac{t_{73}}{1.3} - \left(x * \frac{t_{73}}{1.3} \right) \quad (2.23)$$

2.3.6 Menentukan parameter T_{dH}

T_{dH} adalah *time delay* yang dapat di metode Harriot dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{dH} = 1.937 t_{33} - 0.937 t_{70} \quad (2.24)$$

Untuk menggunakan hasil parameter τ_{H1} , τ_{H2} , dan T_{dH} Parameter tersebut dapat memasukkannya ke dalam persamaan 2.24. Jika nilai waktu t_{33} dan t_{70} kurang dari 0 atau bernilai negatif, maka sistem dianggap tidak memiliki time delay. Dengan menggunakan hasil parameter tersebut dalam persamaan 2.24, sehingga dapat ditentukan kinerja sistem tersebut.

2.4 Kontroler PID

Algoritma Kontroler PID merupakan kontrolir yang paling populer pada proses industri, meskipun ada kemajuan terus menerus pada teori kontrol. Hal ini dikarenakan algoritma PID memiliki struktur yang sederhana dan mudah dipahami secara konseptual serta dalam praktiknya kontroler ini memberikan respons kerja yang sangat memadai dalam aplikasinya pada *plant* di industri. Kontrolir PID bisa dianggap sebagai bentuk ‘ekstrem’ dari kompensator lead-lag dengan fase satu kutub di titik asal dan yang lainnya pada titik tak terhingga. Adapun bentuk kontrolir PID ditulis dalam bentuk persamaan paralel di mana (Xiong & Fan, 2007)

$$G_{PID}(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + Kd \cdot s = Kp \left(1 + \frac{1}{Ti \cdot s} + Td \cdot s \right) \quad (2.25)$$

Di mana Kp adalah *gain proportional*, Ki adalah *gain integral*, Kd adalah *gain derivative*, Ti adalah konstanta *integral time*, dan Td adalah konstanta *derivative time*.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.26)$$

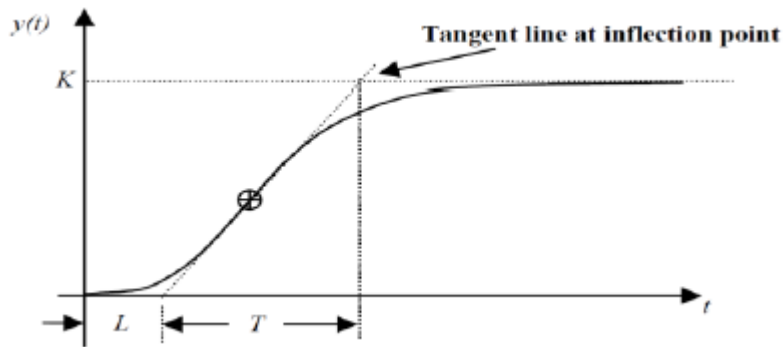
Untuk mendapatkan hasil tuning kontroler PID yang maksimal pada umumnya digunakan aturan tuning yakni *Ziegler-Nichols* atau *Coheen Coon*. Adapun karakteristik kontroler PID (Ang et al., 2005) adalah sebagai berikut

Tabel 2-3 Karakteristik Kontroller PID

Respon Closed Loop	Rise Time	Overshoot	Settling time	Steady state error	Stabilitas
Menaikkan Kp	Berkurang	Mengalami perubahan	Sedikit mengalami kenaikan	Mengalami penurunan	Menurunkan
Menaikkan Ki	Berkurang	Bertambah	Meningkat	Menurunkan signifikan	Menurunkan
Menaikkan Kd	Sedikit Perubahan	Berkurang	Berkurang	Berdampak minor	Menaikkan

2.5 Tuning PID dengan Ziegler Nichols

Metode pertama yang diperkenalkan oleh Ziegler-Nichols berdasarkan pada cara bagaimana sistem menanggapi suatu perubahan yang terjadi secara tiba-tiba. Dalam metode ini, kurva bagaimana sistem merespon perubahan harus terlihat seperti bentuk huruf S, yang ditandai oleh dua hal, yaitu berapa lama sistem tertunda untuk merespon dan berapa lama sistem memerlukan untuk kembali normal. Kedua hal tersebut ditentukan melalui cara sistem merespon perubahan yang terjadi. Seperti pada gambar berikut



Gambar 2-6 Kurva S Ziegler Nichols

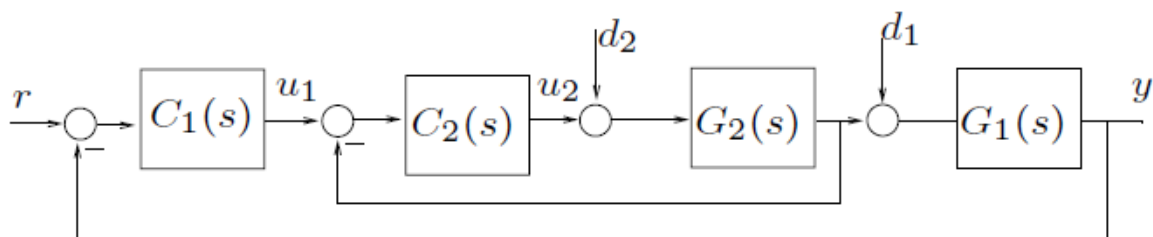
Titik di mana kemiringan step response memiliki nilai maksimum pertama ditentukan, dan sebuah garis ditarik pada titik tersebut. Persimpangan antara garis tersebut dan sumbu waktu memberikan parameter L , sementara persimpangan antara garis tersebut dan garis $y(t)=K$ memberikan parameter T . Parameter PID dapat diberikan langsung sebagai fungsi dari $a=KL/T$ dan L (Abdulameer et al., 2016).

Tabel 2-4 Tabel Tuning PID Controller dengan Zigler Nichols

Controller	K_p	T_i	T_d
P	$1/a$	-	-
PI	$0.9/a$	$3L$	-
PID	$1.2/a$	$2L$	$L/2$

2.6 Sistem Pengaturan Cascade

Sistem pengaturan *cascade* adalah sistem yang terdiri dari inner loop dan outer loop seperti pada gambar (ket). di mana *inner loop* berasal dari pengenalan sensor tambahan untuk memisahkan sebanyak mungkin dinamika sistem proses cepat dan lambat. Akibatnya, *control* konfigurasi sistem memiliki pengontrol bagian dalam $C_2(s)$ dengan bagian dalam proses loop $G_2(s)$ dan kontroler loop luar $C_1(s)$ dengan outer proses loop $G_1(s)$. Gangguan bisa masuk di dua kemungkinan titik yang berbeda: d_1 dan d_2 . Alasan di balik konfigurasi ini adalah untuk dapat mengkompensasi yang terbaik, yang mungkin gangguan d_2 , sebelum direfleksikan ke *output loop* luar. Untuk mencapai tujuan atau *set point* yang diinginkan adalah penting bahwa *inner loop* menunjukkan dinamika yang lebih cepat yang memungkinkan untuk kompensasi.



Gambar 2-7 Diagram Cascade Control

Berdasarkan uraian di atas proses $G(s) = G_1(s)G_2(s)$ dibagi menjadi dua bagian $G_1(s)$ dan $G_2(s)$ dan yang terkait pengontrol. Kedua pengontrol tersebut adalah pengontrol umpan balik standar yang diasumsikan mengambil bentuk PID biasa yakni:

$$C1(s) = K_{p1} \left(1 + \frac{1}{T_{i1}s} + \frac{T_{d1}s}{(1 + T_{d1}s/N_1)s} \right) \quad (2.27)$$

$$C2(s) = K_{p2} \left(1 + \frac{1}{T_{i2}s} + \frac{T_{d2}s}{(1 + T_{d2}s/N_2)s} \right) \quad (2.28)$$

Dimana K_{p1} dan K_{p2} adalah *gain* proporsional, T_{i1} dan T_{i2} adalah *gain* integral, T_{d1} dan T_{d2} *gain* turunan dan serta $N1$ dan $N2$ konstanta filter *noise* atau gangguan waktu *derivative*. (Vilanova & Arrieta, 2008)

2.7 Particle Swarm Optimization

Pendekatan PSO menggunakan algoritma optimisasi stokastik berbasis populasi yang diusulkan oleh Eberhart dan Kennedy pada tahun 1995. Hal tersebut terinspirasi dari simulasi komputer yang mengambil contoh dari perilaku sosial kawanan burung, simulasi tersebut dicetuskan oleh Reynolds pada tahun 1987. Reynolds menggunakan grafik komputer untuk memodelkan perilaku berkelompok burung yang rumit. Dia tertarik pada simulasi pola terbang burung untuk tujuan simulasi komputer visual, mengamati bahwa kawanan tampaknya berada di bawah kendali terpusat. Reynolds mulai memodelkan penemuannya menggunakan tiga aturan sederhana, yaitu penghindaran tabrakan, pencocokan kecepatan, dan pemusatan kawanan. Dengan menggunakan aturan ini, Reynolds menunjukkan bagaimana perilaku masing-masing agen di dalam flock dimodelkan dengan vektor sederhana. Karakteristik ini merupakan salah satu konsep dasar PSO (Pillay, 2013).

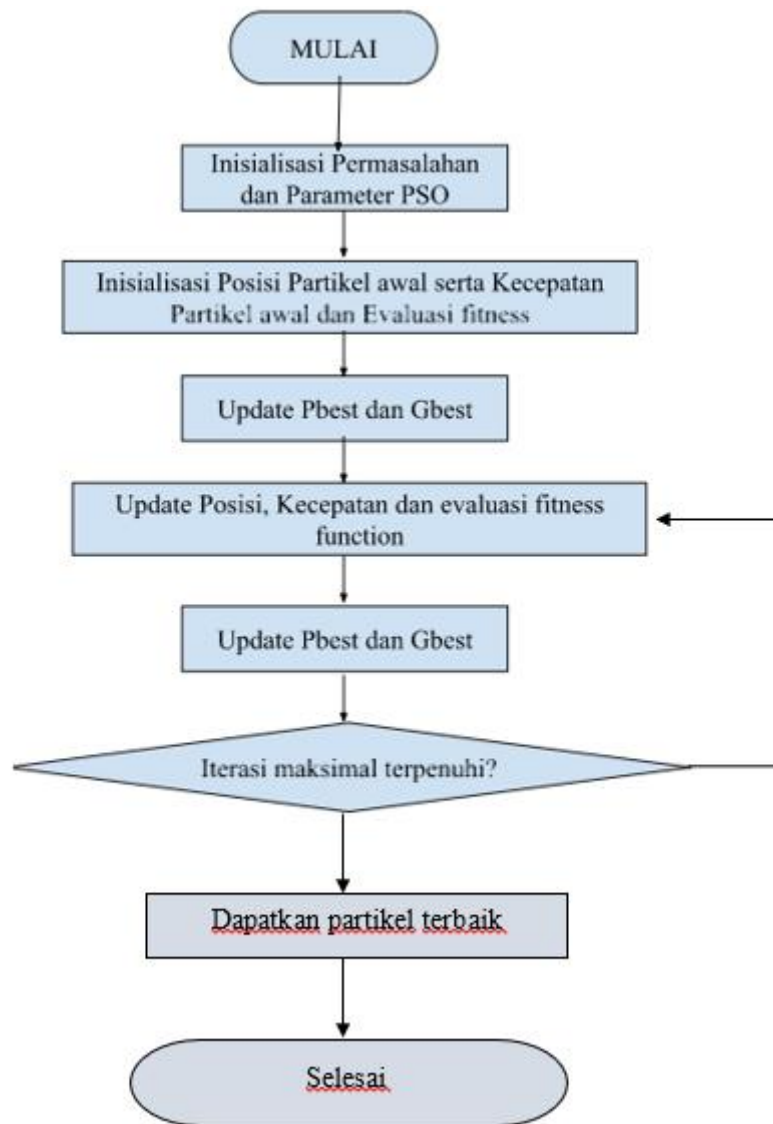
PSO adalah metode pencarian heuristik yang terinspirasi oleh interaksi sosial dari hewan yang hidup berkelompok. PSO dimulai dengan sekelompok partikel yang dihasilkan secara acak, yang masing-masing merupakan solusi yang mungkin untuk masalah optimasi. Setiap partikel diberi nilai posisi, dievaluasi oleh *fitness function* dirancang untuk mewakili masalah yang akan dioptimalkan. Selanjutnya, setiap partikel memiliki kecepatannya sendiri yang menentukan gerak partikel dalam ruang solusi (Pano & Ouyang, 2014).

Berdasarkan uraian tersebut maka dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan yakni :

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 rand_1 \times (pbest_i - s_i^k) + c_2 rand_2 \times (gbest - s_i^k)$$

$$s_i^{k+1} = s_i^k + v_i^{k+1}$$

Di mana v_i^k adalah kecepatan sekarang agen i pada iterasi k , v_i^{k+1} adalah pembaruan kecepatan agen i pada iterasi k , c_1 dan c_2 merupakan faktor *learning*, *rand* adalah factor random yang terdistribusi pada $[0,1]$, *pbest* merupakan solusi optimal suatu partikel, dan *gbest* merupakan solusi optimal seluruh populasi, sementara itu s merupakan lokasi partikel dan v merupakan kecepatan partikel.



Gambar 2-8 Flowchart Algoritma Particle Swarm Optimization

2.8 Indeks Performansi

Dalam mencari suatu fungsi optimal tidak dapat didefinisikan dengan tepat. Solusi yang menurut sebuah masalah adalah kondisi optimal, mungkin bukan nilai yang optimal bagi permasalahan lain. Indeks performansi banyak digunakan oleh kalangan praktisi dan juga akademisi untuk membantu dalam menentukan kualitas dari sebuah sistem. Indeks performansi sendiri sebenarnya adalah fungsi hubungan dimana beberapa karakteristik sistem seperti kondisi optimal dari sistem didefinisikan

2.8.1 Integral Time Absolute Error

Indeks performansi dari ITAE ditunjukkan pada Persamaan. Bobot pengali waktu pada ITAE membuatnya lebih cepat untuk meminimalkan kesalahan dibandingkan IAE.

$$\int_0^{\infty} t|e(t)|d(t)$$

ITAE memiliki nilai kesalahan awal yang besar dan kemudian kesalahan menghilang secara perlahan.

2.8.2 Integral Square Error

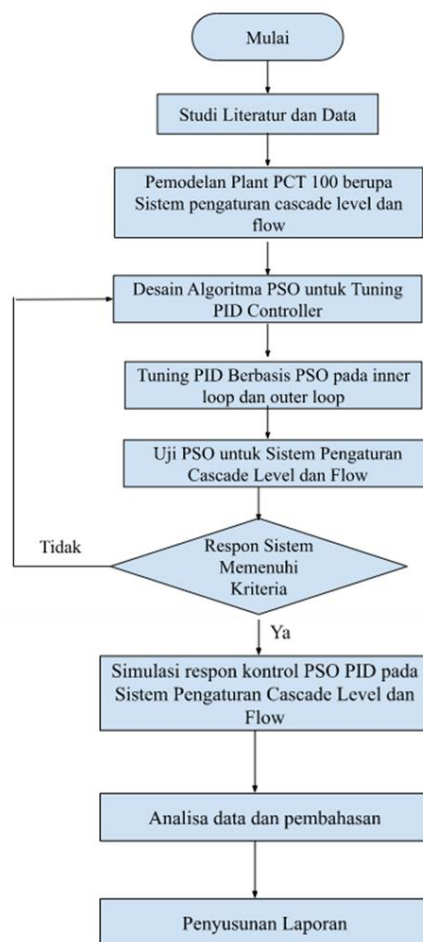
Integral Square Error (ISE) atau Integral of the Squared Error (ISE) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengukur kualitas dari suatu model kontrol atau identifikasi. ISE mengukur seberapa besar error atau selisih antara sinyal yang dihasilkan oleh model dengan sinyal aktual yang ada pada sistem. ISE dihitung dengan mengalikan error pada setiap waktu dengan durasi waktunya, lalu menjumlahkan semuanya. Nilai ISE yang lebih kecil menunjukkan bahwa model yang digunakan lebih baik dibandingkan dengan model yang lain.

$$ISE = \int_0^{t_{sim}} e^2(t) dt$$

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Metode yang digunakan

Dalam tugas akhir ini, metode utama yang digunakan yaitu simulasi. Pada simulasi, terdapat beberapa langkah khusus akan dilakukan, mulai dari identifikasi sistem, pemodelan sistem, perancangan kontroler, hingga pengambilan data simulasi. Metode identifikasi sistem dalam simulasi akan dilakukan dengan memberikan sinyal uji pada flow plant PCT 100 sehingga diketahui karakteristik dari dari *flow plant* tersebut. Sedangkan untuk sistem pengaturan level akan dilakukan *modelling* dengan matematis berdasarkan parameter level tanki pada PCT 100. Perancangan controller akan dilakukan dengan mengaplikasikan algoritma PSO mencari parameter kontroler PID serta dibandingkan dengan tuning PID Ziegler Nichols. Adapun metodologi pada penelitian ini adalah:



Gambar 3-1 Flowchart Diagram Alur Penelitian

3.2 Bahan dan peralatan yang digunakan

3.2.1 Process Control Technology 100 Bytronics



Gambar 3-2 Module Control PCT 100

PCT-100 adalah *miniplant* salah satu produk dari *Bytronic* yang digunakan untuk mendemonstrasikan prinsip kontrol dalam proses instrumentasi dan sistem kontrol proses. Pada peralatan ini terdapat proses yang terjadi pada tangki utama, yakni ada empat variabel proses yang diatur yaitu tekanan (*pressure*), level air, aliran air (*flow*), dan suhu (*temperature*). Aktuator yang terdapat pada PCT -100 adalah pompa dan pemanas. Pompa digunakan untuk menyalurkan air dari tangki penyimpanan menuju tangki utama. Sementara pemanas digunakan dalam proses sistem pengaturan suhu. Keempat variabel tersebut diatur dengan menggunakan kontrolir PID pada program bawaan alat ini

3.2.2 Adam 5000 L TCP/IP



Gambar 3-3 ADAM Advantech 5000L/TCP

ADAM-5000L / TCP dan ADAM-5000 / TPC adalah sistem I / O berbasis Ethernet yang dirancang untuk konfigurasi yang mudah dan pengelolaan yang efisien. Mereka dapat digunakan untuk mengkonfigurasi dan memantau data secara jarak jauh dari berbagai perangkat, seperti sensor dan aktuator, melalui jaringan Ethernet. Kedua model memiliki jarak komunikasi hingga 100 m tanpa perlu repeater, dan hingga delapan PC dapat secara bersamaan mengakses data. Ini menjadikan mereka solusi yang efektif dan fleksibel untuk berbagai aplikasi otomasi.

Pada Tugas Akhir ini ADAM 5000L digunakan sebagai Input Output Module dikarenakan kecocokan pada sistem. Fungsi dari ADAM sendiri untuk memberi sinyal perintah berupa tegangan kepada Pompa PCT 100 dan pembacaan sensor flow rate dari *plant* PCT 100 dan juga

sebagai penerima sinyal dari sensor yang berupa tegangan. Spesifikasi dari ADAM 5000L dapat dilihat dari Gambar Tabel 3.1

Tabel 3-1 Spesifikasi ADAM

Konsumsi Daya	4W, 24 VDC (tdaik termasuk modul I/O)
Power Input	10-30 VDC
Konektor	1 x DB9-M/DB9-F/screw terminal untuk RS-485 (komunikasi), 1 x DB9-F untuk RS-232 (penggunaan internal), 1 x Screw terminal untuk power input, 1 x RJ-45 untuk LAN

3.2.3 Matlab



Gambar 3-4 Ikon Matlab

MATLAB adalah singkatan dari Matrix Laboratory dan merupakan sebuah bahasa pemrograman dan lingkungan komputasi numerikal yang digunakan untuk mengelola data, menghitung, dan mengembangkan algoritma. MATLAB dikembangkan oleh MathWorks dan menyediakan fungsi-fungsi matematis, visualisasi data, dan pemodelan integratif yang kuat untuk menganalisis dan memvisualisasikan data serta membangun aplikasi yang didasarkan pada hasil analisis tersebut. MATLAB juga dapat digunakan untuk membangun sistem kontrol, memproses sinyal, dan menganalisis data secara real-time.

3.2.4 Simulink



Gambar 3-5 Simulink

Simulink adalah sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh MathWorks yang memungkinkan untuk menggambar dan mengubah model sistem dinamis dalam bentuk diagram blok. Simulink memiliki banyak library yang berisi blok-blok yang mewakili fungsi-fungsi yang biasa digunakan dalam pemodelan sistem dinamis, seperti filter, sumber, integrator,

dan lainnya. Simulink terdapat bagian blok diagram dan antar blok dapat dihubungkan untuk membangun model sistem yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Kemudian, Simulink digunakan untuk menganalisis dan menjalankan simulasi model tersebut untuk menguji dan mengevaluasi bagaimana sistem akan berperilaku dalam situasi nyata.

3.2.5 Personal Computer

Komputer yang digunakan pada Tugas Akhir ini memiliki spesifikasi sebagai berikut

Tabel 3-2 Spesifikasi Komputer yang Digunakan

Prosesor	Intel(R) Core(TM) i5-8250U
RAM	12GB
STORAGE	1TB SATA (5400 rpm)

3.3 Urutan pelaksanaan penelitian

3.3.1 Pemodelan Sistem Pengaturan Level pada PCT 100

3.3.1.1 Pemodelan Pompa

Mengacu pada persamaan 2.1 dengan memasukkan rentang debit air yang keluar dari pompa antara 0 - 45 cm/s . Rentang tegangan masukan antara 0 – 10 V didapatkan hasil pada Persamaan 3.1

$$K1 = \frac{45 - 0}{10 - 0} = 4.5 \text{ cm}^3/\text{sV} \quad (3.1)$$

3.3.1.2 Pemodelan Pipa

Mengacu pada persamaan 2.2 dengan memasukkan data diameter pipa sebesar 1 cm, panjang pipa sebesar 90 cm dan dengan debit air yang masuk 16.67 cm³/detik didapatkan persamaan 3.2

$$\theta = \frac{70,69}{16.67} = 4.23 \text{ s} \quad (3.2)$$

Diperoleh *time delay*:

$$e^{-\theta s} = e^{-4.23s} \quad (3.3)$$

3.3.1.3 Pemodelan Tangki

Nilai Q0 didapatkan dengan melakukan uji pengosongan tangki. Diambil titik kerja ketika nilai h0 sebesar 7.5 cm didapatkan nilai Q0 seperti pada persamaan berikut

$$Q0 = \frac{V}{t} = \frac{1507.2}{110} = 13.701 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \quad (3.4)$$

V adalah volume air yang keluar dan t adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan tangki. Mengacu pada persamaan 2.4 dan persamaan 2.5 didapatkan nilai R dan C pada persamaan berikut

$$R = \frac{7.5}{13.701} = 0.547 \text{ s/cm}^2 \quad (3.5)$$

$$C = 200.96 \text{ cm}^2$$

Sehingga di dapat fungsi alih:

$$\frac{H(s)}{Q_{in}(s)} = \frac{0.547}{109.92s + 1} \quad (3.6)$$

3.3.1.4 Pemodelan Sensor

Mengacu pada Persamaan (Ket) dengan memasukkan rentang tegangan keluaran antara 0 – 10 V dan rentang ketinggian air dalam tangka antara 0 – 18 cm data sesuai dengan user manual PCT-100 , maka penguatan sensor dirumuskan pada Persamaan berikut

$$K2 = \frac{10 - 0}{18 - 0} = 0.55 \frac{V}{cm} \quad (3.7)$$

3.3.1.5 Persamaan Model Sistem Pengaturan Level Total

Mengacu pada persamaan 2.12 dapat dihitung fungsi alih keseluruhan dari plant dengan cara mengalikan semua komponen pemodelan seperti pada persamaan berikut

$$\frac{H(s)_{total}}{Q_{in}(s)_{total}} = 5.83 * e^{-4.23s} * \frac{0.547}{109.92s + 1} * 0.55 \quad (3.8)$$

$$\frac{H(s)}{Q_{in}(s)} = \frac{1.754e^{-4.23}}{109.92s + 1} \quad (3.9)$$

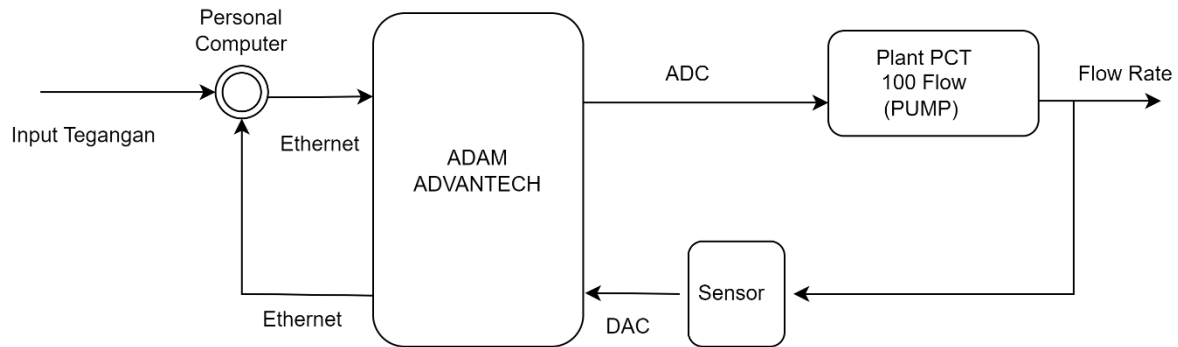
3.3.2 Pemodelan Sistem Pengaturan Flow

Dalam proses mengembangkan dan mendesain kontrolir untuk suatu plant, pengetahuan tentang sifat dan karakteristik plant tersebut sangat penting. Salah satu cara untuk mengetahui sifat dan karakteristik *plant* adalah dengan menganalisis fungsi alih yang dimiliki oleh plant tersebut. Dengan mengetahui fungsi alih ini, kita dapat memahami karakteristik dari plant tersebut dan mengembangkan kontrolir yang sesuai untuk mengendalikannya. Salah satu permasalahan yang sering muncul ketika menghadapi suatu *plant* adalah tidak adanya dokumen yang menyediakan informasi tentang fungsi alih dari plant tersebut. Tanpa informasi ini, sulit bagi para peneliti untuk memahami karakteristik plant dan mengembangkan kontrolir yang sesuai untuk mengendalikannya. Oleh karena itu, penting bagi para peneliti untuk mencari tahu informasi ini sebelum mulai mengembangkan kontrolir untuk suatu *plant*.

Proses identifikasi adalah suatu cara untuk menentukan nilai parameter-parameter dari suatu plant dengan menganalisis respon plant terhadap sinyal uji yang diberikan. Proses ini biasanya dilakukan secara *open loop*, di mana sinyal uji diberikan dari komputer kontrolir ke *plant*, dan respon dari plant terhadap sinyal uji tersebut diterima kembali oleh komputer kontrolir. Kemudian, keluaran dari plant diolah menjadi sebuah grafik, dan dari grafik tersebut kita bisa mendapatkan nilai parameter-parameter plant. Identifikasi biasanya dilakukan pada kondisi *set point* yang berbeda-beda.

Menurut jurnal dengan penulis Ing. Pavel Jakoubek, terdapat 7 metode identifikasi yang dapat digunakan untuk sistem tanpa osilasi dengan masukan respons step. Setelah diperoleh fungsi alih sistem, ketujuh metode ini dibandingkan dengan respons hasil pengukuran untuk menentukan metode dengan pendekatan model yang terbaik. Metode validasi yang biasa digunakan dalam kasus ini adalah *ISE (Integral Square Error)*. Dengan menggunakan metode ini, kita dapat membandingkan hasil dari model yang diperoleh dengan data yang diukur dari *plant* untuk menentukan metode yang paling baik untuk digunakan.

Untuk memodelkan flow kita menggunakan Adam Advantech sebagai jembatan untuk memperoleh data, Adam Advantech juga berfungsi sebagai ADC maupun DAC yang berguna untuk mengubah sinyal analog maupun digital atau converter tentunya berguna dalam control kontinu maupun diskrit. Adapun diagram pemodelan plant flow adalah sebagai berikut:



Gambar 3-6 Diagram Block Proses Identifikasi

3.3.2.1 Pengambilan data Plant PCT 100 Sistem Pengaturan Flow

Untuk mendapatkan fungsi alih dari sistem dirancang sistem *closed loop* pada gambar 3.6 yang terdiri personal computer, ADAM 5000 L TCP/IP, dan Plant PCT 100. Setelah itu digunakan input berupa tegangan 5 Volt pada ADAM 5000L TCP/IP untuk memperoleh respons sistem yang akan dibaca oleh sensor flow. Digunakan algoritma 1 berikut ini untuk membaca hasil output dari sensor.

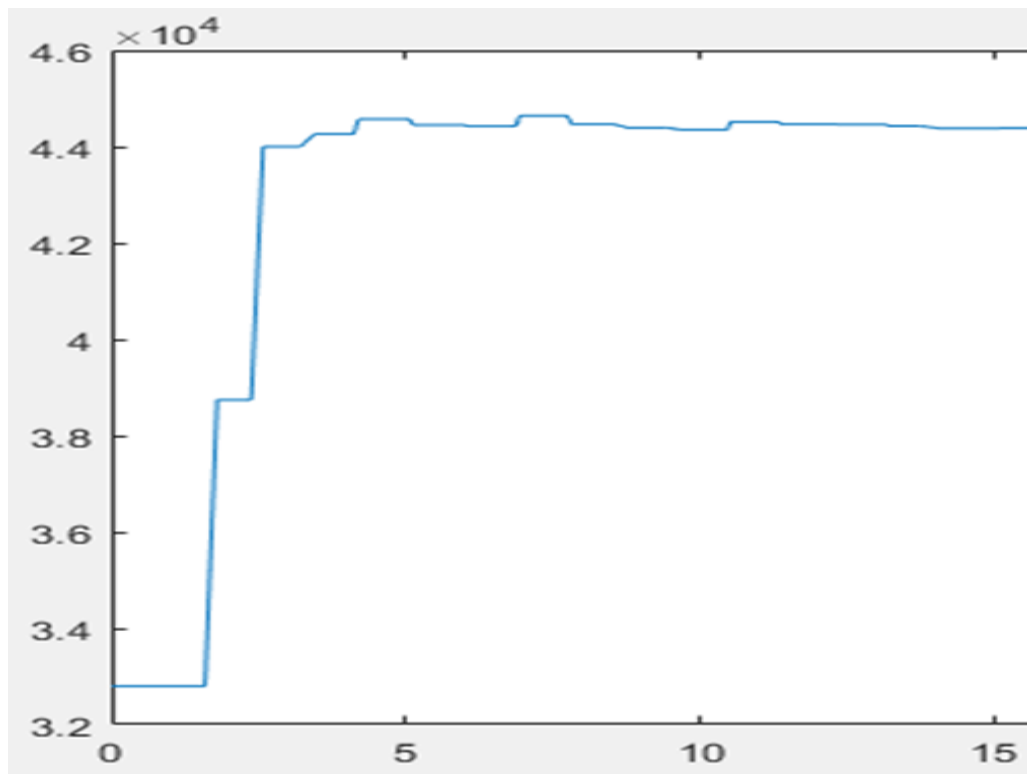
ALGORITME 1. Algoritme Pemodelan Plant Flow pada PCT 100

Input: Tegangan DC 5 Volt

Output : Bacaan sensor basis uint16

1. **Data :** Plot Grafik uint16 (1:0.01:30)
2. **Set :** Alamat IP 169.254.126.231 pada port 502 menggunakan protokol Modbus
3. **Set :** Timeout untuk koneksi Modbus 30 detik
4. **Set :** ID server = 1
5. **Write :** nilai 0 menggunakan fungsi "holdingregs" dengan alamat PORT = 17
6. **Read :** Baca data dari "holdingregs" PORT = 9 dan simpan sebagai "data"
7. **Set :** variable waktu $t = 0$
8. **For**
 - Baca data dari "holdingregs" PORT = 9 dan tambahkan ke "data"
 - Tambahkan "t" dengan waktu yang telah berlalu sejak iterasi sebelumnya
 - Plot "t" dan "data"
 - Gambarkan plot pada layar
 - Jeda selama 0,01 detik
9. **end**
10. **Putuskan koneksi dari perangkat**

Berdasarkan algoritma tersebut kemudian diimplementasikan pada Matlab untuk memperoleh data dari sensor *Flow Rate* diperoleh respons sistem berikut pada gambar 3.7



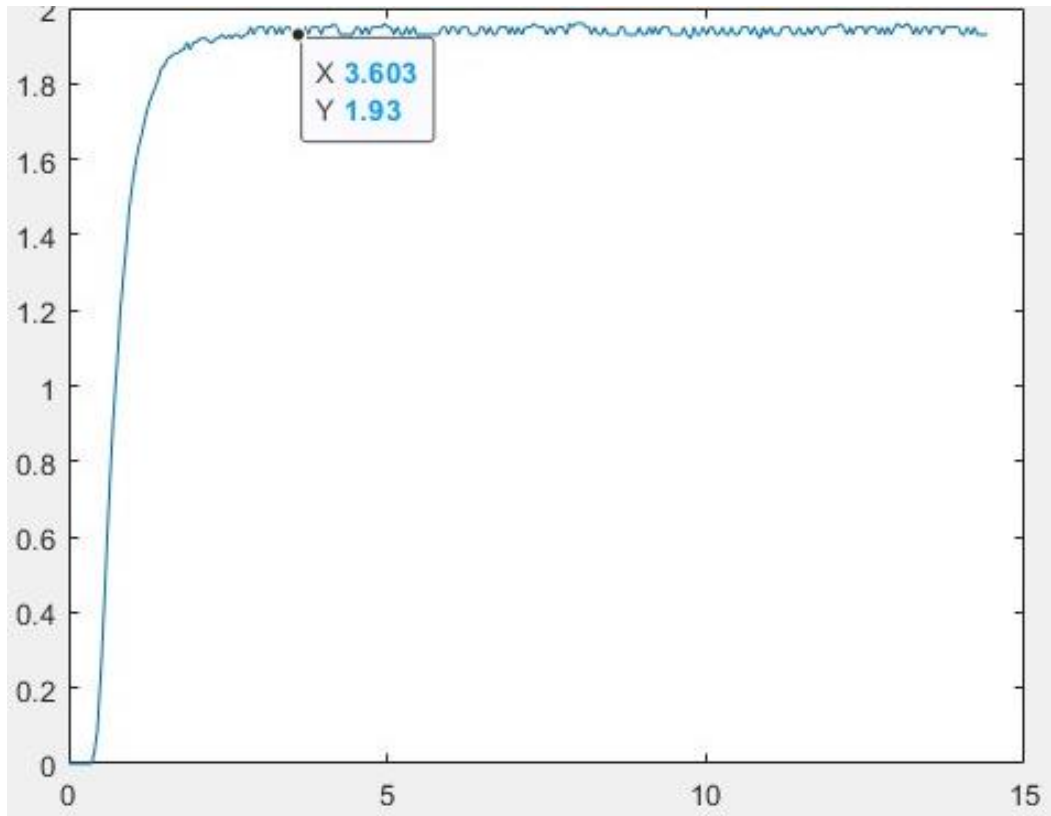
Gambar 3-7 Grafik Response dalam bentuk bilangan Bit

Dari respons sistem tersebut masih dalam berbentuk bilangan bit yakni uint16 untuk itu perlu dilakukan konversi ke bilangan asli pembacaan sensor sesuai spesifikasi sensor *flow rate* pada PCT 100. Bilangan uint 16 sendiri adalah bilangan dengan panjang 16 bit dimana dimulai dari 0-65535. Untuk respons sistem yang dihasilkan angka 0 liter/menit dimulai dari bilangan bit sebesar 32768 dan 2.7 liter/menit diangka 65535. Oleh karena itu dilakukan konversi dengan algoritma sebagai berikut:

ALGORITME 2. Algoritme Konversi bilangan uin16 ke bilangan basis sensor

1. **Set** : uint16_value = 32768;
2. // Konversi bilangan uint16 ke bilangan satuan sensor 2.7 liter/menit
Hitung sensor_value = (uint16_value / 65535) * 2.7;
3. // Cetak hasil konversi
Print(sensor_value);
4. // Baca file CSV
data = ReadCSV('nama_file.csv');
5. // Konversi nilai dalam matriks menjadi bilangan satuan sensor 2.7 liter/menit
converted_data = **Convert**(data, @(x) (x / 65535) * 2.7);
6. // Buat plot grafik dari hasil konversi
Plot(converted_data);

Dari algoritma tersebut diperoleh grafik respons system sebagai berikut pada gambar 3.8. Dimana dari respons system tersebut akan dianalisa untuk dicari model fungsi alih dari system.



Gambar 3-8 Grafik Respons Sistem Open Loop Flow

3.3.2.2 Fungsi Alih Sistem

Untuk mendapatkan fungsi alih sistem, digunakan respon saat set point adalah 5 volt atau 50% dari flow rate Gambar 3.8 menunjukkan respon level pada set point 50%. Dari respon tersebut, diperoleh nilai keluaran steady state pada ketinggian 1,939, yang diperoleh dari rata-rata seluruh data keluaran steady state. Berdasarkan respon pada Gambar 3.8, diperoleh gain overall respon pada persamaan berikut.

$$Y_{ss} = 1.939$$

$$X_{ss} = 2$$

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} = \frac{1.95}{1.89} = 1.03 \quad (3.10)$$

Jakoubek mengembangkan 7 metode untuk mengidentifikasi plant atau sistem kontrol. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pendekatan model matematika plant adalah metode Harriott. Pemilihan metode terbaik dapat dilakukan dengan menggunakan validasi. Salah satu metode validasi yang dapat digunakan adalah ISE (Integral Square Error). Semakin kecil nilai ISE, maka semakin baik fungsi alih yang dibuat. Dengan menggunakan pendekatan sistem model matematika plant proses level dan berdasarkan respon pada Gambar 3.8, dapat diperoleh nilai ISE yang sesuai

$$t_{33} = 0.811$$

$$t_{70} = 1.716$$

$$t_{73} = 1.809$$

Sehingga diperoleh parameter:

$$T_{dH} = 1.937 t_{33} - 0.937 t_{70} \quad (3.11)$$

$$T_{dH} = 1.937 * 0.811 - 0.937 * 1.716 = 1.57 - 1.607 = -0.037 \quad (3.12)$$

$$\tau_{H1} + \tau_{H2} = \frac{t_{73}}{1.3} \quad (3.13)$$

$$\tau_{H1} + \tau_{H2} = \frac{1.809}{1.3} = 1.39 \quad (3.14)$$

$$t_1 = \frac{\tau_{H1} + \tau_{H2}}{2} = \frac{1.39}{2} = 0.695 \rightarrow y_1 = 0.77 \quad (3.15)$$

Berdasarkan kurva Harriott pada Gambar 2.5, diperoleh nilai:

$$\frac{y_1}{Y_{ss}} = \frac{0.77}{1.939} = 0.397 \rightarrow \frac{\tau_{H1}}{(\tau_{H1} + \tau_{H2})} = 0.561 \quad (3.16)$$

$$\frac{\tau_{H1}}{(\tau_{H1} + \tau_{H2})} = x \rightarrow \tau_{H1} = x \cdot \frac{t_{73}}{1.3} \quad (3.17)$$

$$\tau_{H1} = 0.561 \times \frac{1.89}{1.3} = 0.815 \quad (3.18)$$

$$\tau_{H2} = \frac{t_{73}}{1.3} - \left(x * \frac{t_{73}}{1.3} \right) = 1.39 - 0.815 = 0.575 \quad (3.19)$$

Karena parameter Parameter delay bernilai negatif, sehingga nilai delay tidak dianggap. Fungsi alih untuk metode Harriot adalah:

$$GH(s) = \frac{K}{(\tau_{H1}s + 1)(\tau_{H2}s + 1)} e^{-T_{dH}s} \quad (3.20)$$

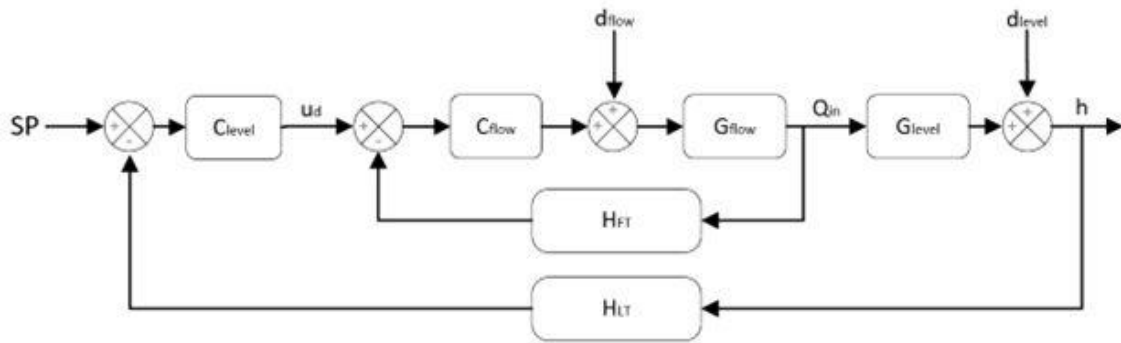
$$GH(s) = \frac{1.03}{(0.815s + 1)(0.575s + 1)} \quad (3.21)$$

$$GH(s) = \frac{1.03}{0.468s^2 + 1.39s + 1} \quad (3.22)$$

Penelitian ini mengukur respon dari model terhadap masukan sinyal uji untuk menentukan kesesuaiannya dengan *real plant* dalam proses identifikasi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa ISE sebesar dan model matematikanya merupakan pendekatan orde 2, yang umumnya sesuai dengan sistem orde 2 pada dunia industri.

3.3.3 Tuning PID Menggunakan pada Sistem Pengaturan Cascade

Cascade control adalah metode kontrol yang menggunakan dua atau lebih PID (proportional-integral-derivative) controller untuk mengendalikan suatu sistem. Dalam kontrol kaskade, salah satu *PID controller* disebut "kontrolir primer" dan yang lainnya disebut "kontrolir sekunder". Dalam tugas akhir ini dirancang sebuah system cascade pada matlab yang terdiri dari 2 PID controller masing masing primer dan sekunder serta persamaan 2 buah *plant* yakni Sistem pengaturan flow dan system pengaturan level seperti pada gambar berikut:



Gambar 3-9 Sistem Pengaturan Cascade

Untuk mengatur *PID controller* dengan menggunakan kontrol kaskade, pertama-tama kita perlu mengidentifikasi sistem yang akan dikendalikan dan menentukan apa yang akan menjadi variabel output dan input. Kemudian, kita perlu menentukan kontroler primer dan kontroler sekunder, serta mengatur parameter PID untuk setiap kontrolir.

Setelah kontrolir telah dikonfigurasi, langkah selanjutnya adalah mengukur respon sistem terhadap kontroler dan mengoptimalkan parameter PID agar sistem dapat beroperasi dengan stabil dan memberikan hasil yang diinginkan. Ini bisa dilakukan dengan menggunakan teknik seperti trial and error, atau dengan menggunakan metode matematik yang lebih rumit seperti Ziegler-Nichols atau Cohen-Coon.

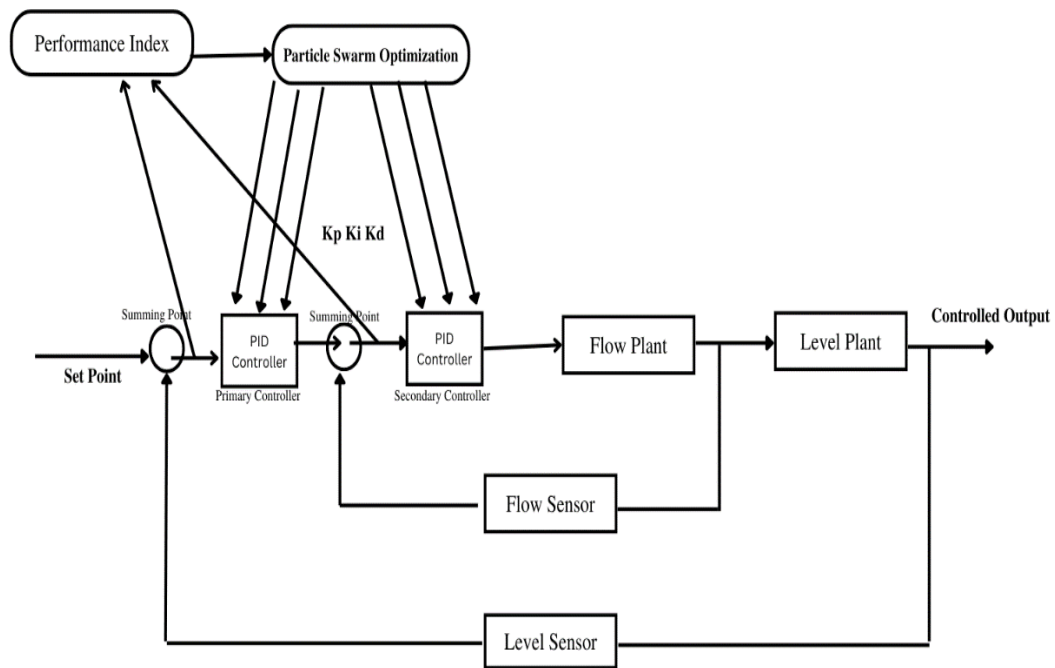
Setelah parameter PID telah dioptimalkan, kita dapat memantau sistem secara terus-menerus untuk memastikan bahwa sistem tetap stabil dan memberikan hasil yang diinginkan. Jika diperlukan, kita dapat mengubah parameter PID secara berkala untuk menyesuaikan diri dengan perubahan kondisi sistem atau tujuan kontrol.

Dengan menggunakan kontrol kaskade, kita dapat meningkatkan keandalan dan stabilitas sistem dengan mengendalikan beberapa variabel *output* secara bersamaan. Ini memungkinkan kita untuk mencapai hasil yang lebih baik daripada menggunakan satu PID controller saja.

3.3.4 Tuning PID dengan Metode Particle Swarm Optimization

Tuning PID menggunakan PSO merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mencari nilai konstanta PID (Proportional, Integral, dan Derivative) yang optimal untuk mengendalikan sistem dinamis. Metode ini memanfaatkan kinerja dari kontroler PID yang sudah ada dengan mengoptimalkan nilai konstanta PID untuk mencapai performa yang lebih baik.

Dalam penerapannya, PSO akan mengoptimalkan nilai konstanta PID dengan memperhitungkan nilai error sistem, waktu respon, dan overshoot. PSO akan menggunakan partikel-partikel virtual yang mewakili nilai konstanta PID, dan mencari solusi terbaik dengan mengikuti aturan-aturan yang sama seperti kelompok serangga dalam lingkungannya. Nilai konstanta PID yang dihasilkan dari proses optimisasi menggunakan PSO diharapkan dapat meningkatkan performa kontroler PID dalam mengendalikan sistem dinamis.



Gambar 3-10 Diagram Block Tuning PID-PSO Pada Sistem Pengaturan Cascade Level dan Flow

Berikut ini adalah algoritma tuning PID menggunakan PSO dalam bentuk pseudo code yang terdapat input, output, variabel, dan parameter:

ALGORITME 3. Algoritme Tuning PID menggunakan PSO

INPUT:

- Transfer function (TF)
- Jumlah partikel (N)
- Nilai w (inertia weight)
- Nilai c_1 (cognitive weight)
- Nilai c_2 (social weight)
- Nilai error konvergensi (error_threshold)
- Batas maksimum iterasi (max_iter)

OUTPUT:

- Nilai PID yang teroptimal

VARIABLE:

- velocity[N]
- position[N]
- error[N]

- fitness[N]
- best_point[N]
- best_fitness[N]

PARAMETER:

- Nilai kecepatan awal (initial_velocity)
- Nilai titik awal (initial_point)

ALGORITMA:

1. Set initial_velocity dan initial_point sebagai nilai awal untuk setiap partikel
2. Untuk setiap partikel:
 - Hitung error menggunakan TF dan nilai PID pada posisi partikel tersebut
 - Hitung fitness menggunakan nilai error
 - Set best_point sebagai posisi partikel yang memiliki fitness terbaik
 - Set best_fitness sebagai fitness terbaik yang diperoleh
3. Ulangi langkah 2 hingga kriteria konvergensi tercapai atau iterasi mencapai batas maksimum
4. Set nilai PID yang teroptimal sebagai posisi partikel yang memiliki fitness terbaik (best_fitness)
5. Selesai.

3.3.5 Pseudocode Tuning PID menggunakan Particle Swam Optimization

1. Input
 - Objective Function (fitness function), upper bound (ub) dan lower bound (lb), jumlah populasi (N), factor inersia (w), individual dan social cognitive (c1 dan c2), Jumlah iterasi T.
2. Inisialisasi
 - Inisial random posisi (x) dan kecepatan (v) dalam batas ruang
 - Menetapkan pbest dan gbest (berdasarkan fungsi tujuan)
3. Loop
 - For $t = 1 : T$
 - For $i = 1 : N$
 - Update kecepatan: $vi(t) = wvi(t - 1) + c1r1(pbesti - xi(t - 1)) + c2r2(gbest - xi(t - 1))$
 - Update posisi: $xi(t) = xi(t - 1) + vi(t)$
 - Periksa apakah $xi(t)$ masih dalam batas: if $xi(t) > xub \rightarrow xi(t) = xub$ & $xi(t) < xlb \rightarrow xi(t) = xlb$
 - Evaluasi fungsi tujuan f_{xi}
 - Update Pbest dan Gbest
 - Jika tidak ada konvergensi pada solusi sekarang dan if $t > T$ maka Kembali ke loop
4. Print Gbest dan Fgbest

3.3.6 Parameter Pengujian

Pada percobaan ini dilakukan dengan fungsi tujuan adalah meminimalkan indeks performansi dari Integral Time Absolute Error sehingga diperoleh nilai minimal dari

ITAE sehingga diperoleh besaran K_p , K_i , dan K_d . Sebelumnya K_p , K_i , K_d adalah dimisalkan 3 buah partikel yang mencari nilai optimal pada sebuah ruang 3 dimensi sumbu X, Y dan Z. Dari setiap masing-masing partikel akan mencari posisi yang paling optimal berdasarkan objective functionnya. Fitness value pada metode tuning PID adalah nilai hasil paling minimal dari ITAE sehingga jika sudah mencapai paling minimal maka iterasi akan berhenti. Dari pseudo code dan deskripsi yang telah disampaikan akan dilakukan pengujian dengan parameter $c_1=1.5$, $c_2=1$, jumlah maksimal iterasi adalah 100 dan batas atas serta bawah dimulai dari 0 sampai dengan 100. Kemudian untuk pengujian akan dilakukan variasi $w=0.4$, $w=0.8$ dan $w=0.9$. serta jumlah partikel $N=10$, $N=30$ dan $N=50$. Dari ketiga variasi pengujian tersebut akan dapat ditentukan dampak dari masing masing jumlah partikel dan bobot inersia. Sehingga dapat ditentukan mana nanti yang terbaik akan digunakan untuk pengujian Tuning PID menggunakan PSO untuk sistem pengaturan cascade level dan flow.

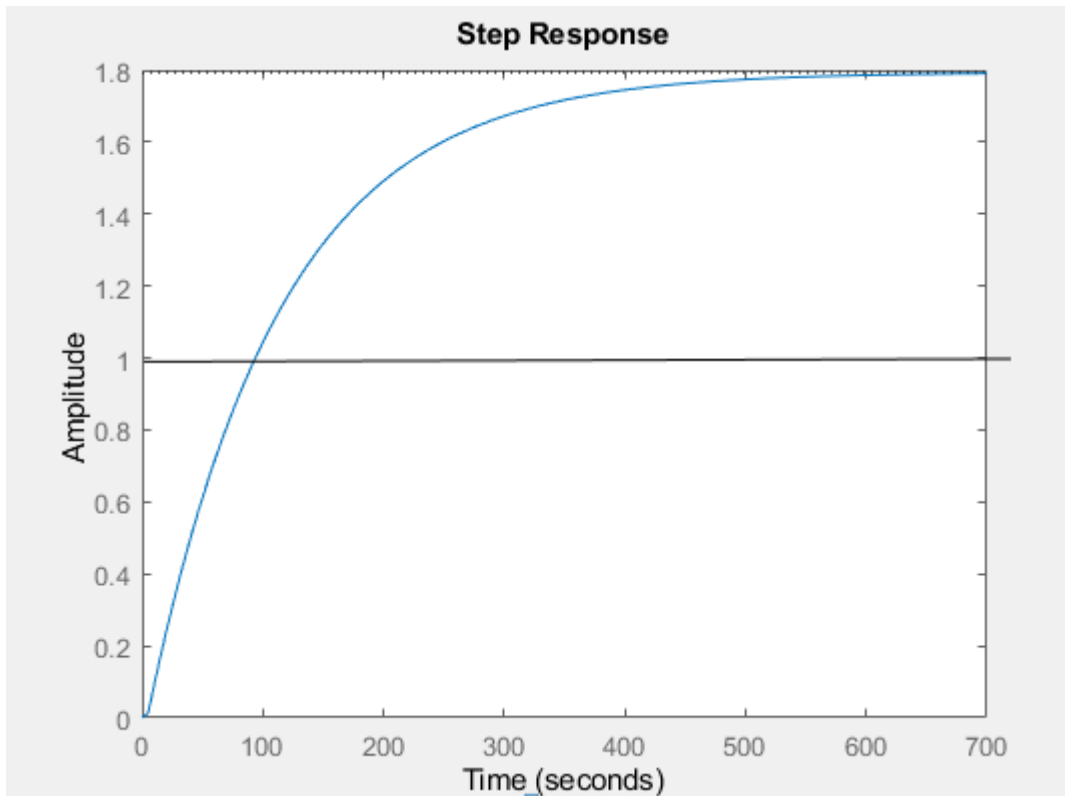
BAB 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Hasil Pemodelan dari Sistem Pengaturan Level

Berdasarkan hasil pemodelan sistem pada Bab 3 didapatkan model akhir plant seperti pada Persamaan 4.1

$$\frac{H(s)}{Q_{in}(s)} = \frac{1.754e^{-4.23}}{109.92s + 1} \quad (4.1)$$

Dilakukan pengujian sistem umpan balik tertutup menggunakan sinyal unit step pada Persamaan 4.1 didapatkan hasil respon pada Gambar 4.1.



Gambar 4-1 Open Loop Response Level

Berdasarkan respon loop terbuka yang diperoleh dari pemodelan matematis sistem, masih terdapat error steady state yang besar, yaitu 0.75. Dengan adanya permasalahan tersebut, perlu digunakan kontroler untuk meminimalkan kesalahan waktu tunak pada sistem.

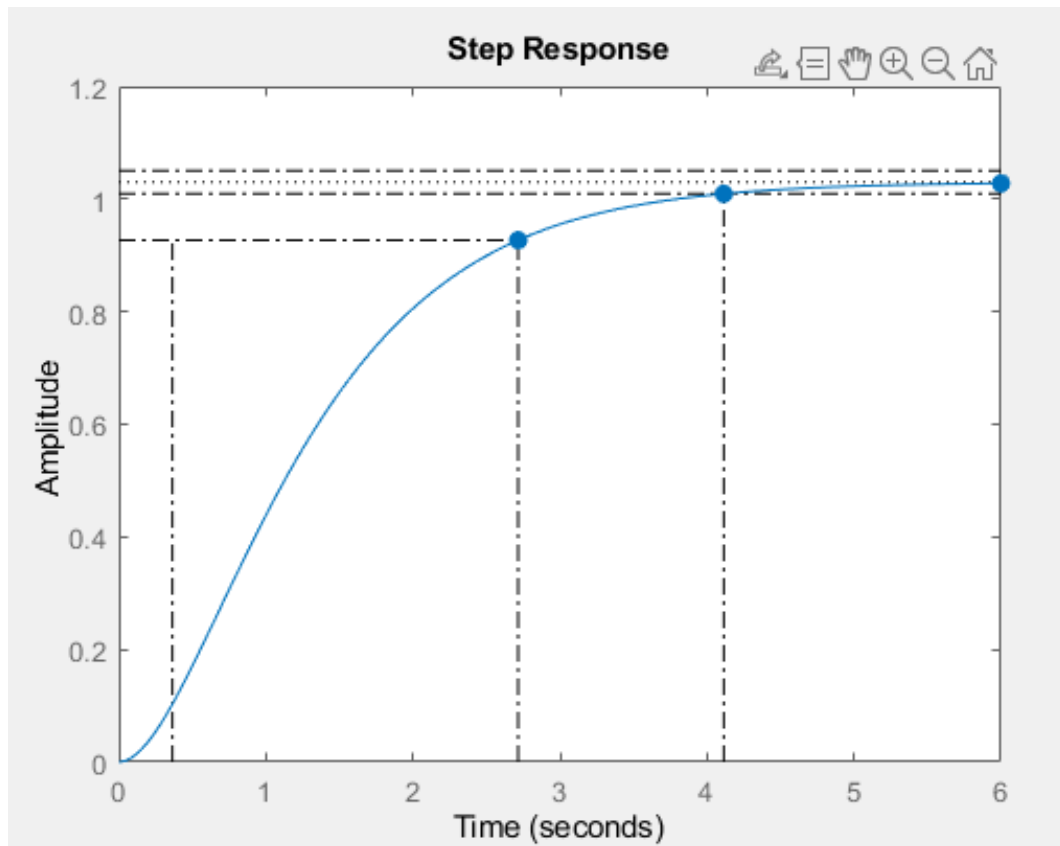
Pada sistem tersebut juga diperlukan kontroler yang dapat mengurangi efek pembebanan yang berasal dari perubahan nilai beban R. Perubahan nilai tersebut disebabkan oleh perubahan bukaan control valve pada sistem.

4.2 Hasil Pemodelan dari Sistem dari Sistem Pengaturan Flow

Berdasarkan hasil pemodelan sistem pada Bab 3 didapatkan model akhir plant seperti pada Persamaan 4.2

$$GH(s) = \frac{1.03}{0.468s^2 + 1.39s + 1} \quad (4.2)$$

Dilakukan pengujian *open loop* menggunakan sinyal unit step pada Persamaan 4.2 didapatkan hasil respon pada Gambar 4.1. Gambar 4.1 Respon open loop sistem pengaturan flow tanpa kontroler.



Gambar 4-2 Respons Open Loop Flow

Diperoleh hasil karakteristik system tersebut adalah :

Tabel 4-1 Karakteristik sistem open loop flow

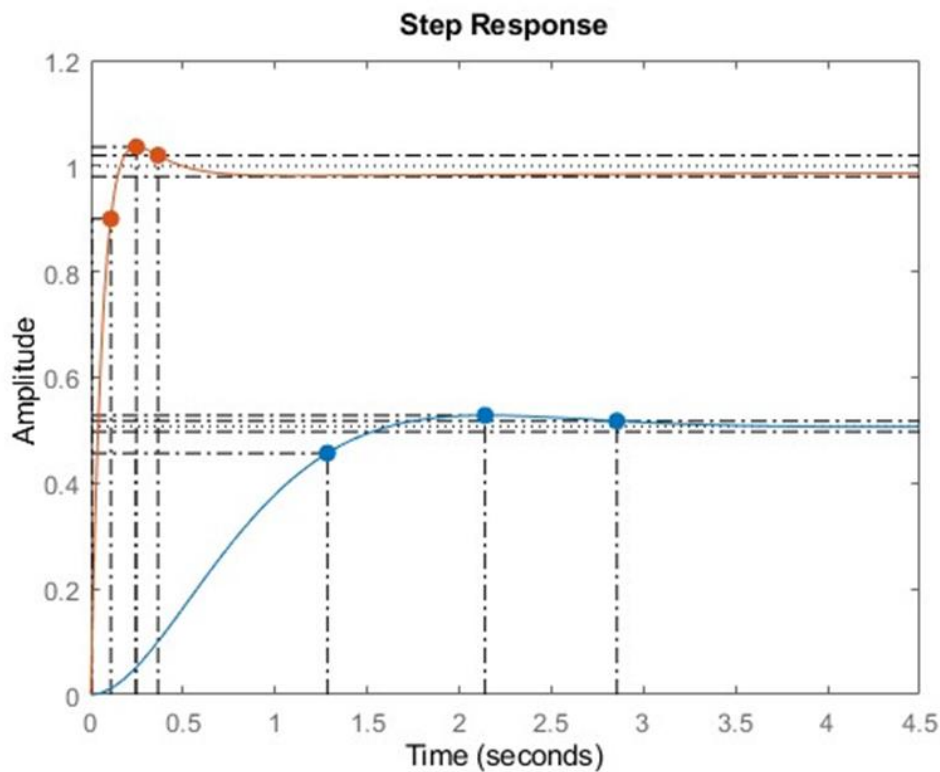
RiseTime	2.3516
TransientTime	4.1141
SettlingTime	4.1141
SettlingMin	0.9307
SettlingMax	1.0291
Overshoot	0
Undershoot	0
Peak:	1.0291
PeakTime:	6.7395

Dari data tersebut steady state pada 1.03 dari input set point atau sinyal step 1 sehingga didapat error steady state sebesar $1 - 1.03 = 0.03$. Pada kondisi belum dituning dan respon system open loop, system ini memiliki karakteristik rise time 2.35 detik, settling time yakni waktu mendekati steady state sebesar 4.11 detik dan tidak memiliki overshoot. Kesalahan keadaan tunak tersebut yang menjadikan dasar perlunya kontroler pada sistem pengaturan level PCT-100. Spesifikasi yang diinginkan adalah mampu menghilangkan kesalahan keadaan tunak serta mampu mempercepat respons sistem.

4.3 Hasil Pengujian Tuning PID dengan PSO Inner Loop

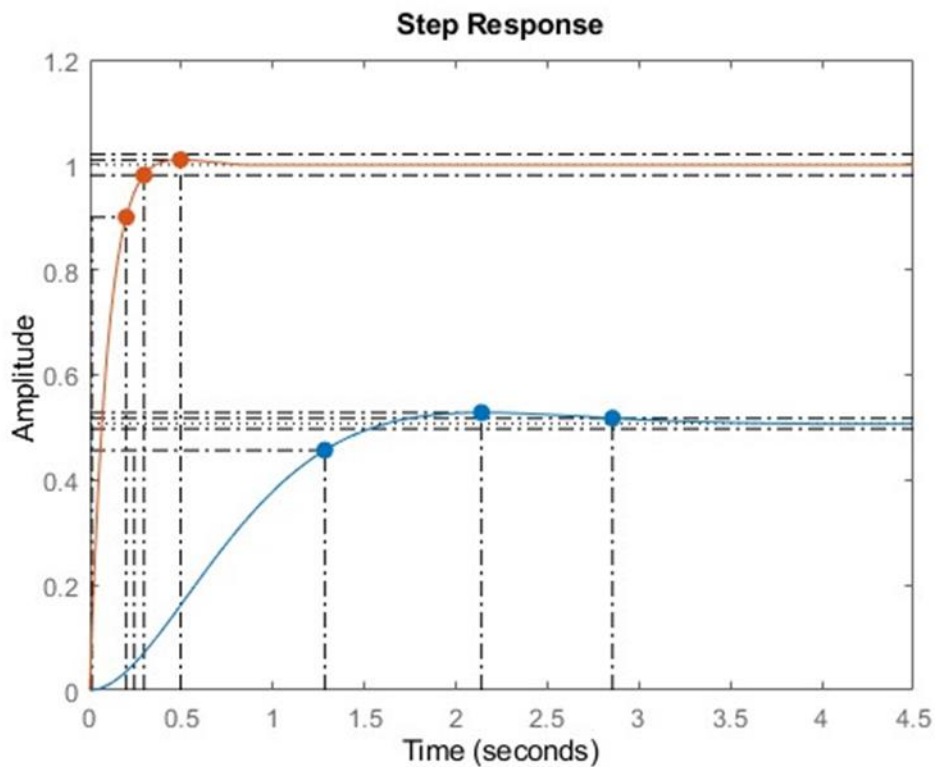
4.3.1 Pengujian Variasi $w=0.4$.

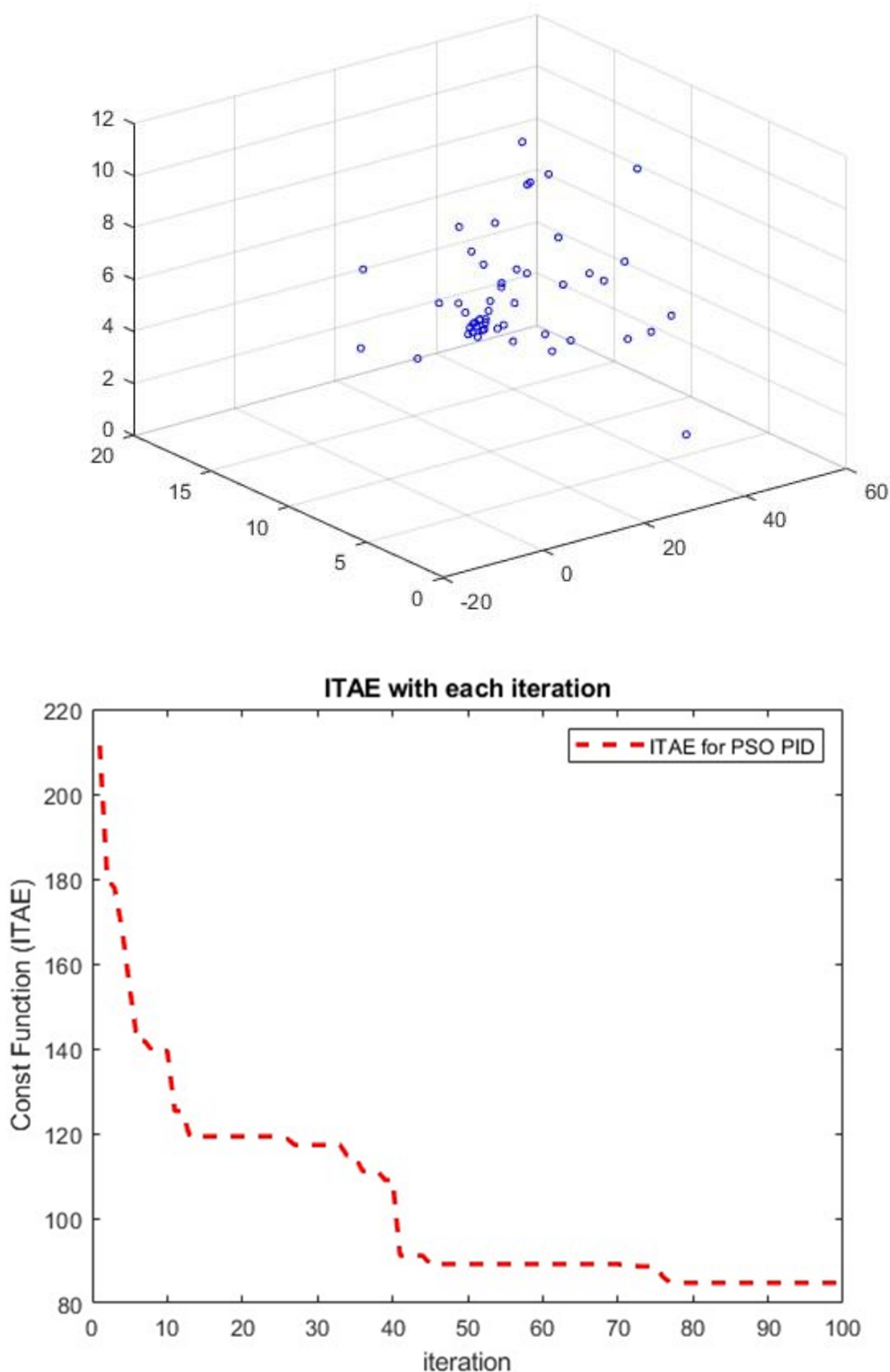
Pada pengujian ini dilakukan variasi variable $w = 0.4$ dengan parameter $N=50$, $c1=1.5$, $c2=1$ dan iterasi maksimal sebesar 100 kali iterasi dan luasan pencarian antara 0 sampai dengan 100. Didapatkan hasil plot grafik step response, function global per iteration sampai didapatkan nilai minimum Integral Time Absolute Error, serta plot swarm position dimana berisi variable K_p , K_i dan K_d yang paling optimal menurut algoritma PSO. Adapun data karakteristik system sebelum dan sesudah di tuning dapat dilihat pada tabel 4.2. Pada percobaan ini diperoleh nilai cost function terbaik yakni minimum ITAE sebesar 118.9098 dari cost function 314.1645. Pada pengujian ini diperoleh nilai gain optimal K_p 39.9480, K_i 4.2363, K_d 7.8599.



4.3.2 Pengujian Variasi $w=0.8$

Pada pengujian ini dilakukan variasi variable $w = 0.8$ dengan parameter $N=50$, $c1=1.5$, $c2=1$ dan iterasi maksimal sebesar 100 kali iterasi dan luasan pencarian antara 0 sampai dengan 100. Didapatkan hasil plot grafik step response, function global per iteration sampai didapatkan nilai minimum Integral Time Absolute Error, serta plot swarm position dimana berisi variable K_p , K_i dan K_d yang paling optimal menurut algoritma PSO. Adapun data karakteristik system sebelum dan sesudah di tuning dapat dilihat pada tabel 4.2. Pada percobaan ini diperoleh nilai cost function terbaik yakni minimum ITAE sebesar 84.7756 dari cost function 300.4918. Pada pengujian ini diperoleh nilai gain optimal K_p 16.7649, K_i 10.0828 dan, K_d 4.7702.



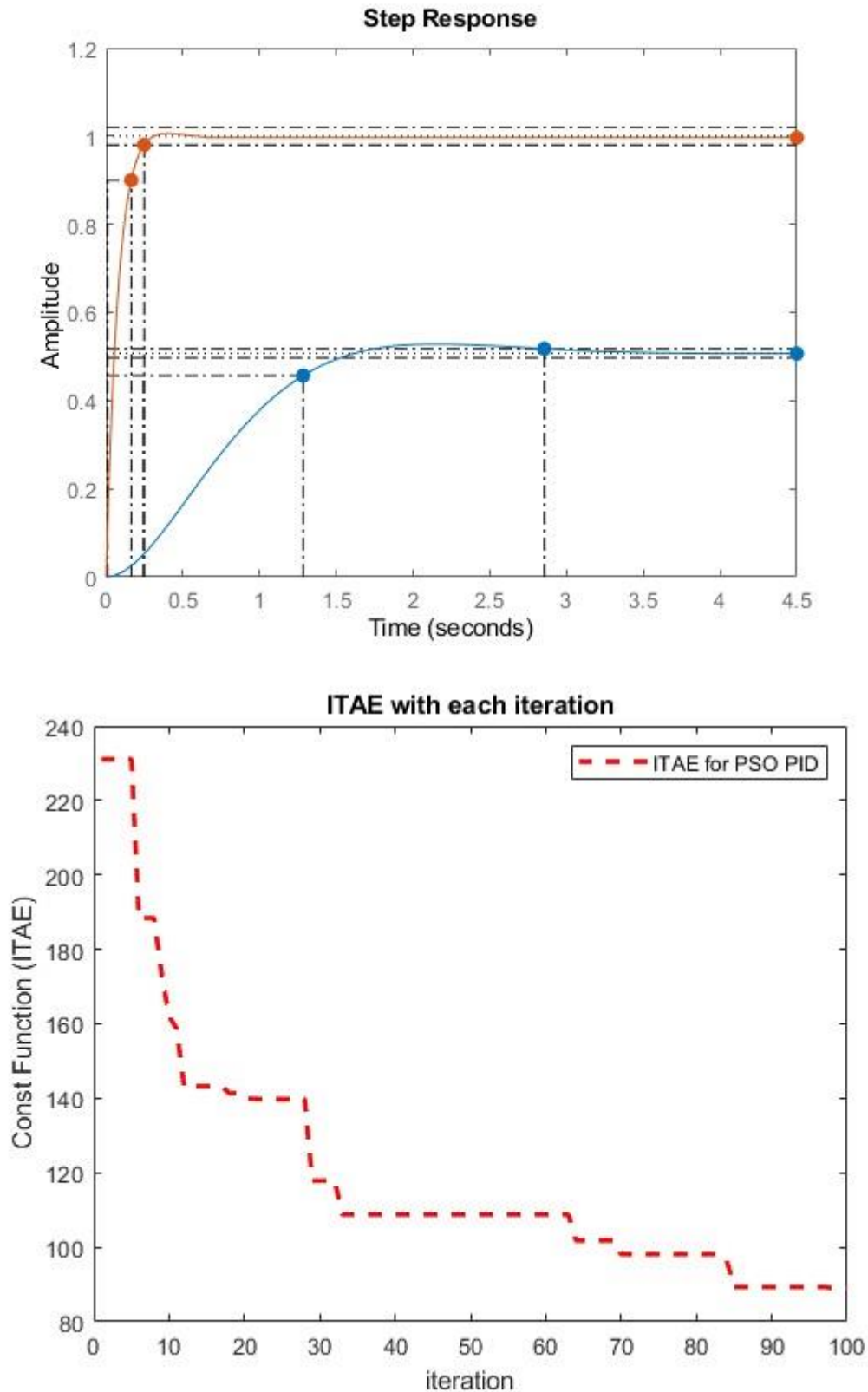


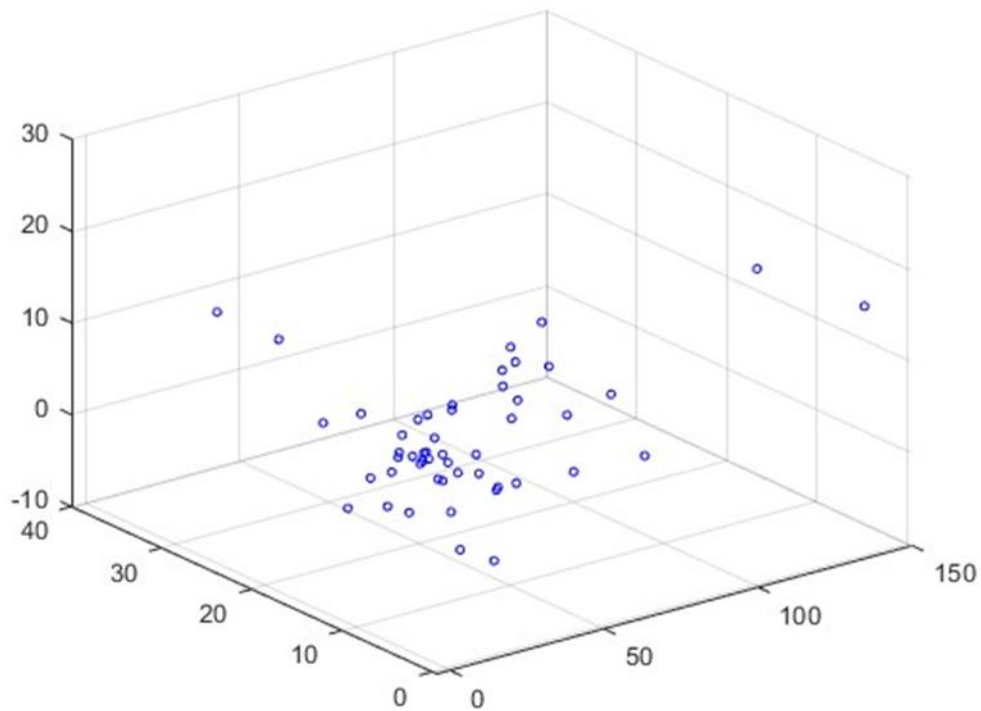
Gambar 4-4 Respon sistem pengaturan flow setelah dituning dengan $w = 0.8$

4.3.3 Pengujian Variasi $w = 0.9$

Pada pengujian ini dilakukan variasi variable $w = 0.9$ dengan parameter $N=50$, $c1=1.5$, $c2=1$ dan iterasi maksimal sebesar 100 kali iterasi dan luasan pencarian antara 0 sampai dengan 100. Didapatkan hasil plot grafik step response, function global per iteration sampai didapatkan nilai minimum Integral Time Absolute Error, serta plot swarm position dimana berisi variable

K_p , K_i dan K_d yang paling optimal menurut algoritma PSO. Adapun data karakteristik system sebelum dan sesudah di tuning dapat dilihat pada tabel 4.2. Pada percobaan ini diperoleh nilai cost function terbaik yakni minimum ITAE sebesar 89.0250 dari cost function 306.9654. Pada pengujian ini diperoleh nilai gain optimal K_p 20.8441, K_i 10.0045 dan, K_d 5.8969.

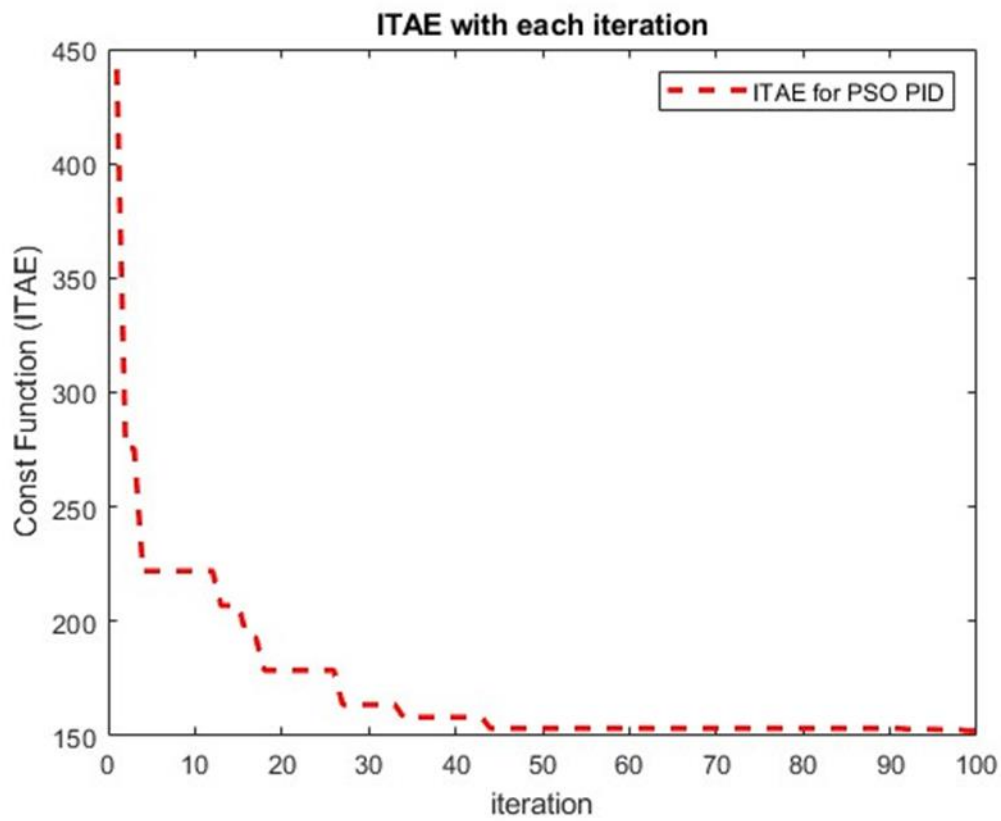
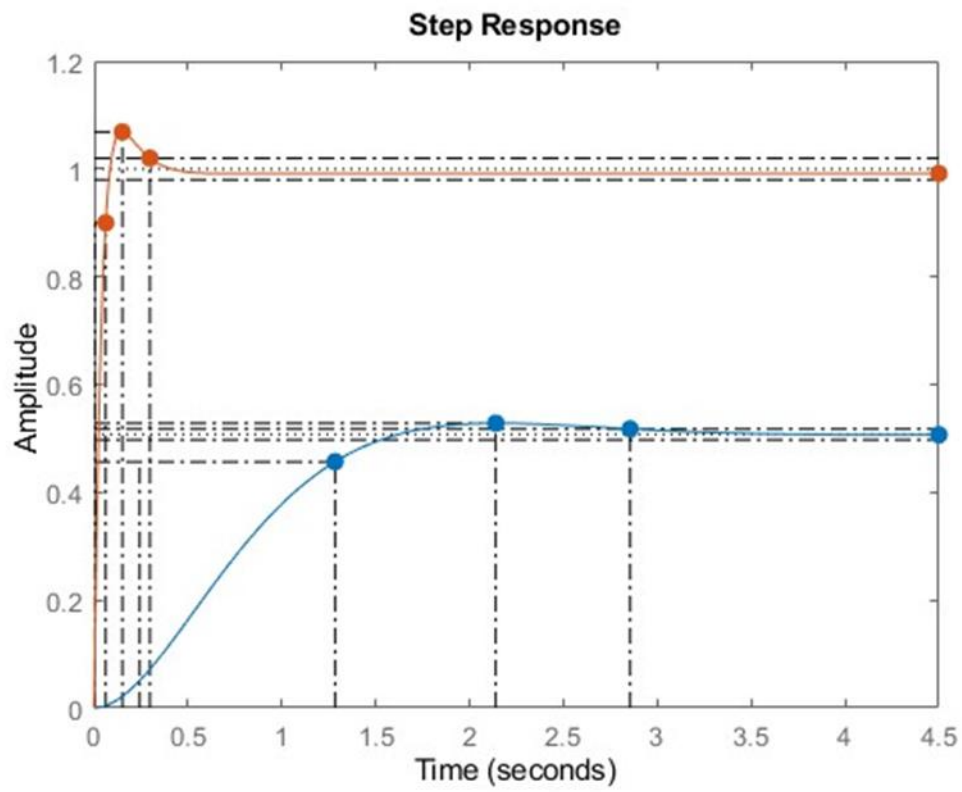


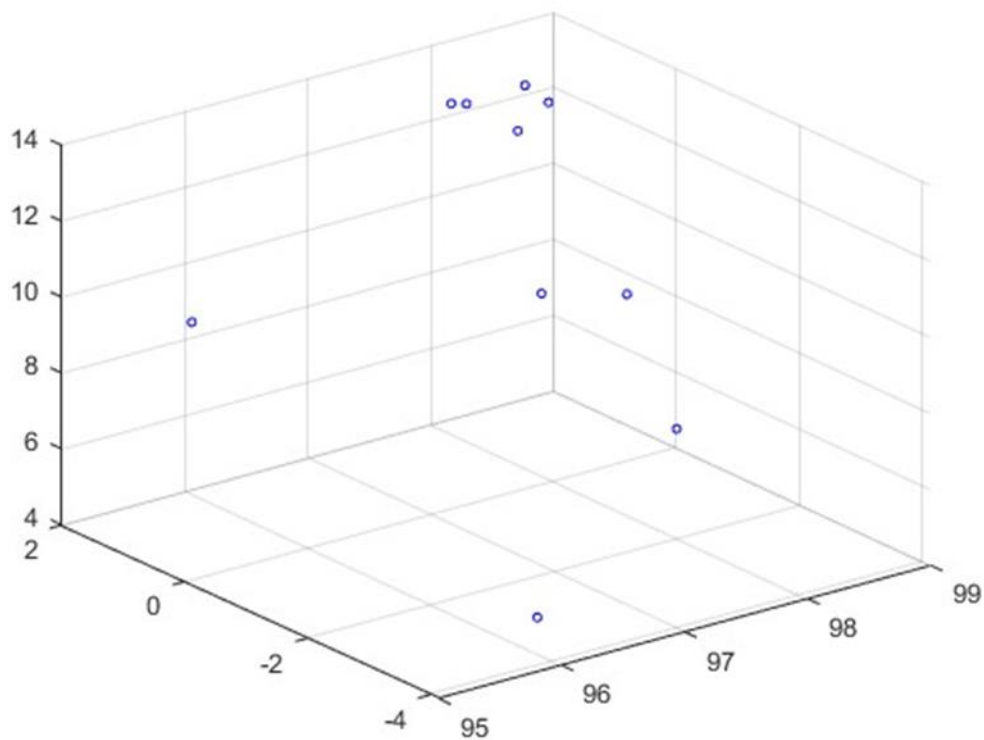


Gambar 4-5 Respon sistem pengaturan flow setelah dituning dengan $w=0.9$

4.3.4 Pengujian Jumlah Partikel (N) = 10

Pada pengujian ini dilakukan variasi variable jumlah partikel (N)=10 partikel dengan parameter $w=0.9$, $c1=1.5$, $c2=1$ dan iterasi maksimal sebesar 100 kali iterasi dan luasan pencarian antara 0 sampai dengan 100. Didapatkan hasil plot grafik step response, function global per iteration sampai didapatkan nilai minimum Integral Time Absolute Error, serta plot swarm position dimana berisi variable K_p , K_i dan K_d yang paling optimal menurut algoritma PSO. Adapun data karakteristik system sebelum dan sesudah di tuning dapat dilihat pada tabel 4.3. Pada percobaan ini diperoleh nilai cost function terbaik yakni minimum ITAE sebesar 152.1769 dari cost function 441.1213. Pada pengujian ini diperoleh nilai gain optimal K_p 97.8894, K_i 0.4766 dan, K_d 12.8622.

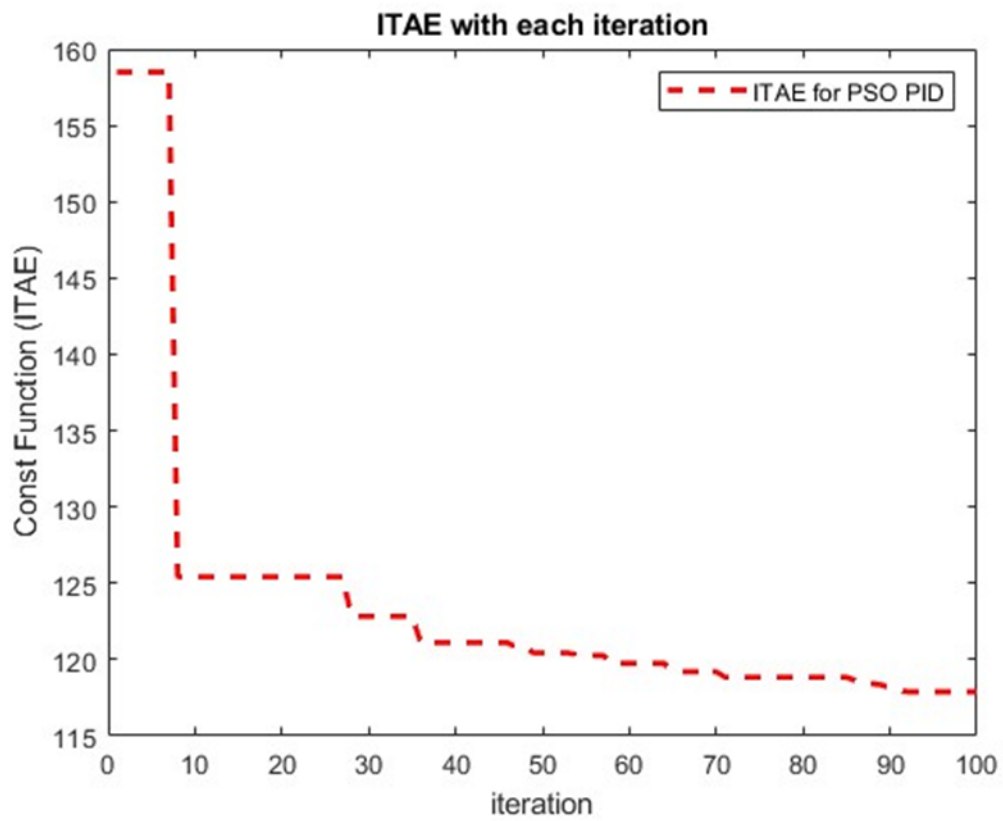
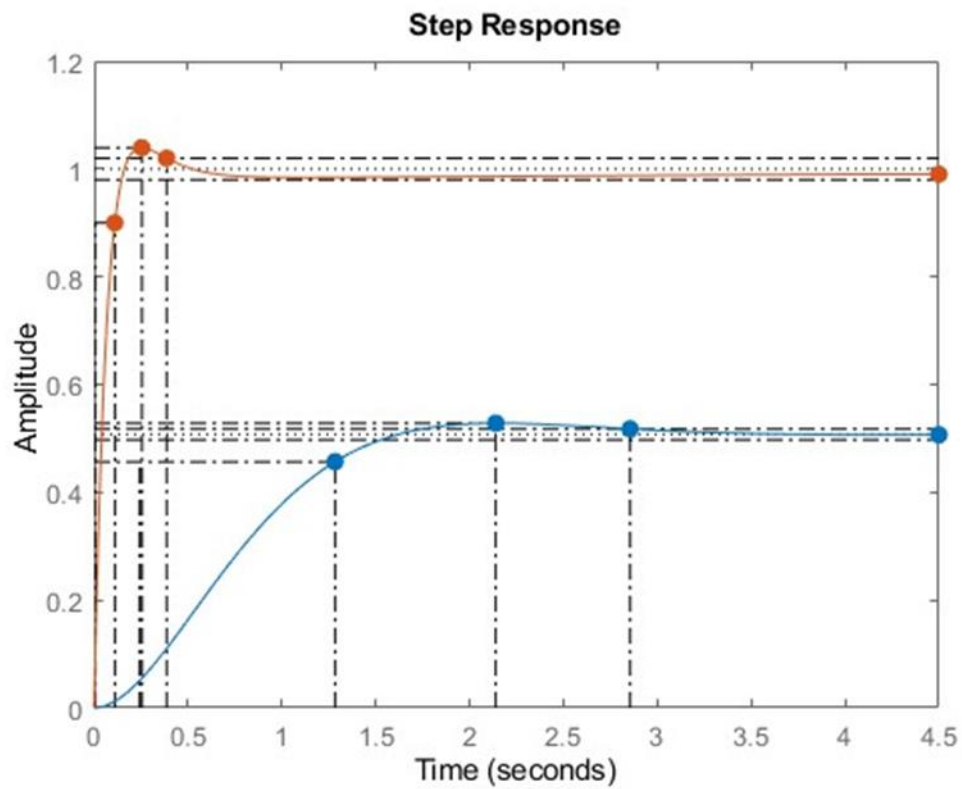


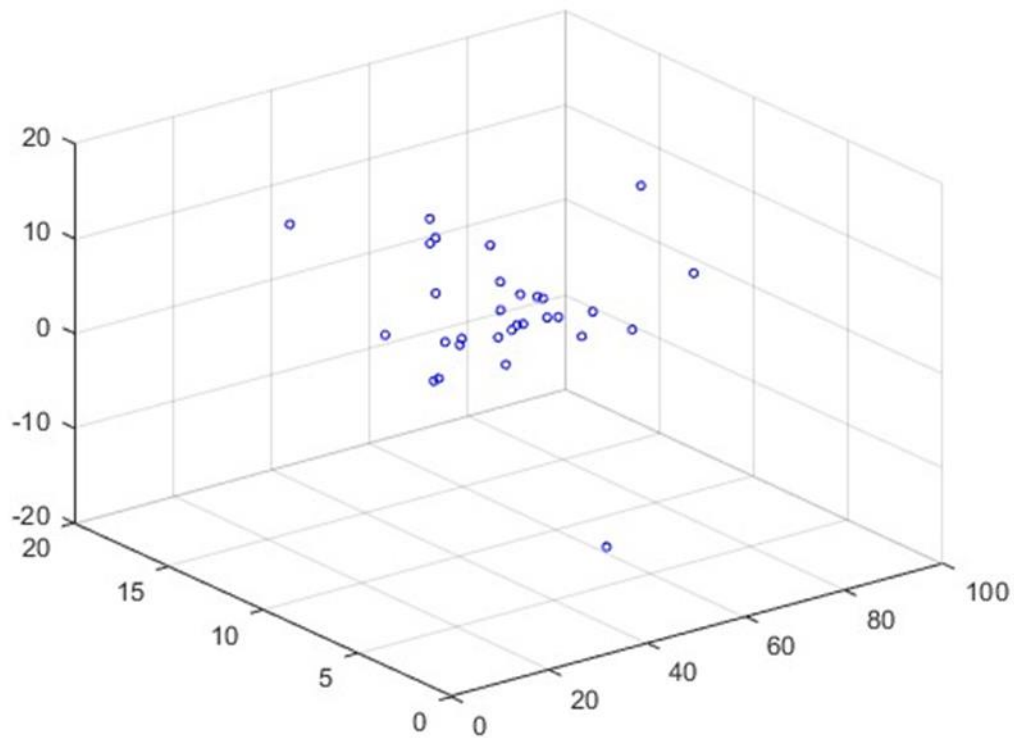


Gambar 4-6 Respon sistem pengaturan flow setelah dituning dengan N=10

4.3.5 Pengujian Jumlah Partikel (N)=30

Pada pengujian ini dilakukan variasi variable jumlah partikel (N)=10 partikel dengan parameter $w=0.9$, $c1=1.5$, $c2=1$ dan iterasi maksimal sebesar 100 kali iterasi dan luasan pencarian antara 0 sampai dengan 100. Didapatkan hasil plot grafik step response, function global per iteration sampai didapatkan nilai minimum Integral Time Absolute Error, serta plot swarm position dimana berisi variable K_p , K_i dan K_d yang paling optimal menurut algoritma PSO. Adapun data karakteristik system sebelum dan sesudah di tuning dapat dilihat pada tabel 4.3. Pada percobaan ini diperoleh nilai cost function terbaik yakni minimum ITAE sebesar 117.8835 dari cost function 209.6887. Pada pengujian ini diperoleh nilai gain optimal K_p 39.1889, K_i 6.7229 dan, K_d 7.6187.

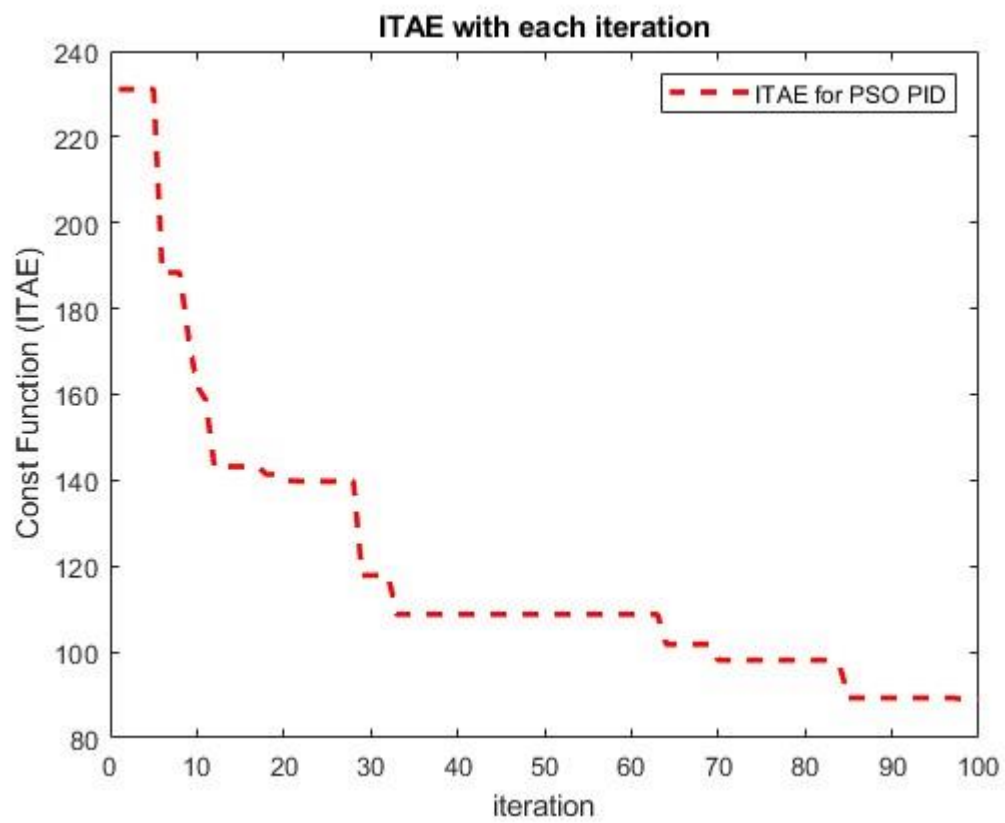
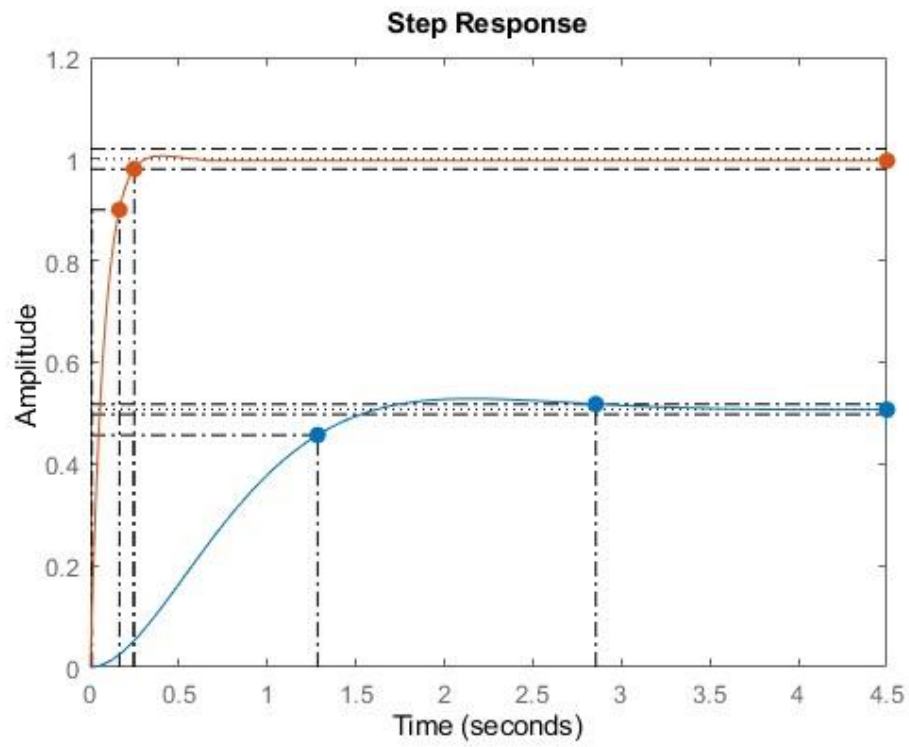


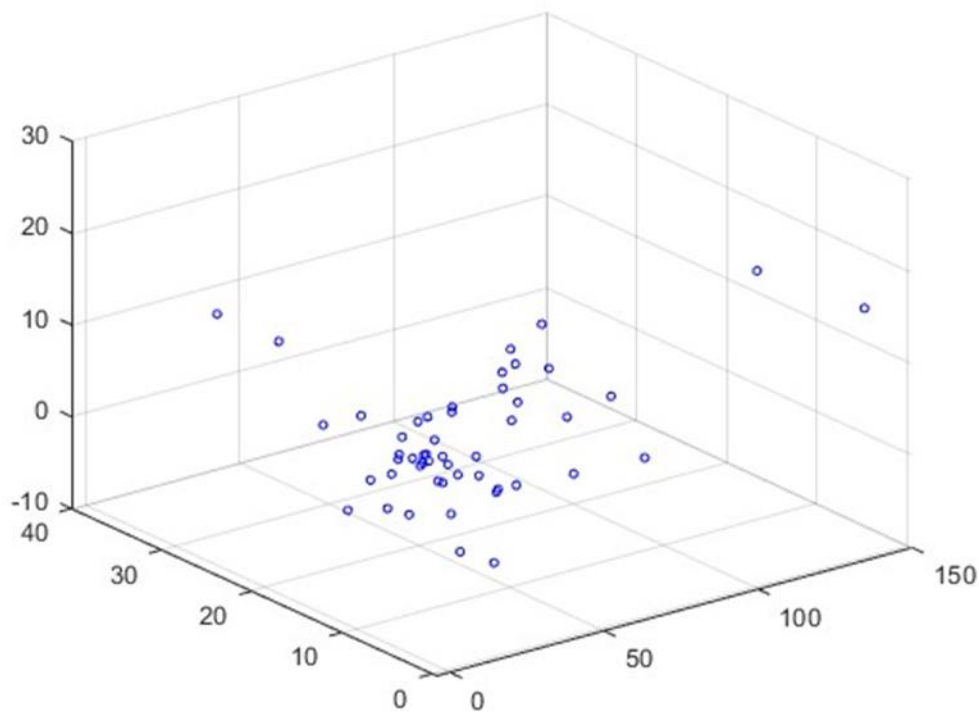


Gambar 4-7 Respon sistem pengaturan flow setelah dituning dengan N=30

4.3.6 Pengujian Jumlah Partikel (N)=50

Pada pengujian ini dilakukan variasi variable Jumlah Partikel (N)=50 dengan parameter $w=0.9$, $c1=1.5$, $c2=1$ dan iterasi maksimal sebesar 100 kali iterasi dan luasan pencarian antara 0 sampai dengan 100. Didapatkan hasil plot grafik step response, function global per iteration sampai didapatkan nilai minimum Integral Time Absolute Error, serta plot swarm position dimana berisi variable K_p , K_i dan K_d yang paling optimal menurut algoritma PSO. Adapun data karakteristik system sebelum dan sesudah di tuning dapat dilihat pada tabel 4.3. Pada percobaan ini diperoleh nilai cost function terbaik yakni minimum ITAE sebesar 89.0250 dari cost function 306.9654. Pada pengujian ini diperoleh nilai gain optimal K_p 20.8441, K_i 10.0045 dan, K_d 5.8969.





Gambar 4-8 Respon sistem pengaturan flow setelah dituning dengan N=50

4.3.7 Pembahasan

Tabel 4-2 Hasil Tuning variasi w

ITEM Rata rata		w = 0.4	w = 0.8	w = 0.9
Parameter PID	Kp	39.9480	16.7649	20.8441
	Ki	4.2363	10.0828	10.0045
	Kd	7.8599	4.7702	5.8969
Performansi PSO	Cost Function	314.1645	300.4918	306.9654
	Fitness Value (min ITAE)	118.9098	84.7756	89.0250
Spesifikasi Performansi Dinamik	Overshoot	3.5957	0.9355	0.5769
	Rise Time	0.1019	0.1890	0.1554
	Settling time	0.3639	0.2954	0.2473
	Error Steady State	0.0360	0.0094	0.0058

Bobot Inersia digunakan untuk meredam kecepatan partikel ketika iterasi sehingga memungkinkan partikel menuju konvergensi ke titik target secara akurat dan efisien. Nilai bobot inersia yang tinggi digunakan untuk mencari nilai global eksplorasi, sedangkan nilai yang rendah digunakan untuk menekan pencarian nilai lokal. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa nilai Kp, Ki, dan Kd berbeda pada setiap nilai w. Nilai w sendiri merupakan bobot yang digunakan dalam algoritma Particle Swarm Optimization (PSO). Pada setiap nilai w yang berbeda, akan terjadi perbedaan pada nilai Kp, Ki, dan Kd yang dihasilkan oleh PSO.

Performansi PSO dapat dilihat dari nilai Cost Function dan Fitness Value. Nilai Cost Function menunjukkan seberapa baik algoritma PSO dalam menemukan solusi yang optimal,

sedangkan nilai Fitness Value menunjukkan seberapa baik hasil yang diperoleh dari algoritma PSO dibandingkan dengan metode lain. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa nilai Cost Function bervariasi terhadap tiap nilai w namun dari hasil run program selalu mencari nilai terbaik yakni minimize Integral Time Absolute Error, terlihat bahwa setiap penambahan nilai w nilai Fitness value menurun, kecuali pada data $w=0.9$ fitness value tidak menjadi optimal namun hal tersebut tidak mengapa karena pada bobot $w=0.9$ menghasilkan system tuning dengan spesifikasi performansi dinamik yang paling baik dibandingkan dengan nilai w yang lain yakni $w=0.4$ dan $w=0.8$. Dari uraian tersebut nilai w yang semakin bertambah menghasilkan fitness value yang paling optimum.

Spesifikasi Performansi Dinamik menunjukkan bagaimana sistem berperilaku setelah diberikan suatu sinyal masukan. Nilai Overshoot menunjukkan seberapa jauh sistem melebihi nilai setpoint, Rise Time menunjukkan berapa lama sistem mencapai nilai setpoint setelah diberikan sinyal masukan, Settling Time menunjukkan berapa lama sistem mencapai kestabilan setelah diberikan sinyal masukan, dan Error Steady State menunjukkan seberapa dekat sistem dengan nilai setpoint setelah mencapai kestabilan. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa semua nilai spesifikasi performansi dinamik menurun pada setiap peningkatan nilai w . Hal ini menunjukkan bahwa sistem menjadi lebih stabil dan mendekati nilai setpoint pada setiap peningkatan nilai w . Dari semua nilai w dipilih nilai $w=0.9$ dikarenakan menghasilkan performansi dinamik yang paling optimal dimana system yang detuning dengan nilai $w=0.9$ memiliki nilai overshoot, settling time, rise time dan error steady state yang paling kecil di antara nilai w yang lain yakni $w=0.4$ dan $w=0.8$.

Tabel 4-3 Hasil Tuning variasi N

ITEM Rata rata		N = 10	N = 30	N = 50
Parameter PID	Kp	97.8894	39.1889	20.8441
	Ki	0.4766	6.7229	10.0045
	Kd	12.8622	7.6187	5.8969
Performansi PSO	Cost Function	441.1213	209.6887	306.9654
	Fitness Value (min ITAE)	152.1769	117.8835	89.0250
Spesifikasi Performansi Dinamik	Overshoot	6.8550	3.9259	0.5769
	Rise Time	0.0580	0.1040	0.1554
	Settling time	0.2969	0.3862	0.2473
	Error Steady State	0.0686	0.0393	0.0058

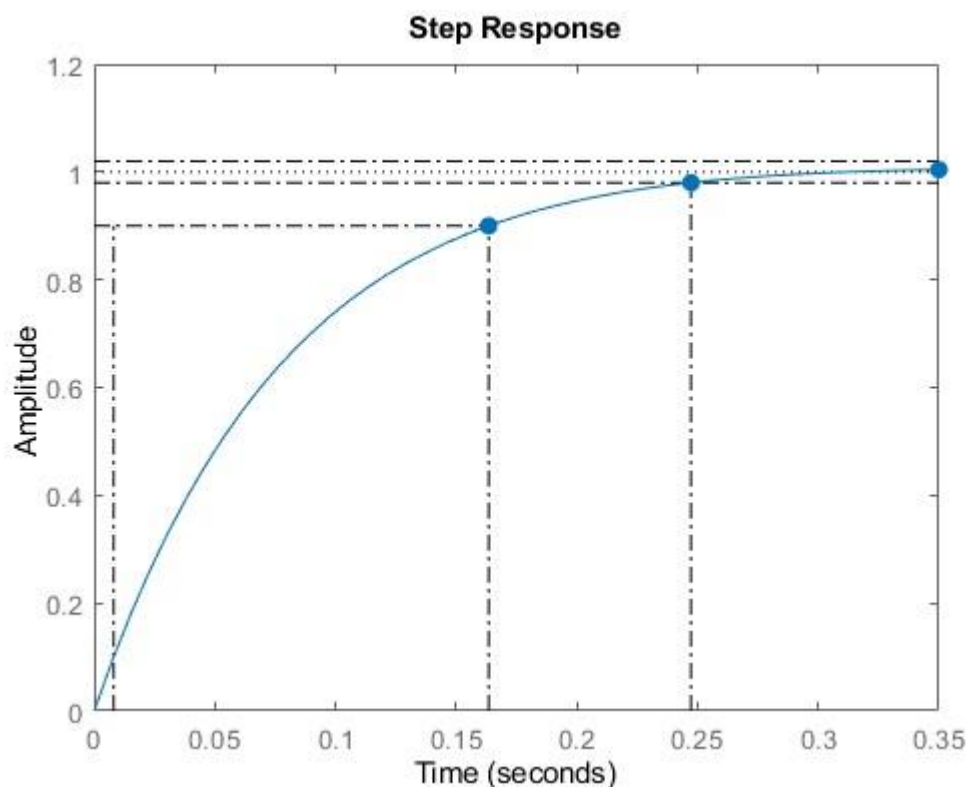
Pada tabel di atas menunjukkan setiap peningkatan nilai N menghasilkan parameter Kp, Ki, Kd yang berbeda-beda bergantung pada parameter PSO yang digunakan untuk tuning dan nilai optimum dari Cost Function serta fitness value. Percobaan di atas menggunakan parameter $w=0.9$, $c1=1.5$, $c2=1$ dan maksimum iterasi 100 kali serta ruang pencarian antara 0 sampai dengan 100.

Pada performansi PSO bertambahnya nilai N menunjukkan bahwa fitness value semakin mengecil. Hal ini menunjukkan bahwa nilai N atau jumlah partikel yang semakin besar menunjukkan performansi PSO yang optimal. Namun hal tersebut juga bergantung dengan parameter yang dimasukkan seperti nilai bobot inersia atau w .

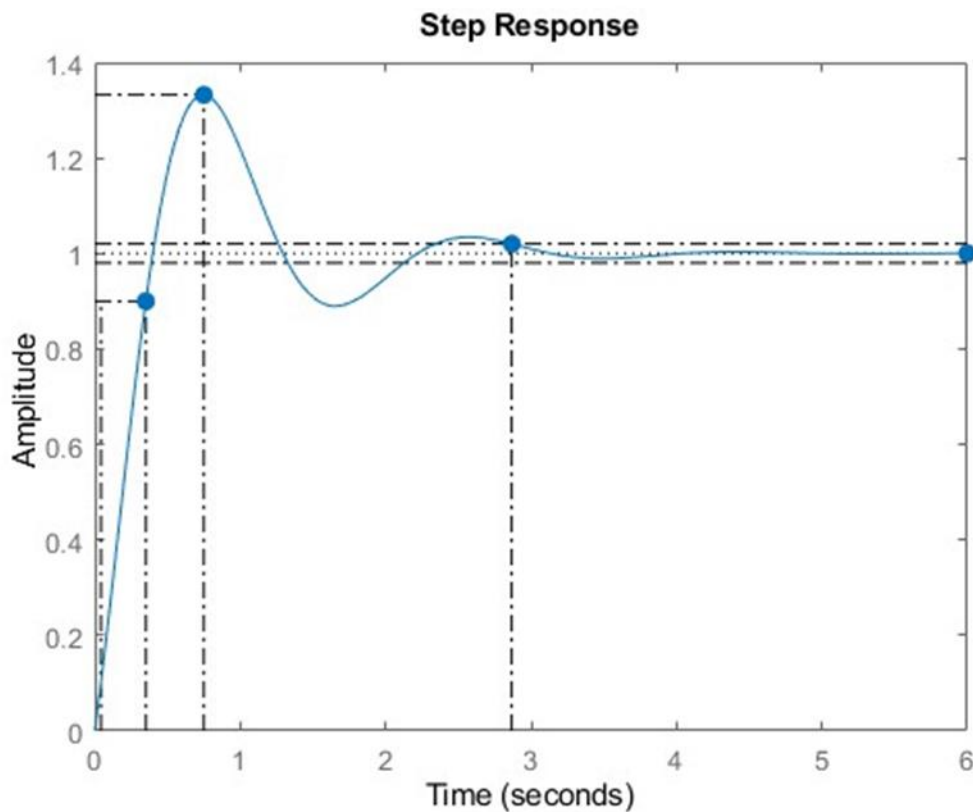
Semakin banyak jumlah partikel dapat meningkatkan performansi dinamik dimana bertambahnya nilai partikel menyebabkan nilai overshoot mengecil serta nilai steady state error yang kecil juga meskipun rise time dan settling time bervariasi. Hal ini dikarenakan peningkatan partikel semakin lama dalam pencarian nilai objektif akibat setiap partikel melakukan iterasi secara terus menerus sampai nilai minimum fungsi objektif diinginkan. Peningkatan jumlah partikel menyebabkan semakin banyak titik-titik area yang dijajaki sehingga semakin meningkatkan peluang dalam menentukan titik optimal dari seluruh area yang dilewati. Sedangkan jika jumlah partikel semakin kecil akan menyebabkan konvergensi menjadi premature karena banyak titik-titik kosong yang tidak dijajaki, sehingga tidak jarang hanya menemukan nilai lokal minimum. Dari percobaan tersebut jumlah partikel terbaik yang akan digunakan dalam pengujian ini adalah 50 karena menghasilkan performansi sistem yang terbaik.

4.3.8 Perbandingan Tuning PSO-PID dengan Ziegler Nichols pada Inner Loop Flow

Berikut adalah perbandingan hasil tuning PID menggunakan Ziegler Nichols dan Menggunakan Tuning PSO pada inner loop yakni control aliran atau flow. Pada gambar di bawah merupakan hasil step response parameter K_p , K_i , K_d yang dimasukkan ke dalam persamaan transfer function *flow plant*.



Gambar 4-9 Hasil Respon Sistem Pengaturan Flow Tuning Dengan PSO-PID



Gambar 4-10 Hasil Respon Sistem Pengaturan Flow Tuning Dengan Ziegler Nichols

Tabel 4-4 Perbandingan PSO PID dengan Ziegler Nichols pada Sistem Pengaturan Flow

Tuning PID	Parameter PID			Indeks Perfomansi Pengendalian				
	Kp	Ki	Kd	ITAE	ISE	Max Overshoot (%)	Rise Time	Settling Time
PSO-PID	20.8441	10.0045	5.8969	0.6534	0.2022	0.5769	0.1554	0.2473
Ziegler Nichols	8.1553	16.3107	1.0194	0.4211	0.2984	33.2133	0.3095	2.8674

Dari tabel tersebut, terlihat bahwa nilai Kp, Ki, dan Kd berbeda pada metode PSO-PID dan metode Ziegler Nichols. Metode PSO-PID menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) untuk menentukan nilai Kp, Ki, dan Kd, sedangkan metode Ziegler Nichols menggunakan rumus matematis tertentu untuk menentukan nilai Kp, Ki, dan Kd. Nilai PID yang digunakan pada Particle Swarm Optimization adalah nilai dari hasil tuning parameter PSO pada N=50 dan w=0.9 pada persamaan transfer function flow plant yang dituning dengan PSO. Sedangkan nilai PID Ziegler Nichols diperoleh dari perhitungan matematis open-loop system pada persamaan transfer function flow plant.

Dari tabel di atas dapat dianalisa bahwa Indeks performansi pengendalian menunjukkan seberapa baik suatu metode dalam mengendalikan sistem. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa nilai ITAE (Integral Time Absolute Error) dan ISE (Integral Squared Error) lebih kecil pada metode PSO-PID dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols. Hal ini menunjukkan bahwa

metode PSO-PID lebih baik dalam mengendalikan sistem dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols.

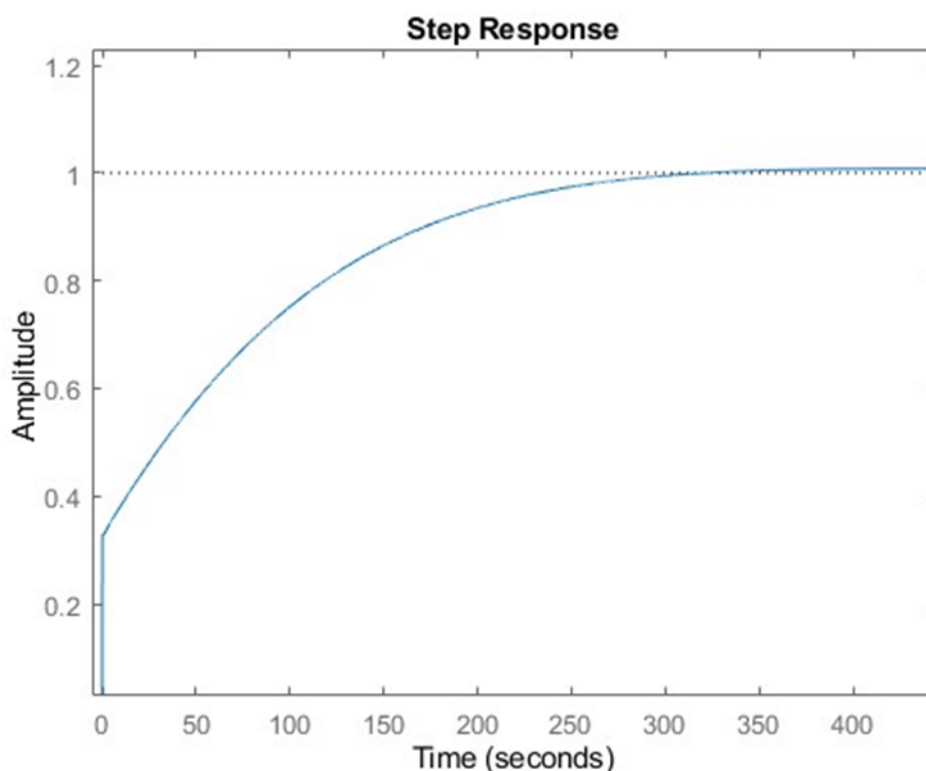
Nilai Max Overshoot (%) menunjukkan seberapa jauh sistem melebihi nilai setpoint setelah diberikan sinyal masukan. Nilai Max Overshoot lebih kecil pada metode PSO-PID dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols, yang menunjukkan bahwa sistem lebih stabil pada metode PSO-PID.

Nilai Rise Time menunjukkan berapa lama sistem mencapai nilai setpoint setelah diberikan sinyal masukan, sedangkan nilai Settling Time menunjukkan berapa lama sistem mencapai kestabilan setelah diberikan sinyal masukan. Nilai Rise Time dan Settling Time lebih kecil pada metode PSO-PID dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols, yang menunjukkan bahwa sistem lebih cepat mencapai nilai setpoint dan kestabilan pada metode PSO-PID.

Kesimpulannya, metode PSO-PID lebih baik dalam mengendalikan sistem dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols, karena memiliki nilai ITAE dan ISE yang lebih kecil, Max Overshoot yang lebih kecil, Rise Time yang lebih kecil, dan Settling Time yang lebih kecil.

4.4 Hasil Pengujian Tuning PID pada Outer Loop Level Plant

4.4.1 Hasil Tuning Outer Loop Menggunakan Ziegler Nichols



Gambar 4-11 Hasil Tuning Outer Loop menggunakan Ziegler Nichols

Grafik di atas merupakan hasil grafik step response dari persamaan outer loop level yang telah dituning dengan PID controller menggunakan metode ziegler Nichols. Hasil tersebut diperoleh dari persamaan hasil tuning inner loop dikalikan dengan persamaan plant level

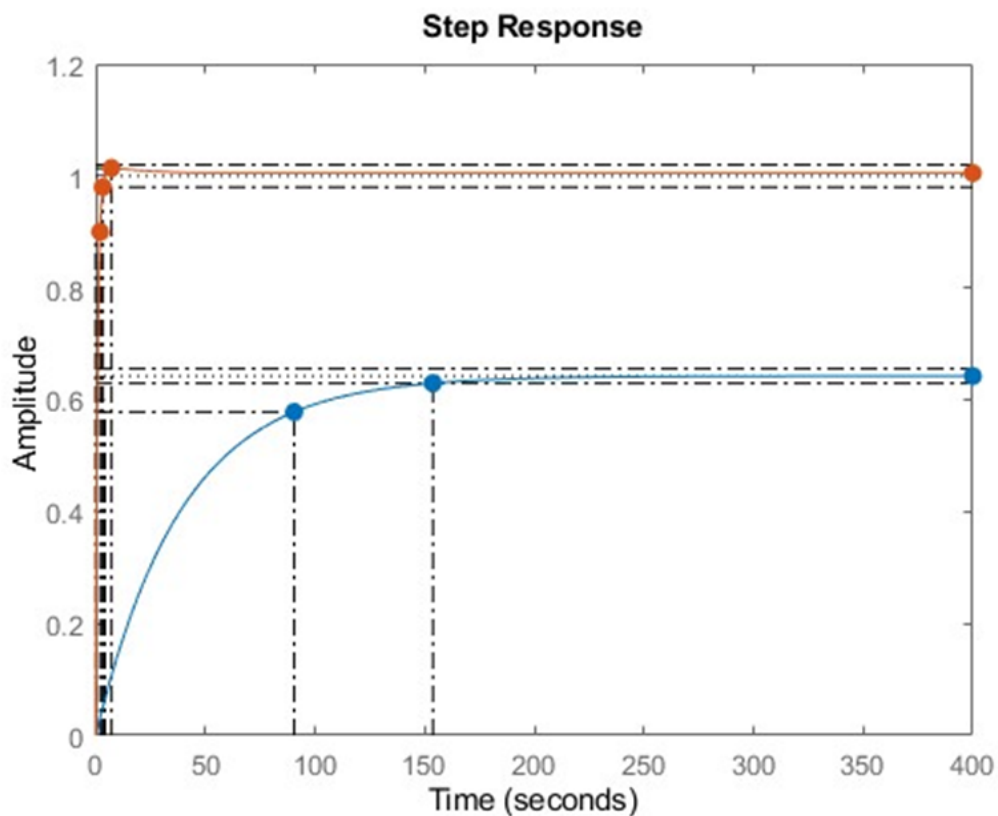
sehingga terbentuk open-loop system yang kemudian persamaan tersebut diberikan sinyal step open loop untuk menentukan parameter nilai K_p , K_i , K_d dengan menggunakan Ziegler Nichols Tuning sehingga diperoleh besaran K_p 1.0595, K_i 0.0095 dan K_d 29.6667

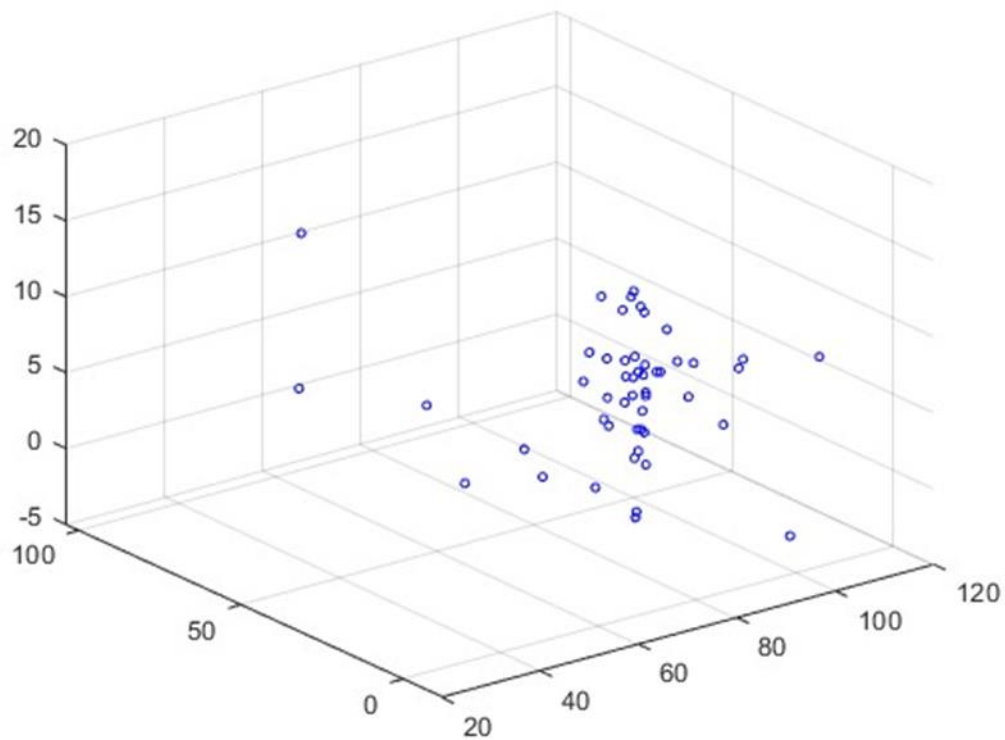
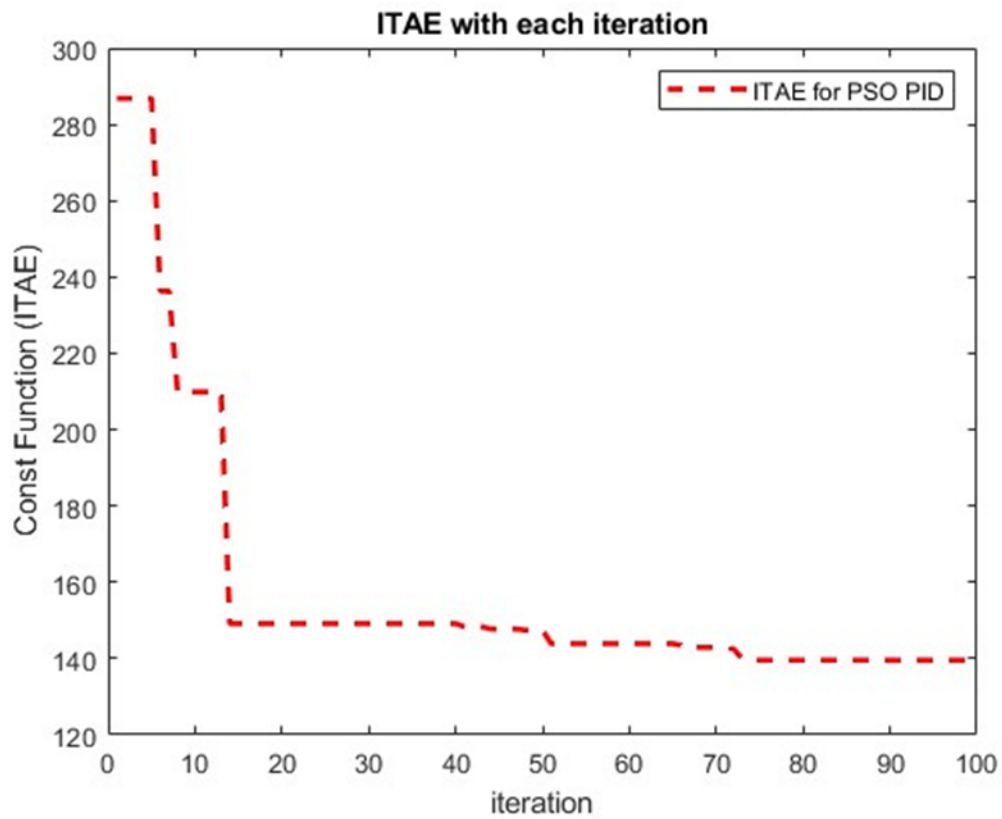
RiseTime	171.7323
Transient Time	260.7723
SettlingTime	260.7723
Overshoot	0.7598
Undershoot	0
Peak	1.0076
Peak Time	424.3901

Dari data di atas diperoleh karakteristik sistem sebagai berikut Rise Time sistem adalah 171.7323, Transient Time adalah 260.7723, dan Settling Time adalah 260.7723. Overshoot yang terjadi adalah 0.7598, tidak ada undershoot yang terjadi, dan nilai peak yang tercapai adalah 1.0076 pada waktu peak 424.3901.

4.4.2 Hasil Tuning Outer Loop Menggunakan Particle Swarm Optimization

Berikut adalah hasil tuning PID outer loop menggunakan metode PSO dengan parameter $w=0.9$, $N=50$, $c_1=1.5$, $c_2=1$ dan maksimal iterasi adalah 100 serta search space 0 sampai dengan 100. Data percobaan dapat dilihat pada gambar berikut.





Gambar 4-12 Hasil tuning Outer loop menggunakan PSO PID

Dari data gambar di atas diperoleh Nilai cost function adalah 301.6425, nilai Minimum ITAE atau fitness value adalah 139.5481, nilai K_p adalah 68.4639, nilai K_i adalah 1.8237, nilai K_d adalah 10.2855, dan nilai error steady state adalah 0.0140. Kemudian diperoleh karakteristik sistem setelah di tuning menggunakan PID pada tabel berikut.

Tabel 4-5 Karakteristik respon outer loop setelah dituning dengan PSO-PID

RiseTime	2.0383
Transient Time	3.2569
SettlingTime	3.2569
Overshoot	1.4001
Undershoot	0
Peak	1.0140
Peak Time	7.2045

Dari tabel di atas dijelaskan bahwa Rise Time sistem adalah 2.0383, Transient Time adalah 3.2569, dan Settling Time adalah 3.2569. Overshoot yang terjadi adalah 1.4001, tidak ada undershoot yang terjadi, dan nilai peak yang tercapai adalah 1.0140 pada waktu peak 7.2045.

4.4.3 Pembahasan

Tabel 4-6 Perbandingan Hasil tuning PSO PID dengan Ziegler Nichols pada outer loop

Tuning PID	Parameter PID			Indeks Performansi Pengendalian				
	K_p	K_i	K_d	ITAE	ISE	Max Overshoot (%)	Rise Time	Settling Time
PSO-PID	68.4639	1.8237	10.2855	1.51	0.5481	1.4001	2.0383	3.2569
Ziegler Nichols	1.0595	0.0095	29.6667	46.26	8.918	0.7598	171.7323	260.7723

Dari tabel tersebut, terlihat bahwa nilai K_p , K_i , dan K_d berbeda pada metode PSO-PID dan metode Ziegler Nichols. Metode PSO-PID menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) untuk menentukan nilai K_p , K_i , dan K_d , sedangkan metode Ziegler Nichols menggunakan rumus matematis tertentu untuk menentukan nilai K_p , K_i , dan K_d .

Indeks performansi pengendalian menunjukkan seberapa baik suatu metode dalam mengendalikan sistem. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa nilai ITAE (Integral Time Absolute Error) dan ISE (Integral Squared Error) lebih kecil pada metode PSO-PID dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols. Hal ini menunjukkan bahwa metode PSO-PID lebih baik dalam mengendalikan sistem dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols.

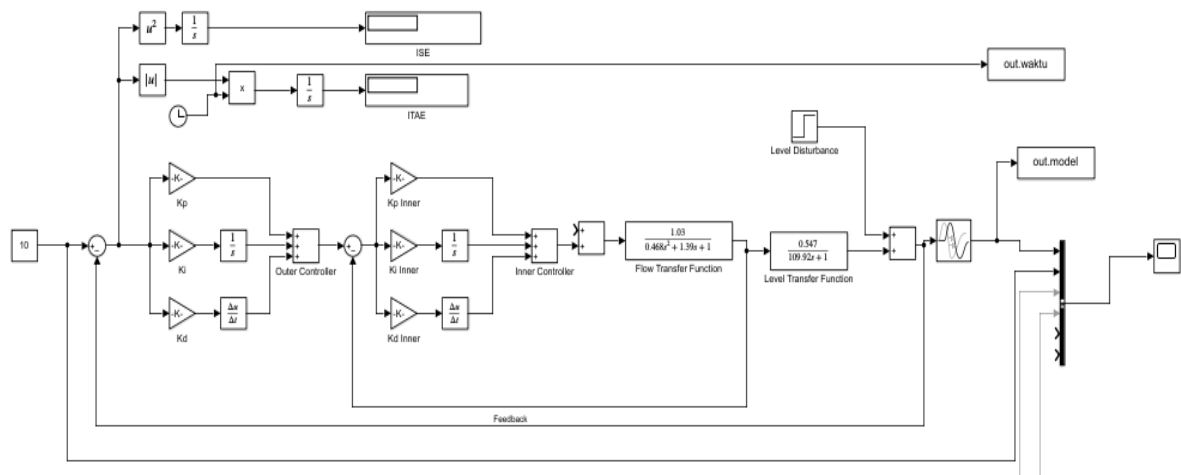
Nilai Max Overshoot (%) menunjukkan seberapa jauh sistem melebihi nilai setpoint setelah diberikan sinyal masukan. Nilai Max Overshoot lebih besar pada metode PSO-PID dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols. Meskipun terdapat overshoot tetapi performansi sistem pada metode PSO PID lebih baik dibandingkan dengan Ziegler Nichols.

Nilai Rise Time menunjukkan berapa lama sistem mencapai nilai setpoint setelah diberikan sinyal masukan, sedangkan nilai Settling Time menunjukkan berapa lama sistem mencapai kestabilan setelah diberikan sinyal masukan. Nilai Rise Time dan Settling Time lebih kecil pada metode PSO-PID dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols, yang menunjukkan bahwa sistem lebih cepat mencapai nilai setpoint dan kestabilan pada metode PSO-PID.

Kesimpulannya, meskipun metode PSO-PID memiliki nilai Max Overshoot yang lebih besar, metode ini lebih baik dalam mengendalikan sistem dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols karena memiliki nilai ITAE dan ISE yang lebih kecil, Rise Time yang lebih kecil, dan Settling Time yang lebih kecil.

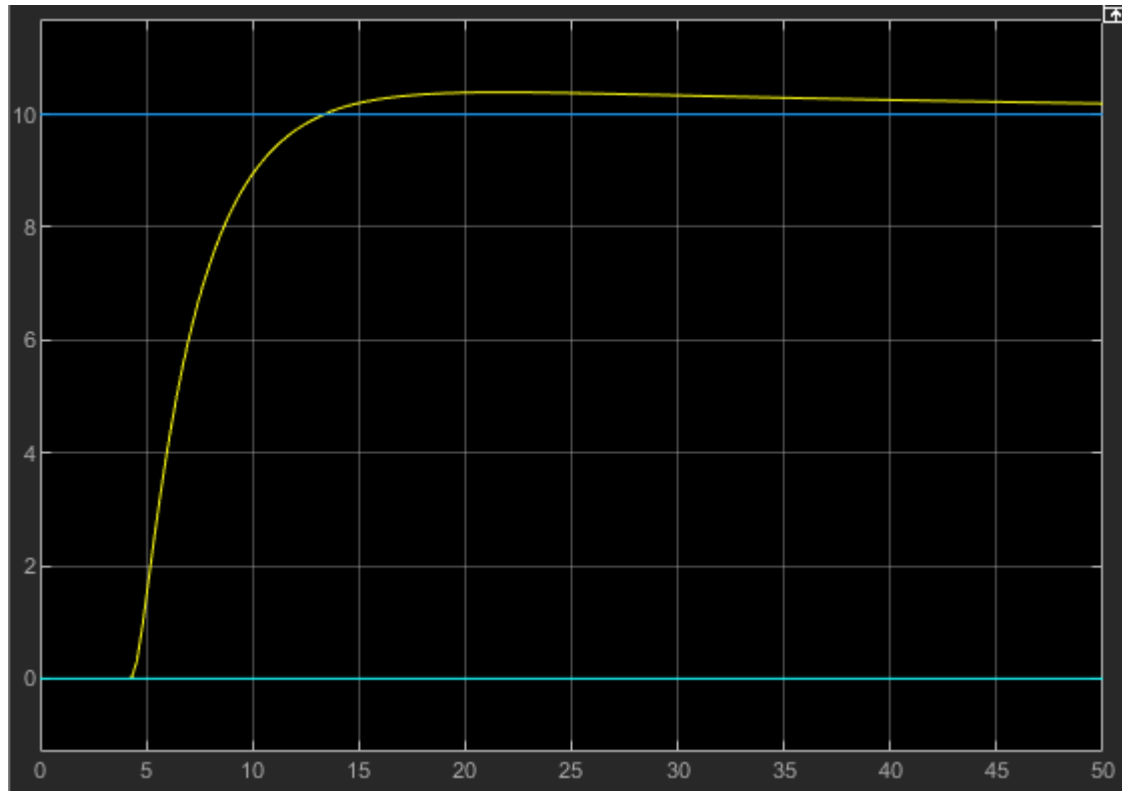
4.5 Pengujian Hasil Tuning PSO-PID pada Sistem Cascade Level dan Flow Dengan Variasi Disturbance

Pada pengujian ini dilakukan variasi level disturbance pada sistem pengaturan cascade level dan flow yakni tanpa disturbance, disturbance=0.5, disturbance=1, disturbance=3. Adapun diagram blok sistem yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut.



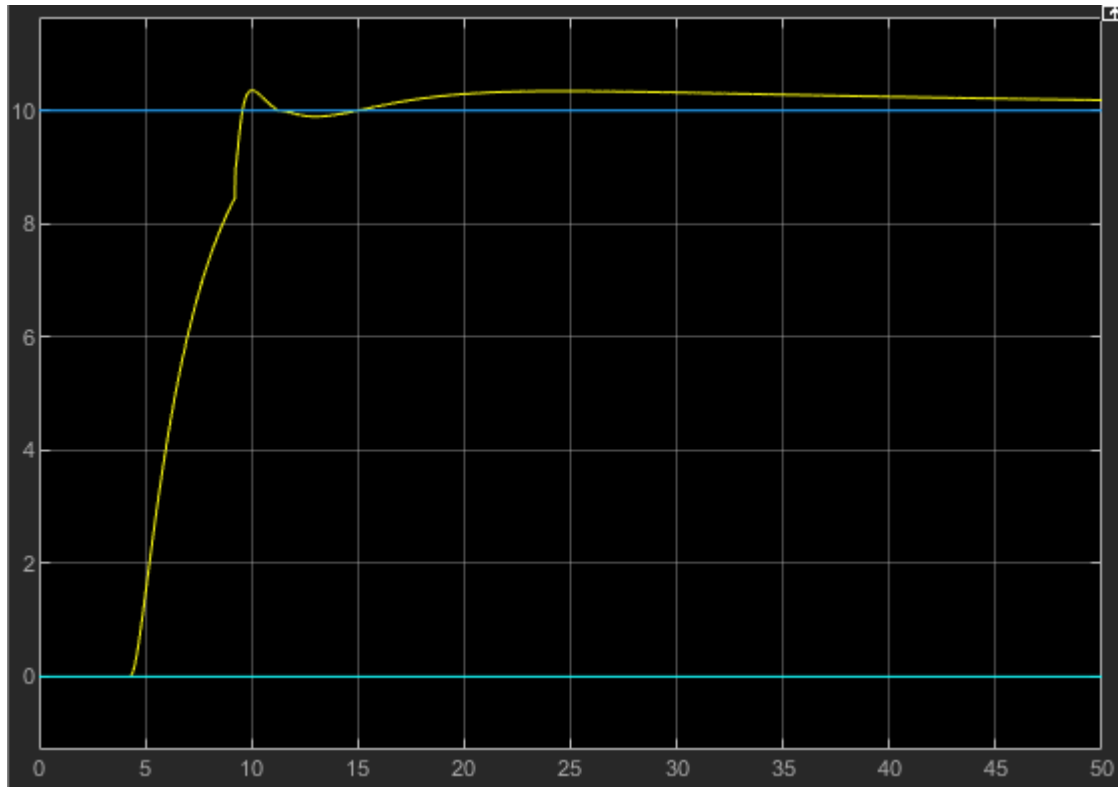
Gambar 4-13 Block Diagram Simulink Sistem Pengaturan Cascade Level dan Flow

4.5.1 Pengujian dengan Set Point 10 tanpa Disturbance



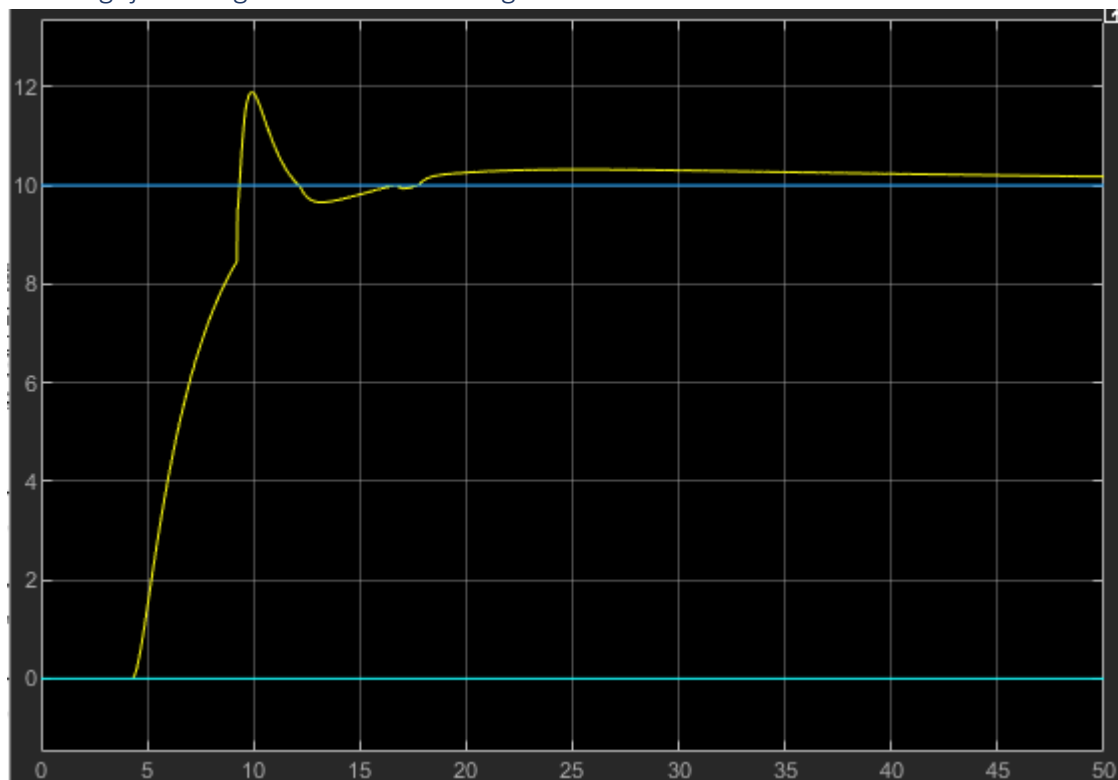
Dari hasil gambar plot di atas diperoleh karakteristik sistem yakni settling time sebesar 13.3135, Rise time 5.616, Overshoot 1.9663. Sistem tersebut memiliki error yakni Integral Square Error dan Integral Time Absolute Error untuk masing masing besarnya adalah 167.091 untuk ISE dan 376.977 untuk ITAE.

4.5.2 Pengujian dengan Set Point 10 Dengan Disturbance=0.5



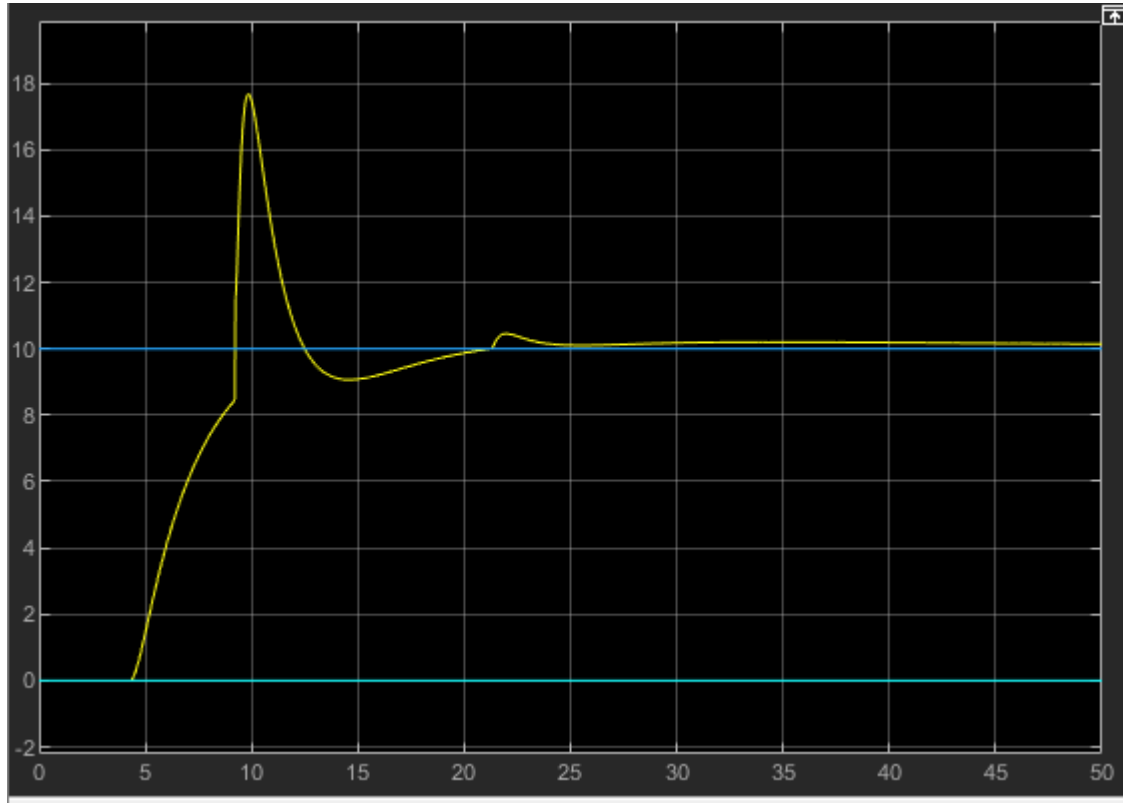
Dari hasil gambar plot di atas diperoleh karakteristik sistem yakni settling time sebesar 14.7483, Rise time 4.4593, Overshoot 1.7053. Sistem tersebut memiliki error yakni Integral Square Error dan Integral Time Absolute Error untuk masing masing besarnya adalah 164.18 untuk ISE dan 337.973 untuk ITAE.

4.5.3 Pengujian dengan Set Point 10 Dengan Disturbance = 1



Dari hasil gambar plot di atas diperoleh karakteristik sistem yakni settling time sebesar 17.5337, Rise time 4.3777, Overshoot 16.7946. Sistem tersebut memiliki error yakni Integral Square Error dan Integral Time Absolute Error untuk masing masing besarnya adalah 167.567 untuk ISE dan 338.055 untuk ITAE.

4.5.4 Pengujian dengan Set Point 10 Dengan Disturbance = 3



Dari hasil gambar plot di atas diperoleh karakteristik sistem yakni settling time sebesar 22.6438, Rise time 4.3741, Overshoot 74.1754. Sistem tersebut memiliki error yakni Integral Square Error dan Integral Time Absolute Error untuk masing masing besarnya adalah 231.957 untuk ISE dan 358.487 untuk ITAE.

4.5.5 Pembahasan Pengujian Pengujian Hasil Tuning PSO-PID pada Sistem Cascade Level dan Flow Dengan Variasi Disturbance

Tabel 4-7 Perbandingan Performansi Sistem Tiap Disturbance

Performansi Dinamik Sistem	No Disturbance	Disturbance=0.5	Disturbance=1	Disturbance=3
Settling Time	13.3135	14.7483	17.5337	22.6438
Rise Time	5.6161	4.4593	4.3777	4.3741
Overshoot	1.9663	1.7053	16.7946	74.1754
ISE	167.091	164.18	167.567	231.957
ITAE	376.977	337.973	338.055	358.487

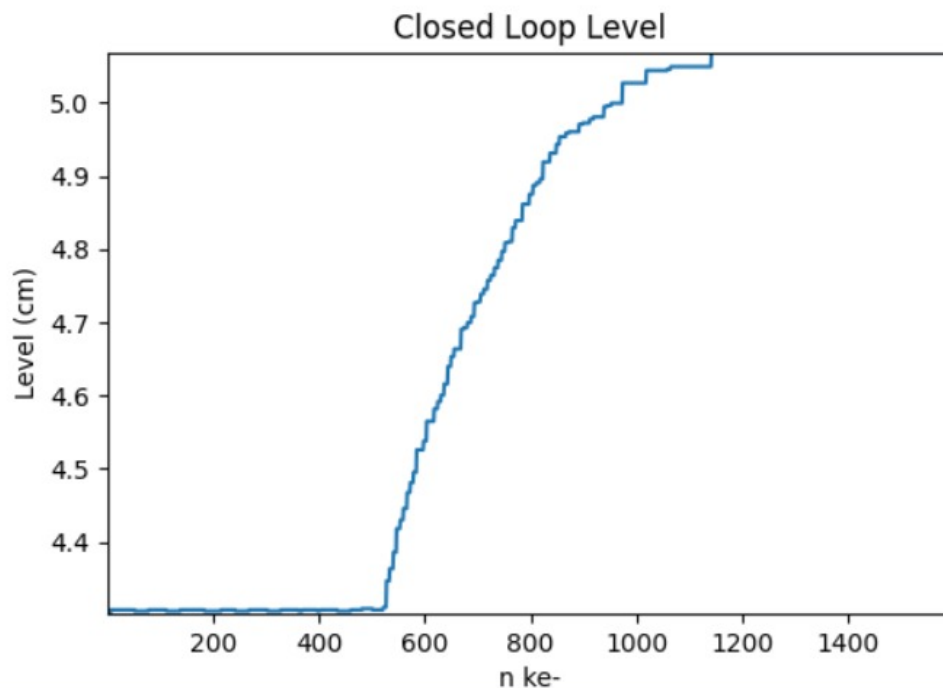
Berdasarkan data yang disajikan di atas, dapat dilihat bahwa sistem kontrol yang digunakan memiliki performa dinamik yang bervariasi tergantung pada tingkat gangguan yang terjadi. Pada saat tidak ada gangguan, sistem kontrol memiliki settling time yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi gangguan yang lain. Rise time juga lebih rendah pada saat tidak ada gangguan, namun meningkat pada saat gangguan tingkat 1 dan 3.

Overshoot juga meningkat secara signifikan pada saat gangguan tingkat 3, yang menunjukkan bahwa sistem kontrol kurang efektif dalam mengendalikan output pada saat gangguan yang tinggi.

Metrik ISE dan ITAE juga menunjukkan bahwa sistem kontrol lebih baik pada saat tidak ada gangguan, namun mengalami peningkatan pada saat gangguan tingkat 1 dan 3.

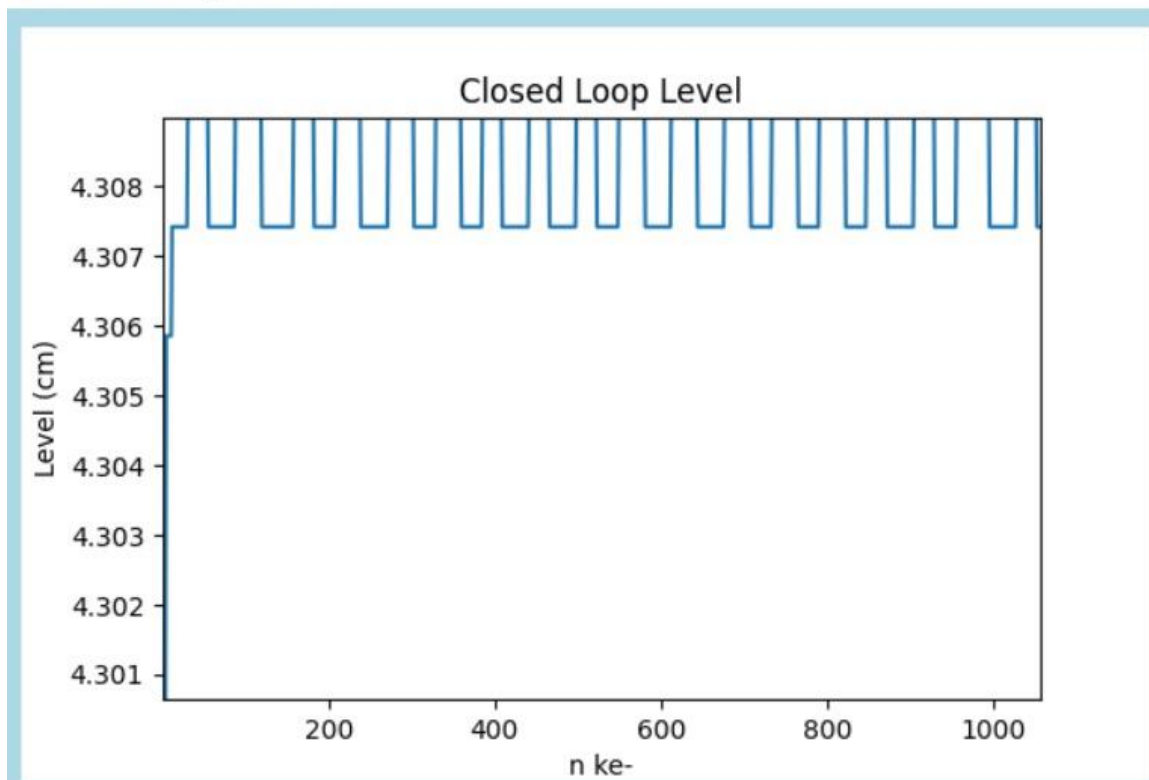
Berdasarkan analisis ini, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol lebih efektif dalam mengendalikan output pada saat tidak ada gangguan, namun sistem dapat menanggulangi gangguan yang ada sehingga dapat mencapai steady state Kembali dan menjaga sistem sesuai dengan set pointnya.

4.6 Hasil Implementasi Tuning PID Ziegler Nichols



Gambar 4-14 Respon Sistem Tuning dengan Ziegler Nichols tanpa Gangguan

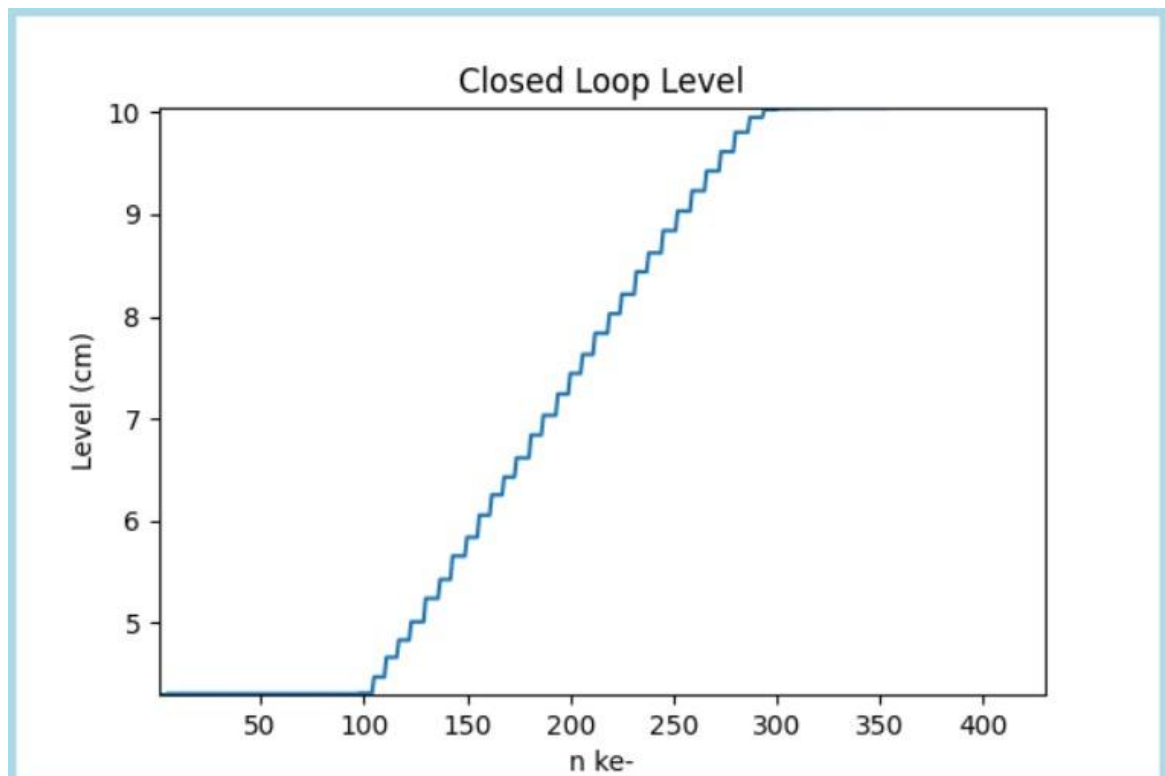
Pada gambar di atas merupakan implementasi tuning PID pada sistem pengaturan cascade level dan flow. Pada input berupa set point level sehingga output juga merupakan level yang diinputkan. Dari grafik tersebut diperoleh karakteristik Rise Time sebesar 137.459 detik, Settling time 151.8291 detik dan sistem steady state pada 5.068 cm tetapi set point yang diinputkan pada implementasi ini adalah 10 cm jadi sistem ini setelah di tuning PID dengan controller Ziegler Nichols output sistem menjadi teredam. Adapun steady state error pada sistem ini adalah 4.982. Hal ini dikarenakan sewaktu tuning PID dengan metode Ziegler Nichols didapatkan nilai K_d yang besar sehingga sistem menjadi teredam.



Gambar 4-15 Respon Sistem Tuning dengan Ziegler Nichols dengan Gangguan bukaan valve

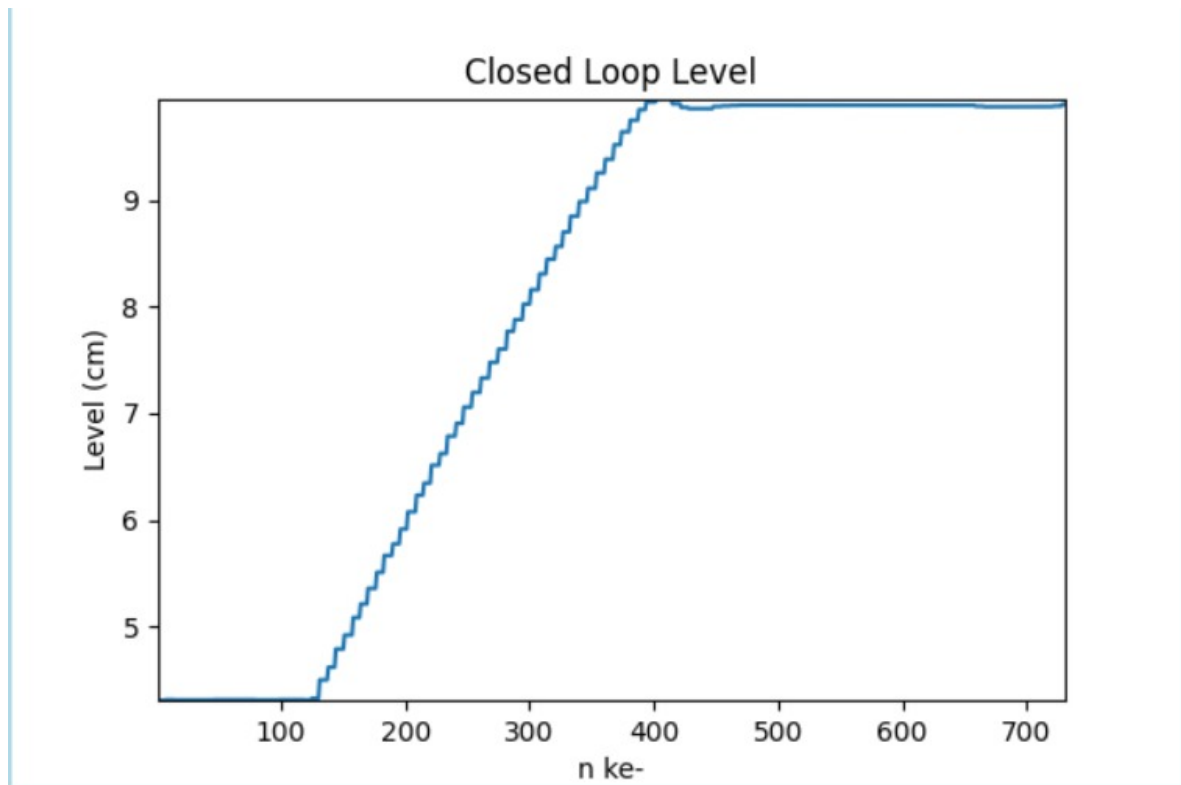
Pada Gambar di atas adalah grafik respon sistem cascade level dan flow yang di tuning dengan controller PID dengan metode ziegler Nichols tetapi dalam realisasinya diberikan disturbance berupa bukaan valve. Dari respons sistem yang ada sistem tersebut tidak mampu menangani gangguan disturbance yang ada sehingga level sensor dianggap tidak bergerak.

4.7 Hasil Implementasi Tuning PID dengan Metode PSO



Gambar 4-16 Respon Sistem tuning dengan PSO PID tanpa gangguan

Grafik di atas merupakan grafik respons sistem implementasi controller PID dengan menggunakan PSO pada sistem pengaturan cascade level dan flow. Pada uji ini sistem tidak diberikan gangguan berupa bukaan valve sehingga hanya dikontrol dengan menggunakan pompa dan valve drain sebagai actuator didapatkan karakteristik sistem didapatkan rise time 27.37 detik, Settling time 39.69 dan steady state pada nilai 10.0433 sehingga dapat dikatakan sistem mengalami overshoot yang sangat kecil yakni 0.043%.



Gambar 4-17 Respon Sistem tuning dengan PSO PID dengan gangguan bukaan valve

Grafik di atas merupakan grafik respons sistem implementasi controller PID dengan menggunakan PSO pada sistem pengaturan cascade level dan flow. Pada uji ini sistem diberikan gangguan berupa bukaan valve. Dilihat dari grafik di atas controller PID dengan tuning PSO dapat mengatasi gangguan disturbance yang ada. Sehingga dapat disimpulkan bahwa optimisasi perancangan kontroler PID dengan metode PSO dapat dikatakan berhasil memperoleh nilai K_p , K_i , dan K_d yang optimum. Dari grafik di atas diperoleh karakteristik sistem rise time sebesar 34.23 detik, Settling time 51,33 detik. Sistem tersebut steady state pada nilai 9.9075 cm, sehingga memiliki error steady state sebesar 0.0925%.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam tugas akhir ini antara lain, adalah :

5. Peningkatan nilai w atau bobot inersia pada algoritma PSO menyebabkan nilai K_p , K_i , dan K_d menjadi lebih bervariasi, performansi PSO meningkat, dan performansi sistem menjadi lebih optimal ditandai dengan minimnya rise time, settling time, minimal overshoot dan steady state error kecil.
6. Semakin banyak jumlah partikel dapat meningkatkan performansi dinamik. Hal ini dikarenakan. Peningkatan jumlah partikel menyebabkan semakin banyak titik titik area yang dijajaki sehingga semakin meningkatkan peluang dalam menentukan titik optimal dari seluruh area yang dilewati.
7. Pada Inner Loop diperoleh besaran K_p , K_i , dan K_d yang dituning dengan PSO sebesar 20.8441, 10.0045, dan 5.8969 dengan indeks performansi ITAE sebesar 0.6534 dan ISE 0.2022. Memiliki Karakteristik sistem max overshoot 0.567%, Rise time 0.1544 detik dan Settling time 0.2473 detik.
8. Pada Outer Loop diperoleh besaran K_p , K_i , dan K_d yang dituning dengan PSO sebesar 68.4639, 1.8237, dan 10.2855 memiliki indeks performansi error ITAE sebesar 1.51 dan ISE sebesar 0.5841. Sistem tersebut mengalami max overshoot sebesar 1.4001%, Rise Time 2.0383 detik, dan Settling time 3.2569 detik
9. Pada simulasi dengan disturbance controller PID yang dituning dengan PSO mampu mengatasi gangguan disturbance yang ada yakni sistem mengalami steady state Kembali dan nilai steady state error kecil.
10. Pada Implementasi controller PID yang dituning dengan PSO pada Sistem Pengaturan Cascade level dan flow sistem memiliki karakteristik rise time 27.37 detik, Settling time 39.69 dan steady state pada nilai 10.0433 sehingga dapat dikatakan sistem mengalami overshoot yang sangat kecil yakni 0.043%. Sistem diuji dengan kondisi ideal tanpa gangguan
11. Pada Implementasi controller PID yang dituning dengan PSO pada Sistem Pengaturan Cascade level dan flow diuji dengan gangguan berupa bukaan valve sistem memiliki karakteristik rise time sebesar 34.23 detik, Settling time 51,33 detik. Sistem tersebut steady state pada nilai 9.9075 cm, sehingga memiliki error steady state sebesar 0.0925%. Kontroler PID yang telah dituning dengan PSO juga berhasil mengatasi gangguan yang disebabkan oleh bukaan valve. Hal ini ditandai dengan error steady state yang kecil

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pada plant yang digunakan yakni Sistem pengaturan Flow Plant PCT 100 seharusnya menggunakan valve flow control sehingga bisa menghasilkan respons yang lebih baik dan fungsi cascade control pada penelitian ini dapat menghasilkan respon sistem yang lebih baik.

2. Pada penelitian ini bisa dikembangkan algoritma tuning PID dengan menggunakan metode Adaptive PSO, ACO, BFO, GA atau metode metaheuristic yang lain sehingga bisa lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulameer, A., Sulaiman, M., Aras, M. S. M., & Saleem, D. (2016). GUI based control system analysis using PID controller for education. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 3(1), 91–101. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v3.i1.pp91-101>
- Ang, K. H., Chong, G., & Li, Y. (2005). PID control system analysis, design, and technology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 13(4), 559–576. <https://doi.org/10.1109/TCST.2005.847331>
- Bytronic Limited. (n.d.). *"Process Control Technology PCT - 100" Manual Book*. Bytronic Limited.
- Guong, R. L. L., Hisham, S. B., Elamvazuthi, I., Aole, S., Parasuraman, S., & Khan, M. K. A. (2018). PID Tuning of Process Plant using Particle Swarm Optimization. *2018 IEEE 4th International Symposium in Robotics and Manufacturing Automation, ROMA 2018*, 1(1), 0–5. <https://doi.org/10.1109/ROMA46407.2018.8986712>
- Ibrahim, H. E. A., Hassan, F. N., & Shomer, A. O. (2014). Optimal PID control of a brushless DC motor using PSO and BF techniques. *Ain Shams Engineering Journal*, 5(2), 391–398. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.09.013>
- Jakoubek, P. (2009). Experimental Identification of Stable Nonoscillatory Systems from Step-Responses by Selected Methods. *Student Conference STC 2009*. <http://stc.fs.cvut.cz/history/2009/sbornik/Papers/pdf/JakoubekPavel-304494.pdf>
- Kawasan, G., Serpong, P., & Tlp, T. (2011). *Penerapan pemodelan dan metode kurva reaksi proses untuk mengidentifikasi sistem duress*. 230–236.
- Kumar, C. A., Nair, N. K., & Engineering, E. (2010). Multi-Objective Pid Controller Based on Adaptive Weighted Pso With Application To Steam Temperature Control in Boilers. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(7), 3179–3184.
- Ogata, K. (2010). Modern Control Engineering 5th Edition. In *Prentice Hall PTR* (5th ed.).
- Pano, V., & Ouyang, P. R. (2014). PSO gain tuning for position domain PID controller. *4th Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems, IEEE-CYBER 2014*, 377–382. <https://doi.org/10.1109/CYBER.2014.6917493>
- Pillay, N. (2013). a Particle Swarm Optimization Approach for Tuning of Siso Pid Control Loops. *Engineering Research on Soft Computing Methods*, 235–258.
- Pritandi, D. A. P. A. (2016). Perancangan Kontroler PID-Fuzzy untuk Sistem Pengaturan Cascade Level dan Flow pada Basic Process Rig 38-100. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16179>
- Tridianto, E., Ariwibowo, T. H., Almasa, S. K., & Prasetya, H. E. G. (2017). Cascaded PID temperature controller for FOPDT model of shell-and-tube heat exchanger based on Matlab/Simulink. *Proceedings IES-ETA 2017 - International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications, 2017-Decem*, 185–191. <https://doi.org/10.1109/ELECSYM.2017.8240400>
- Vilanova, R., & Arrieta, O. (2008). PID TUNING FOR CASCADE CONTROL SYSTEM DESIGN ETSE , Universitat Aut ` . *Canadian Conference on Electrical and Computer*

Engineering, 2008. CCECE 2008., 1, 1775–1778.

- Wen, S., Deng, M., bi, S., & Wang, D. (2012). Operator-based robust nonlinear control and its realization for a multi-tank process by using a distributed control system. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 34(7), 891–902. <https://doi.org/10.1177/0142331211424427>
- Xiang, Z., Ji, D., Zhang, H., Wu, H., & Li, Y. (2019). A simple PID-based strategy for particle swarm optimization algorithm. *Information Sciences*, 502, 558–574. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.06.042>
- Xiong, A., & Fan, Y. (2007). Application of a PID controller using MRAC techniques for control of the DC electromotor drive. *Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2007*, 2616–2621. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2007.4303969>

LAMPIRAN

Lampiran Tuning PID Inner Loop Menggunakan Algoritma PSO

```
clc; clear all; close all;

num = [1.03];
den = [0.468 1.39 1];
G = tf(num,den);
Gf = feedback(G,1);
step(Gf)
hold on

%PSO Constant Parameters
c1=1.5; c2=1; w=0.9; particles=100; iteration=100; Var=3;

% Search Space
a=0; %lower bound
b=100; %upper bound

% Optimization Steps
c_cf=0;

%initialization
for m=1:particles

    for n=1:Var
        v(m,n)=0; %Velocity Particles
        x(m,n)=a+rand*(b-a); %Position Particles
        xp(m,n)= x(m,n);
    end

    %Model Parameters
    kp = x(m,1);
    ki = x(m,2);
    kd = x(m,3);

    %Simulation Model
    Gc=pid(kp,ki,kd);
    Gcf=feedback(Gc*G,1);
    y=step(Gcf);

    % ITAE (Objective Function)
    ff1=0;
    sim1=size(y);
    for m1= 1:sim1
        ff1=ff1+((abs(y(m1)-1))*m1);
    end
    ITAE(m)=ff1;
end

%Find The Best Value
[Best_Performance, location]=min(ITAE);
fg=Best_Performance
xg(1)=x(location,1);
xg(2)=x(location,2);
xg(3)=x(location,3);
```

```

for i=1:iteration          % No Of Repetition

    for m=1:particles      % No Of Particles

        for n=1:Var        % No Of Var
            v(m,n)=(w*v(m,n))+(c1*rand*(xp(m,n)-x(m,n)))+(c2*rand*(xg(n)-x(m,n)));
% Update Velocity
            x(m,n)=x(m,n)+v(m,n);
% Update Position
        end

        positions(m,1) = x(m,1); % position of kp for particle m
        positions(m,2) = x(m,2); % position of ki for particle m
        positions(m,3) = x(m,3); % position of kd for particle m

        %Check Bound

        for n=1:Var
            if x(m,n)<a
                x(m,n)=a;
            end

            if x(m,n)>b
                x(m,n)=b;
            end
        end

        % Model Parameters
        kp=x(m,1);
        ki=x(m,2);
        kd=x(m,3);

        % Simulation Model
        Gc=pid(kp,ki,kd);
        Gcf=feedback(Gc*G,1);
        y=step(Gcf);

        % ITAE (Objective Function)
        ff1=0;
        sim1=size(y);
        for m1=1:sim1
            ff1=ff1+((abs(y(m1)-1))*m1);
        end
        ITAEp(m)=ff1;

        % Compare Local
        if ITAEp(m)<ITAE(m)
            ITAE(m)=ITAEp(m);
            xp(m,1)=x(m,1);
            xp(m,2)=x(m,2);
            xp(m,3)=x(m,3);
        end

    end

end

[B_fg,location]=min(ITAE);

% Compare Global

```

```

    if B_fg < fg
        fg = B_fg; % New Global Value
        xg(1) = xp(location, 1); % Position of Var 1
        xg(2) = xp(location, 2); % Position of Var 2
        xg(3) = xp(location, 3); % Position of Var 3
    end

    c_cf = c_cf + 1;
    best_cf_ac(c_cf) = fg;
end

Min_ITAE = fg;
kp = xg(1);
ki = xg(2);
kd = xg(3);

Gc = pid(kp, ki, kd);
Gcf = feedback(Gc * G, 1);
step(Gcf);

t_cf = 1:c_cf;
figure
plot(t_cf, best_cf_ac, 'r--', 'LineWidth', 2), xlabel('iteration'), ylabel('Const
Function (ITAE)')
legend('ITAE for PSO PID')
title('ITAE with each iteration')

figure
scatter3(positions(:, 1), positions(:, 2), positions(:, 3));
xlabel('kp');
ylabel('ki');
zlabel('kd');
scatter3(positions(:, 1), positions(:, 2), positions(:, 3), 10, 'blue');

% Plot step response and calculate steady-state error
step_info = stepinfo(Gcf); % Get step response information
y_inf = step_info.Peak; % Get final value of step response
t_inf = step_info.RiseTime; % Get time corresponding to final value of step
response
y_inf = step_info.SettlingMax; % Get final value of step response
t_inf = step_info.SettlingTime; % Get time corresponding to final value of step
response
ess = abs(1 - y_inf); % Calculate steady-state error as absolute difference
between desired value (1) and final value of step response

% Calculate RMSE for a sequence of steady-state errors
rmse = sqrt(ess^2); % Calculate RMSE as the square root of the mean of the
squares of the steady-state errors

```

Lampiran Tuning PID Outer Loop Menggunakan Algoritma PSO

```
clc; clear all; close all;

num = [10.9 38.52 18.49];
den = [51.44 820.9 2477 1155 10.3];
G=tf(num,den);
Gf = feedback(G,1);
step(Gf)
hold on

%PSO Constant Parameters
c1=1.5; c2=1; w=0.9; particles=50; iteration=100; Var=3;

% Search Space
a=0; %lower bound
b=100; %upper bound

% Optimization Steps
c_cf=0;

%initialization
for m=1:particles

    for n=1:Var
        v(m,n)=0; %Velocity Particles
        x(m,n)=a+rand*(b-a); %Position Particles
        xp(m,n)= x(m,n);
    end

    %Model Parameters
    kp = x(m,1);
    ki = x(m,2);
    kd = x(m,3);

    %Simulation Model
    Gc=pid(kp,ki,kd);
    Gcf=feedback(Gc*G,1);
    y=step(Gcf);

    % ITAE (Objective Function)
    ff1=0;
    sim1=size(y);
    for m1= 1:sim1
        ff1=ff1+((abs(y(m1)-1))*m1);
    end
    ITAE(m)=ff1;
end

%Find The Best Value
[Best_Performance, location]=min(ITAE);
fg=Best_Performance
xg(1)=x(location,1);
xg(2)=x(location,2);
xg(3)=x(location,3);

for i=1:iteration % No Of Repetition
```

```

for m=1:particles      % No Of Particles

    for n=1:Var          % No Of Var
        v(m,n)=(w*v(m,n))+(c1*rand*(xp(m,n)-x(m,n)))+(c2*rand*(xg(n)-x(m,n)));
    % Update Velocity
        x(m,n)=x(m,n)+v(m,n);
    % Update Position
    end

    positions(m,1) = x(m,1); % position of kp for particle m
    positions(m,2) = x(m,2); % position of ki for particle m
    positions(m,3) = x(m,3); % position of kd for particle m

    %Check Bound

    for n=1:Var
        if x(m,n)<a
            x(m,n)=a;
        end

        if x(m,n)>b
            x(m,n)=b;
        end
    end

    % Model Parameters
    kp=x(m,1);
    ki=x(m,2);
    kd=x(m,3);

    % Simulation Model
    Gc=pid(kp,ki,kd);
    Gcf=feedback(Gc*G,1);
    y=step(Gcf);

    % ITAE (Objective Function)
    ff1=0;
    sim1=size(y);
    for m1=1:sim1
        ff1=ff1+((abs(y(m1)-1))*m1);
    end
    ITAEp(m)=ff1;

    % Compare Local
    if ITAEp(m)<ITAE(m)
        ITAE(m)=ITAEp(m);
        xp(m,1)=x(m,1);
        xp(m,2)=x(m,2);
        xp(m,3)=x(m,3);
    end

end

[B_fg,location]=min(ITAE);

% Compare Global
if B_fg<fg
    fg=B_fg; % New Global Value
    xg(1)=xp(location,1); % Position of Var 1
end

```

```

        xg(2)=xp(location,2);      % Position of Var 2
        xg(3)=xp(location,3);      % Position of Var 3

    end
        c_cf = c_cf+1;
        best_cf_ac(c_cf)=fg;
end

Min_ITAE=fg
kp=xg(1)
ki=xg(2)
kd=xg(3)

Gc=pid(kp,ki,kd);
Gcf=feedback(Gc*G,1);
step(Gcf);

t_cf=1:c_cf;
figure
plot(t_cf,best_cf_ac,'r--','LineWidth',2), xlabel('iteration'), ylabel('Const
Function (ITAE)')
legend('ITAE for PSO PID')
title('ITAE with each iteration')

figure
scatter3(positions(:,1), positions(:,2), positions(:,3));
xlabel('kp');
ylabel('ki');
zlabel('kd');
scatter3(positions(:,1), positions(:,2), positions(:,3), 10, 'blue');

% Plot step response and calculate steady-state error
step_info = stepinfo(Gcf); % Get step response information
y_inf = step_info.Peak; % Get final value of step response
t_inf = step_info.RiseTime; % Get time corresponding to final value of step
response
y_inf = step_info.SettlingMax; % Get final value of step response
t_inf = step_info.SettlingTime; % Get time corresponding to final value of step
response
ess = abs(1 - y_inf); % Calculate steady-state error as absolute difference
between desired value (1) and final value of step response

% Calculate RMSE for a sequence of steady-state errors
rmse = sqrt(ess^2); % Calculate RMSE as the square root of the mean of the
squares of the steady-state errors

```


Lampiran Code Python

```
import tkinter as tk
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
import time
import csv
from pyModbusTCP.client import ModbusClient
import random
c = ModbusClient(host="10.0.0.1", port=502, auto_open=True, auto_close=True)

header = ['n', 'volt_flow', 'volt_level', 'volt_pot', 'timestamp']
f = open('dataRafif.csv', 'w', encoding='UTF8', newline='') # open the file in
the write mode
writer = csv.writer(f) # create the csv writer
writer.writerow(header) # write the header
timeSampling = 0.05 # dalam detik, min 0.05s
n = 0 # tidak boleh nol agar index tidak e[-1]
# -----INISIASI Variabel PID-----
SP = 10
e=[0.0, 0.0]
# e[0]=0 # initial condition error, iterasi
sum_e=[0.0, 0.0]
de=[0.0, 0.0]
kp = 68
ki = 2
kd = 10

#-----plot data-----
def plot_data():
    # print("masuk plot data")
    global n,cond, arr_n, arr_volt_level, timeLast, sent
    if (cond==True):
        # print(cond)
        timeNow = time.time()
        # condition untuk sampling, jika sudah melebihi time sampling
        if True:
            n = n + 1
            # print("timeLast sudah bisa masuk")
            arr_n.append(n)
            volt_flow,volt_level,volt_pot = kontroller()

            arr_volt_level.append(volt_level)

            timeLast = timeNow
            ax.set_xlim(min(arr_n), max(arr_n))
            ax.set_ylim(min(arr_volt_level), max(arr_volt_level))
            # lines = ax.plot(arr_elapse, arr_volt_level, color='green')
            lines.set_xdata(arr_n)
```

```

        lines.set_ydata(arr_volt_level)
        # write multiple rows
        # print("v LT: " + str(volt_level) + " V")
        print("level: " + str(volt_level) + " cm ; volt pump: " +
str(sinyal_level) + " VDC")
        writer.writerow([n, volt_flow, volt_level, volt_pot, timeNow-
start_time])
        # print(arr_n)
        # print(arr_volt_level)
        time.sleep(timeSampling)
        canvas.draw()
        window.after(1, plot_data)
def plot_start():
    global cond, start_time
    cond = True
    start_time = time.time()
    # s.reset_input_buffer()
    print("start mulai yaa")
    # return cond
    window.after(1, plot_data)

def plot_stop():
    global cond, sent
    cond = False
    print("sudah stop yaa")
    sent = c.write_multiple_registers(16, [0, 4096])
    f.close()

def kontroller():
    global volt_flow, volt_level, volt_pot, sent, n, sinyal_level
    regs = c.read_holding_registers(8, 8) # format: (address, quantity).
quantity tidak boleh lebih, tetapi boleh kurang
    bit_flow = regs[0]
    volt_flow = 20*bit_flow/65535 - 10

    bit_level = regs[1]
    # volt_level = (20 * bit_level / 65535 - 10)
    volt_level = 1.7055517310856645*(20*bit_level/65535 - 10) +
4.80943785889385

    bit_pot = regs[2]
    volt_pot = (20 * bit_pot / 65535 - 10)

    e[n] = SP - volt_level
    sum_e[n] = sum_e[n] + e[n]*timeSampling
    de[n] = (e[n] - e[n-1])/timeSampling

    P = kp*e[n]
    I = ki*sum_e[n]

```

```

    D = kd*de[n]
    uPID = P+I+D
    sinyal_level= 0.586320532982868*uPID - 2.819872168774626 # volt sinyal
    kirim_level
    bit_uPID = 4096*sinyal_level/10
    if bit_uPID > 4096:
        bit_uPID = 4096
    if bit_uPID < 0:
        bit_uPID = 0
    e.append(e[n])
    sum_e.append(e[n])
    de.append(e[n])

    sent = c.write_multiple_registers(16, [int(bit_uPID), 0]) # list bit
    pompa dan valve max.4096

    return volt_flow,volt_level,volt_pot

cond = False
timeLast = 0
arr_n = []
arr_volt_level = []

window = tk.Tk()
window.title('GUI Closed Loop PCT-100')
window.configure(background = 'light blue')
window.geometry("700x500")

fig = plt.Figure();
ax = fig.add_subplot(111)
ax.set_title('Closed Loop Level')
ax.set_xlabel('n ke-')
ax.set_ylabel('Level (cm)')
lines = ax.plot([],[])[0]

canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=window) # A tk.DrawingArea.
canvas.get_tk_widget().place(x = 10,y=10, width = 600,height = 400)
canvas.draw()
# -----create button-----
window.update();
start = tk.Button(window, text = "Start", font = ('calbiri',12),command =
lambda: plot_start())
start.place(x = 100, y = 450 )

window.update();
stop = tk.Button(window, text = "Stop", font = ('calbiri',12), command =
lambda:plot_stop())
stop.place(x = start.winfo_x()+start.winfo_reqwidth() + 20, y = 450)

```

```
# window.after(1,plot_data)
window.mainloop()

# greeting = tk.Label(text="Hello, Tkinter")
# greeting.pack()
```

Lampiran Regresi Linier

input : level sebenarnya

output : level yg dibaca transmitter

level_sebenarnya = [0,0] #inisiasi level

voltOutput_LT = [0,0] #inisiasi volt output

data n=1, awal

level_sebenarnya[0] = 4.5 #cm

voltOutput_LT[0] = -0.1814297703517198 #vdc

data n terakhir

level_sebenarnya[1] = 20 #cm

voltOutput_LT[1] = 8.906538490882735 #vdc

sinyal feedback LT, (volt LT ---> level)

perhitungan pers. garis lurus

$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$

$m = (\text{level_sebenarnya}[1] - \text{level_sebenarnya}[0]) / (\text{voltOutput_LT}[1] - \text{voltOutput_LT}[0])$

$c = y_1 - m * x_1$

$c = \text{level_sebenarnya}[0] - m * \text{voltOutput_LT}[0]$

khusus inverse, sinyal kontrol kontroller (level --> voltage pump)

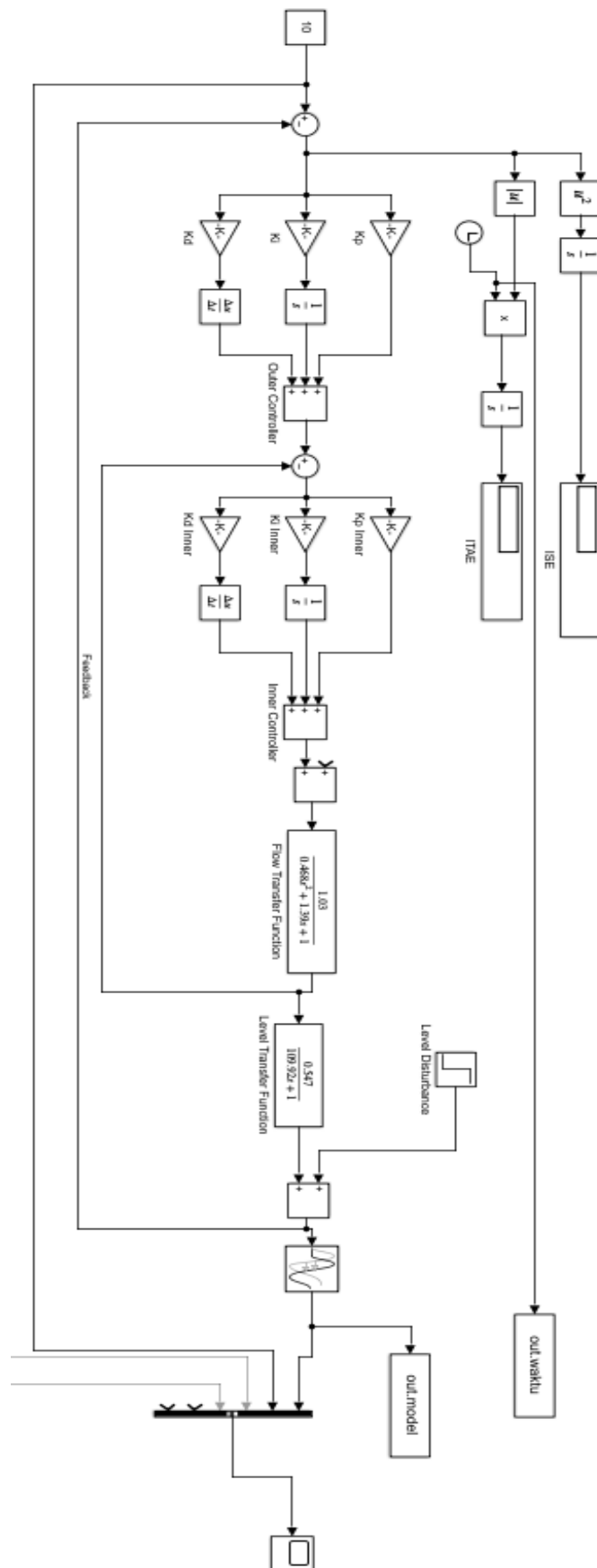
$m_i = 1/m$

$c_i = -c/m$

print(mi)

print(ci)

Lampiran Diagram Blok Sistem Cascade Level dan Flow



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Wonogiri, 1 Januari 2000, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Mambaul Hikmah Selogiri, SDIT Al Huda Wonogiri, SMPN 1 Sukoharjo dan SMAN 1 Sukoharjo. Setelah lulus dari SMAN 1 Sukoharjo tahun 2018, Penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Elektro FTEIC - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 07111840000029.

Di Departemen Teknik Elektro Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Organisasi yang diselenggarakan oleh ITS yakni Staff JMMI pada 2018, Menjabat Sekretaris Lembaga Dakwah Islam KALAM ELITS dan aktif sebagai Asisten Laboratorium Kontrol dan Otomasi. Selain itu penulis juga aktif mengikuti PKM.