



**PROPOSAL TUGAS AKHIR - EE184701**

**PERANCANGAN KONTROLLER ADAPTIF NEURO PID  
UNTUK PENGATURAN CASCADE LEVEL-FLOW PADA  
PLANT PCT-100**

**MUHAMMAD FARIS ZUHAIRI**

**NRP 07111940000164**

**Dosen Pembimbing**

**Eka Iskandar, S.T., M.T.**

**NIP 198005282008121001**

**Mohamad Abdul Hady, S.T., M.T.**

**NIP 198904132015041002**

**Program Studi Teknik Sistem Pengaturan**

**Departemen Teknik Elektro**

**Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2022**

# **LEMBAR PENGESAHAN**

## **PERANCANGAN KONTROLLER ADAPTIF NEURO PID UNTUK PENGATURAN CASCADE LEVEL-FLOW PADA PLANT PCT-100**

### **PROPOSAL 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 : MUHAMMAD FARIS ZUHAIRI

NRP. 07111940000164

Disetujui oleh Tim Penguji Proposal Tugas Akhir :

- |                                   |               |
|-----------------------------------|---------------|
| 1. Eka Iskandar, S.T., M.T.       | 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**

## **ABSTRAK**

### **PERANCANGAN KONTROLLER ADAPTIF NEURO PID UNTUK PENGATURAN CASCADE LEVEL-FLOW PADA PLANT PCT-100**

**Nama Mahasiswa / NRP** : Muhammad Faris Zuhairi / 07111940000164  
**Departemen** : Teknik Elektro FTEIC - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Eka Iskandar, S.T., M.T.  
Mohammad Abdul Hady, S.T., M.T.

#### **Abstrak**

Saat ini industry proses banyak menerapkan sistem otomasi pengaturan level fluida dalam tangki. Controller cascade PID masih populer dan umum digunakan pada industry. Controller ini unggul karena mampu menahan disturbance dan akurasi yang tinggi. Namun, controller ini diperlukan manual tuning bila terdapat variasi dan gangguan pada sistem. Dengan adanya dinamika level pada sistem tangki PCT-100, controller yang dirancang harus mampu menyesuaikan sinyal kontrol guna memenuhi spesifikasi respon yang diinginkan. Karakteristik respon level yang diinginkan seperti error steady state dan overshoot yang minimum. Hal ini diharapkan controller adaptif neuro PID dengan struktur cascade level-flow memiliki hasil lebih baik dibandingkan PID konvensional.

**Kata kunci:** *Cascade, Level, Neural Network, PCT-100, PID*

## **ABSTRACT**

### **PERANCANGAN KONTROLLER ADAPTIF NEURO PID UNTUK PENGATURAN CASCADE LEVEL-FLOW PADA PLANT PCT-100**

**Student Name / NRP** : Muhammad Faris Zuhairi / 07111940000164  
**Department** : Teknik Elektro FTEIC - ITS  
**Advisor** : Eka Iskandar, S.T., M.T.  
Mohammad Abdul Hady, S.T., M.T.

#### **Abstract**

At the present, the process industry has implemented the automatic system for liquid level control. Cascade PID controller is still popular and commonly used in industry. However, this controller needs manual tuning if variation and disturbance exist. Based on level dynamics of PCT-100 tank, the controller must be capable of adapting the control signal to fulfill desired response specification. Level response characteristics, such as steady-state error and overshoot must be minimum. Adaptive neuro PID controller with level-flow cascade will be expected to have a better response than conventional PID.

**Keywords:** *Cascade, Level, Neural Network, PCT-100, PID*

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	1
ABSTRAK	2
ABSTRACT	3
DAFTAR ISI	4
DAFTAR GAMBAR	5
DAFTAR TABEL	6
DAFTAR SIMBOL	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB 1    PENDAHULUAN	7
1.1    Latar Belakang	7
1.2    Rumusan Masalah	7
1.3    Batasan Masalah	7
1.4    Tujuan	8
1.5    Manfaat	8
BAB 2    TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1    Hasil Penelitian Terdahulu	9
2.2    Dasar Teori	10
2.2.1    Sistem Kontrol Proses	10
2.2.2    Permodelan Plant	11
2.2.3    Hardware yang digunakan	15
2.2.4    Kontroller PID	17
2.2.5    Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Network)	17
2.2.6    Cascade Neuro-PID	19
BAB 3    METODOLOGI	22
3.1    Metode yang digunakan	22
3.2    Bahan dan peralatan yang digunakan	23
3.3    Urutan pelaksanaan penelitian	23
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	26

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Respon Step dari Magnetic Levitation dengan Controller Neuro-PID (Patel & Kumar, 2015) .....	9
Gambar 2.2 Blok Diagram Sistem Pengaturan Proses .....	10
Gambar 2.3 P&ID Plant PCT-100 .....	11
Gambar 2.4 Struktur Closed Loop Flow-Level .....	12
Gambar 2.5 Plant PCT-100 (Bytronic, 2015) .....	15
Gambar 2.6 Data Actuisition ADAM5000L/TCP .....	16
Gambar 2.7 Closed Loop Pengaturan PID Plant .....	17
Gambar 2.8 Ilustrasi Jaringan Syaraf.....	18
Gambar 2.9 Kontroller cascade neuro PID (Zhang et al., 2012) .....	19
Gambar 2.10 Struktur Neural Network untuk Autotune PID .....	19
Gambar 3.1 Langkah Pengerjaan.....	22

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Flow Transducer .....	14
Tabel 2.2 Spesifikasi Plant PCT-100.....	16
Tabel 3.1 Timeline Pengerjaan Tugas Akhir .....	24

# **BAB 1 PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Saat ini industri proses banyak menerapkan sistem otomatisasi pengaturan level fluida. Fluida dipompa dan ditampung dalam tangki khusus yang memerlukan pengendalian agar memenuhi batas level yang diperbolehkan. Umumnya level air dianalisis dengan mengestimasi model linear yang merepresentasikan sifat dinamis dari level terhadap titik setimbangnya. Apabila ketinggian cairan tidak dikendalikan maka rantai proses produksi akan terganggu. Jika ketinggian cairan melebihi ketinggian yang diinginkan maka akan terjadi overflow atau cairan akan meluap sehingga mengganggu atau dapat merusak alat-alat lain. Sebaliknya jika ketinggian cairan kurang dari ketinggian yang diinginkan maka proses tidak akan bekerja. Oleh karena itu ketinggian suatu cairan harus dikendalikan dalam suatu industri.

Umumnya dalam industri, fluida dialirkan menggunakan pompa, laju massa diatur dengan control valve, dan ketinggian fluida dalam tangki dibaca oleh level transmitter. Namun, pengaturan level tangki memiliki karakteristik time-varying dan non linier. Kontroller PID membutuhkan parameter berbeda-beda (tuning ulang) untuk menyesuaikan respon yang cepat. PCT-100 merupakan miniatur sistem proses industri yang terdapat fasilitas untuk melakukan pengaturan terhadap empat buah variable kontrol, yaitu flow, level, suhu, dan tekanan. Level pada plant PCT-100 yang dikendalikan seringkali mengalami perubahan parameter dalam kondisi-kondisi tertentu. Untuk mengatasi perubahan ini, diperlukan metode yang dapat belajar (learning) terhadap perubahan (Ghufron, 2016).

Salah satu metode autotuning yang menggunakan algoritma cerdas ialah neural network. Algoritma ini dapat mempelajari perubahan beban pada plant dan akan otomatis melakukan tuning selama plant beroperasi sehingga mudah memenuhi spesifikasi kontrol yang diinginkan. Controller cascade mampu melakukan disturbance rejection dan meningkatkan akurasi sistem (Zhang et al., 2012). Pada tugas akhir ini akan dirancang controller adaptif neuro PID sistem cascade level-flow plant PCT-100 yang meminimalkan error steady state dan overshoot.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Kontroller PID pada dasarnya bersifat tetap selama parameter P, I, dan D tidak diubah. Ketika terjadi perubahan parameter plant yang diakibatkan oleh pembebanan, terkadang sinyal kontrol yang diberikan tidak sesuai dengan kondisi plant saat ini sehingga muncul pelonjakan atau penurunan nilai. Berdasarkan masalah perubahan parameter tuning tersebut, dirancang kontroller adaptif neuro PID sistem cascade level-flow plant PCT-100 yang meminimalkan error steady state dan overshoot.

## **1.3 Batasan Masalah**

Ruang lingkup penelitian ini membahas mengenai pengaturan cascade level-flow pada tangki. Plant yang digunakan ialah PCT-100 dengan pengendalian menggunakan kontroller adaptif neuro PID. Batasan lain yaitu mengabaikan efek temperature dan pressure dalam tangki.



## **1.4 Tujuan**

Tujuan yang diharapkan dari tugas akhir ini ialah merancang controller adaptif neuro PID sistem cascade level-flow plant PCT-100 yang meminimalkan error steady state dan overshoot.

## **1.5 Manfaat**

Manfaat yang ingin didapatkan melalui tugas akhir ini ialah merancang controller adaptif neuro PID sistem cascade level-flow plant PCT-100 yang meminimalkan error steady state dan overshoot. Selain itu, diharapkan penelitian ini akan memberikan inovasi terbaru pada metode kontrol PID dengan menggunakan adaptif neural network terhadap variasi layer dan pembebanan.

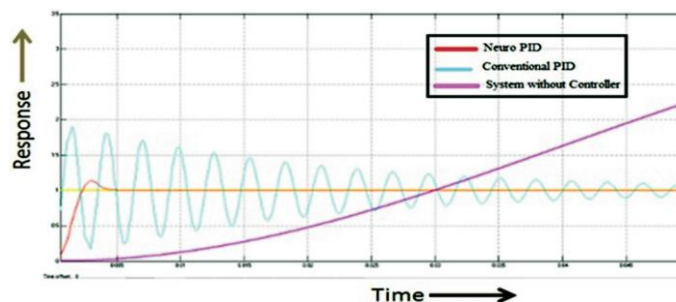
## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan untuk mengetahui metode dan hasil penelitian yang sudah dilakukan. Penelitian terdahulu diperlukan sebagai landasan dan acuan peneliti terhadap perbandingan dan hubungan antar variable yang diuji.

Penelitian plant PCT-100 oleh Rachmad Dwi Raharjo (2014) dilakukan dengan metode PID gain scheduling terhadap level proses. Identifikasi sistem dilakukan dengan metode Harriot dan divalidasi menggunakan ISE/Integral Square Error. Hasil yang diperoleh yakni controller PID gain scheduling dapat mengendalikan respon dinamis dalam simulasi dengan rata-rata error waktu tunak 0.06% dan 0.12% pada implementasi. Namun, nilai gain PID masih dipengaruhi variable tertentu yang berubah kontinu atau dengan kata lain gain scheduling hanya cocok untuk variasi yang terprediksi.

Penelitian level proses kemudian disempurnakan oleh penelitian M. Zakki Ghufroon (2016) yang menggunakan self-tuning PID dengan pendekatan adaptif. Controller adaptif dapat memperbaiki kelemahan metode gain scheduling, dimana dapat bekerja pada variasi tak terprediksi. Nilai gamma memengaruhi kecepatan adaptasi controller self tuning PID. Kriteria square time-square error/STSE unggul karena memberikan error terkecil 3.64% saat simulasi dan 0.093% bila diberikan pembebanan. Namun, implementasinya masih memerlukan waktu learning yang lama dan memerlukan otomatisasi penentuan nilai gamma. Berdasarkan penelitian PCT-100 sebelumnya, diharapkan desain controller PID yang detuning menggunakan metode neural network dapat memberikan waktu yang cepat dalam proses learning.



Gambar 2.1 Respon Step dari Magnetic Levitation dengan Controller Neuro-PID (Patel & Kumar, 2015)

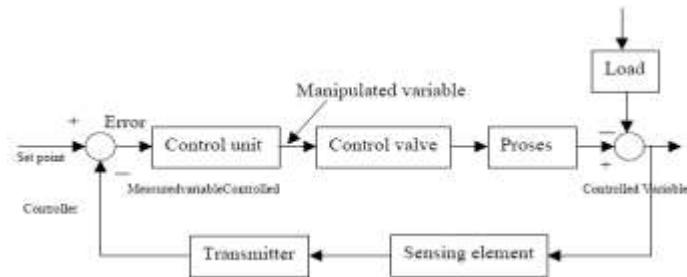
Penelitian multilayer neural network oleh (Patel & Kumar, 2015) menyatakan multilayer neuro PID dapat menstabilkan sistem magnetic levitation orde-2 yang unstable dengan settling time kecil dan zero steady state error. Penelitian ini menggunakan 3 jenis layer neural network, yaitu 1 input layer, 1 output layer, dan 10 hidden layer. Hasil menunjukkan controller series Neuro PID memiliki settling time lebih kecil daripada conventional PID, zero error steady state, dan overshoot yang kecil. Kelebihan dari penggunaan neuro PID ialah mampu mempertahankan respon seragam plant. Apabila terdapat factor eksternal yang mengganggu respon, neuro PID dapat mengeliminasi factor ini dan menghilangkan error agar respon tetap seragam.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Sistem Kontrol Proses

Sistem kontrol proses adalah gabungan kerja dari alat-alat pengendalian otomatis. Semua peralatan yang membentuk sistem kontrol disebut instrumentasi kontrol proses. Empat variable proses yang umum pada Industri yaitu temperature, level, flow, dan pressure. Kehandalan produk dan produktivitas menjadi kunci keberhasilan proses industri, sebagaimana kegagalan akan menghasilkan kerusakan produk dalam waktu singkat. Untuk mengukur performansi dalam pengaturan, biasanya dinyatakan dengan ukuran - ukuran waktu naik ( $\tau_r$ ), waktu puncak ( $\tau_p$ ), settling time ( $\tau_s$ ), maximum overshoot ( $M_p$ ), waktu tunda/delay time ( $\tau_d$ ), nilai kesalahan, dan damping ratio.

Semua analisa sistem kontrol selalu dimulai dengan menampilkan diagram blok sistem. Di dalam diagram blok sistem akan selalu ada komponen-komponen pokok seperti elemen proses, elemen pengukuran (sensing element dan transmitter), elemen controller (control unit), dan final control element (control valve). Dalam bentuk matematis semua blok elemen itu akan diisi persamaan-persamaan matematik yang merupakan fungsi alih elemen-elemen tersebut. Secara umum, diagram blok sistem kontrol dapat dilihat seperti pada Gambar berikut.

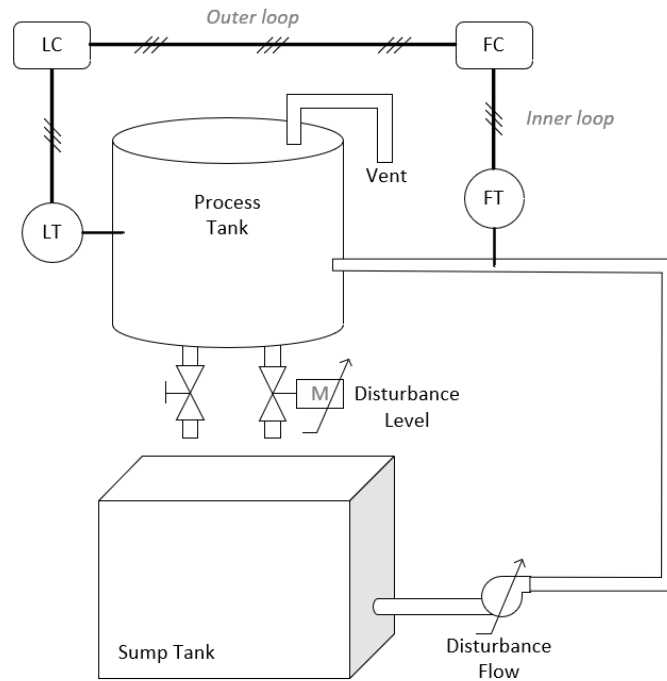


Gambar 2.2 Blok Diagram Sistem Pengaturan Proses

Diagram blok semacam ini dapat ditemukan pada hampir semua literatur. Terdapat literatur lain yang menampilkan kotak-kotak elemen dalam susunan yang berbeda dengan yang ada dalam gambar diatas. Namun pada dasarnya semua cara penggambaran itu sama benarnya, dan cara kerjanya pun tidak berbeda sama sekali. Sebenarnya diagram kotak ini disiapkan untuk analisa matematis. Di dalam Gambar diatas, bagian controller mempunyai summing junction dengan tanda positif-negatif (+/-). Di titik inilah Langkah membandingkan dilakukan dengan menggunakan besaran set-point dengan sinyal hasil pengukuran. Hasilnya adalah sinyal kesalahan. Tanda negatif (-) di summing junction membawa arti yang sangat spesifik bagi seluruh sistem. Karena tanda inilah sistem kontrol otomatis juga biasanya disebut dengan umpan balik negatif.

### 2.2.2 Permodelan Plant

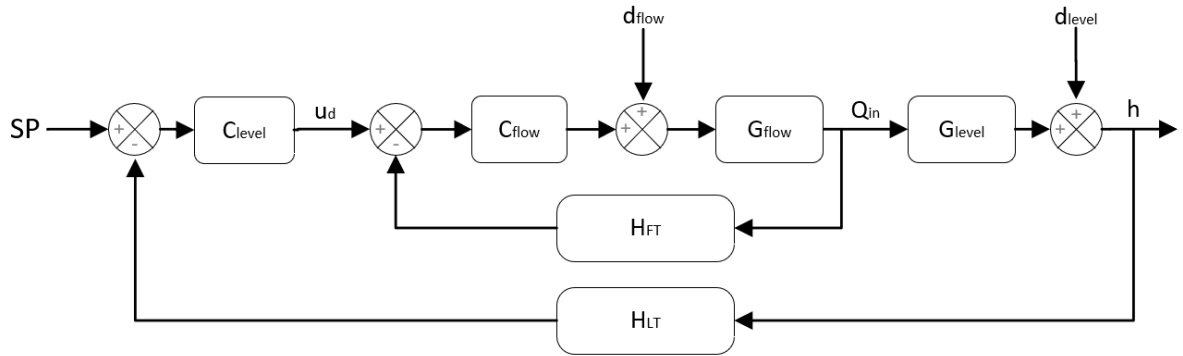
Plant PCT-100 yang digunakan tersusun atas instrument inner loop dan outer loop. Instrument inner loop tersusun atas flow transmitter, flow controller, dan pompa suplai. Sedangkan, outer loop tersusun atas level transmitter, level controller, proportional drain valve, sump tank, dan process tank. Diagram P&ID di bawah menunjukkan instrument pada PCT-100.



Gambar 2.3 P&ID Plant PCT-100

Sebelum melakukan proses permodelan plant, perlu digambarkan diagram closed loop untuk mendefinisikan fungsi alih dan mempermudah analisis respon. Sesuai dengan diagram P&ID yang akan digunakan, blok diagram berbentuk cascade yang tersusun atas closed loop master (primary/outer) dan slave (secondary/inner). Controller cascade populer digunakan karena controller ini memiliki kelebihan (Padhan & Majhi, 2012): (1) mampu melakukan reject disturbance yang timbul di inner loop; (2) meningkatkan kecepatan dan akurasi respon sistem; (3) mengurangi efek variasi parameter pada inner loop.

Proses utama (fungsi alih  $G_{level}$ ) memiliki single output  $h$  yang dikendalikan oleh manipulating single input  $Q_{in\ tangki}$  (debit masukan tangki) melalui kontroller  $C_{level}$ . Output  $h$  kemudian dikenai disturbance  $d_{level}$  yang merupakan gangguan white noise <10% terhadap ketinggian tangki  $h$ . Gangguan ini disebabkan oleh bukaan dari proportional drain valve. Implementasi cascade control pada slave (inner) kontroller dilakukan oleh pengaturan  $Q_{in}$  dengan menyesuaikan pompa sebagai final control element (transfer function  $G_{flow}$ ). Pada PCT-100,  $G_{flow}$  merupakan hubungan dinamis antara sinyal kontroller  $C_{flow}$  dengan  $Q_{in\_tangki}$ . Set point dari inner kontroller ini ialah  $U_d$  atau debit yang diinginkan. Terdapat disturbance  $d_{flow}$  berupa white noise sinyal kontrol pompa <10%. Negative feedback inner loop dibaca menggunakan flow transmitter  $H_{FT}$  dan outer loop oleh floating type level transmitter  $H_{LT}$ .



Gambar 2.4 Struktur Closed Loop Flow-Level

#### 2.2.2.1 Permodelan Pompa

Pemodelan pompa bertujuan untuk mendapatkan nilai penguatan dari pompa yang dilambangkan dengan  $K_{pompa}$ . Pompa merupakan peralatan yang dikenai disturbance  $d_{flow}$  yang akan di-reject kontroller flow dari feedback  $H_{flow}$ . Pompa yang digunakan memiliki rating 24 VDC, 0.5A, flow max. 7lt/min (116.667 cm<sup>3</sup>/s), dan pressure cut off 1.5bar.

$$Q_{pompa} = K_{pompa}(u_{pompa} + d_{flow}) \quad (2.1)$$

$$Q_{pompa} = K_{pompa}u_{pompa} + d_{flow}$$

Untuk mengidentifikasi nilai  $K_{pompa}$ , dilakukan pengujian open loop dengan memberikan tegangan kontrol  $u_{pompa}$  0-10V dan dihitung lama mencapai titik level yang ditentukan. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$K_{pompa,OL} = \frac{Q_{pompa,OL}}{u_{pompa}} = \frac{V_{diamati}}{t u_{pompa}} = A_{tangki} \frac{h_{diamati}}{t u_{pompa}} \quad (2.2)$$

Diketahui jari-jari tangki proses 8cm, sehingga luas alas tangki dan  $K_{pompa,OL}$  diperoleh sebagai berikut.

$$A_{tangki} = \pi r^2 = \pi (8^2) = 201.143 \text{ cm}^2 \quad (2.3)$$

$$K_{pompa,OL} = 201.143 \frac{h_{diamati}}{t u_{pompa}}$$

Bila digunakan acuan  $h_{diamati} = 10 \text{ cm}$  dan diberikan sinyal step pompa  $u_{pompa} = 10V$ , dengan stopwatch akan diperoleh nilai  $t$  dan  $K_{pompa,OL}$ .

$$K_{pompa,OL} = \frac{201.143 \text{ cm}^3}{t} \frac{1}{s}$$

#### 2.2.2.2 Permodelan Pipa

Pemodelan pipa dilakukan untuk mencari besarnya waktu tunda yang diakibatkan oleh panjang pipa. Hubungan waktu tunda dengan panjang pipa dapat dirumuskan pada Persamaan berikut.

$$\theta = \frac{\text{volume pipa (cm}^3\text{)}}{\text{debit yang masuk ke pipa (cm}^3\text{/s)}} \quad (2.4)$$

Jika dihubungkan dengan sistem pengaturan level maka waktu tunda yang terjadi merupakan hubungan antara debit air yang dikeluarkan pompa dan debit air yang masuk ke tangki dituliskan pada Persamaan berikut.

$$\frac{Q_{in \text{ tangki}}}{Q_{pompa}} = e^{-\theta s} \quad (2.5)$$

#### 2.2.2.3 Permodelan Tangki dan Control Valve

Komponen utama dalam pemodelan tangki adalah tangki itu sendiri dan control valve. Tangki diasumsikan seperti kapasitor dikarenakan sifatnya yang mirip. Ketika proses pengisian air seperti proses pengisian muatan sedangkan proses pembuangan air seperti proses pembuangan muatan pada kapasitor. Oleh sebab itu, kapasitansi tangki dapat didekati dengan luas alas tangki yang berupa lingkaran seperti Persamaan berikut.

$$A = \frac{\text{perubahan volume air (cm}^3\text{)}}{\text{perubahan ketinggian air (m)}} = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.6)$$

Untuk menjaga flow air masuk dan keluar tangki bernilai sama, digunakan hukum kekekalan massa.

$$Q_{in \text{ tangki}} - Q_{out \text{ tangki}} = Q_{tangki} \quad (2.7)$$

$Q_{tangki}$  merupakan laju volume air per satuan waktu atau dapat dirumuskan sebagai

$$Q_{in \text{ tangki}} - Q_{out \text{ tangki}} = A \frac{dh}{dt} \quad (2.8)$$

Adanya control valve memengaruhi jumlah debit volume tangki. Penguatannya dapat diibaratkan sebagai nilai hambatan  $R$ , yaitu perubahan debit per tegangan output.

$$R = \frac{Q_{out \text{ tangki}}}{u_{valve}} \quad (2.9)$$

$$Q_{out \text{ tangki}} = R u_{valve}$$

Nilai  $R$  dapat ditentukan saat kondisi open loop dengan  $Q_{in \text{ tangki}} = 0$  dan dihitung waktu hingga air tangki habis pada  $h$  acuan tertentu.

$$R = \frac{Q_{out \text{ tangki}}}{u_{valve}} = \frac{A_{tangki} h_{diamati}}{t u_{valve}}$$

Diketahui  $A_{tangki} = \pi r^2 = \pi (8^2) = 201.143 \text{ cm}^2$  , apabila  $h_{diamati} = 10\text{cm}$  saat  $u_{valve} = 10V$ , dengan mudah didapat nilai R.

$$R = \frac{201.143}{t} \text{ cm}^3/\text{s} \quad (2.10)$$

Substitusi ke persamaan debit untuk mendapat hubungan dengan h:

$$Q_{in \text{ tangki}} - R u_{valve} = C \frac{dh}{dt} \quad (2.11)$$

Dengan menggunakan transformasi laplace, diperoleh transfer function ketinggian tangki terhadap debit masukan. R ialah konstan.

$$Q_{in \text{ tangki}}(s) - R U_{valve}(s) = C sH(s)$$

$$H(s) = \frac{1}{sA} (Q_{in \text{ tangki}} - R U_{valve}(s))$$

$$R \frac{U_{valve}(s)}{sA} \text{ disebut disturbance level atau } d_{level}(s) = R \frac{U_{valve}(s)}{sA}.$$

Dengan memasukkan parameter plant ke persamaan transfer function di atas pada tabel berikut, akan diperoleh transfer function tangki. Permodelan keseluruhan plant dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} H(s) &= \frac{Q_{in \text{ tangki}}}{sA} + d_{level}(s) \\ H(s) &= \frac{Q_{pompa} e^{-\theta s}}{sA} + d_{level}(s) \\ H(s) &= \frac{(K_{pompa} u_{pompa} + d_{flow}) e^{-\theta s}}{sA} + d_{level}(s) \end{aligned} \quad (2.12)$$

#### 2.2.2.4 Permodelan Sensor

Level transducer yang digunakan bertipe magnetostrictive position sensor. Sensor level (ketinggian) dimodelkan untuk mendapatkan nilai gain penguatan K2. K2 merupakan rasio rentang kerja tegangan terhadap rentang ketinggian air tangki.

$$K_2 = \frac{\text{rentang tegangan keluaran (V)}}{\text{rentang ketinggian air tangki (cm)}} = \frac{10V}{18\text{cm}} = 0.55 \frac{V}{\text{cm}} \quad (2.13)$$

Sedangkan, flow transducer yang digunakan bertipe turbine flow rate sensor. Datasheet dan spesifikasi flow transducer disajikan pada tabel di bawah (Bytronic, 2015).

Tabel 2.1 Spesifikasi Flow Transducer

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Operating pressure	14 bar maximum
2	Burst pressure	170 bar
3	Operating temperature	-20°C to 100°C (ambient +80°C for cable)

4	Input power	5 to 24 VDC @ 8mA
5	Accuracy	±3% of reading
6	Repeatability	0.5% of full scale
7	Flow range	Litres per minute 0.5 to 5

Dengan mengabaikan efek temperature dan tekanan lingkungan, diperoleh penguatan flow tranducer.

$$K_f = \frac{\text{rentang tegangan keluaran (V)}}{\text{rentang flow rate } \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{s}}\right)} = \frac{10V}{5 \text{ lt/min}} \quad (2.14)$$

### 2.2.3 Hardware yang digunakan

Hardware yang digunakan terdiri atas plant PCT-100 dan data actuisition module ADAM5000L/TCP.

#### 2.2.3.1 PCT-100



Gambar 2.5 Plant PCT-100 (Bytronic, 2015)

PCT-100 adalah miniatur sistem pengaturan proses pada dunia industri seperti pada industri makanan dan minuman, industri kimia, pemurnian air, dan pengolahan limbah. PCT-100 merupakan produk dari vendor Bytronic. Perangkat lunak yang mendukung PCT-100 mempunyai fasilitas untuk melakukan pengaturan terhadap empat buah variable kontrol diantaranya debit, level, suhu, dan tekanan.

Tujuan dari PCT-100 adalah untuk memberikan pembelajaran yang mencerminkan masalah pengaturan sebuah sisem sebenarnya dalam dunia industri, mempermudah untuk melakukan analisis dan menerapkan metode kontrol yang lain. PCT-100 juga dapat digunakan untuk menggambarkan secara sederhana dan jelas, karakteristik dari kontroller P, I, dan D. Beberapa sasaran PCT-100 antara lain memberikan keuntungan yang dalam hal penerapan pengaturan berbasis mikroprosesor untuk proses otomasi, menyediakan proses skala kecil dengan gambaran masalah yang ditemukan dalam dunia industri sehingga dapat diterapkan teknik kontrol yang berbeda, menunjukkan kesederhanaan dan efektifitas dari kontroller yang banyak digunakan yaitu PID, dapat melakukan pengamatan terhadap sinyal digital dan analog



untuk mengembangkan pemahaman tentang metode yang sedang digunakan, dan menyediakan fasilitas cocok untuk para operator dalam praktek menemukan dan menyelesaikan permasalahan. Komponen utama pada PCT-100 terdiri dari process rig dan control module. Process rig dan control module dihubungkan oleh port serial untuk melakukan proses pertukaran data. Beberapa komponen yang terdapat pada PCT-100, diantaranya:

1. Sump tank, tempat fluida proses dipompa.
2. Pompa, mensirkulasikan air keseluruh sistem. Pompa ini digerakkan oleh motor DC dan kecepatannya dapat diatur melalui kontroller terhadap referensi flow rate.
3. Flow meter bertipe turbine, mengukur flow rate air.
4. Process tank, tempat terjadinya proses utama.
5. Sensor level
6. Vent pipe

Berdasarkan datasheet, spesifikasi modul proses PCT-100 yang digunakan disajikan pada tabel di bawah (Bytronic, 2015).

Tabel 2.2 Spesifikasi Plant PCT-100

No.	Modul Proses	Spesifikasi
1	Sump tank volume	8 lt
2	Process tank volume	4.5 lt
3	Flow rate (max.)	~3 lt/min
4	Control elements	2x24VDC proportional valve, 1 finger type drain valve.
5	Pump	24v and 7 litres per minute open flow rate with 1.5 bar safety cut-out
6	Safety switch	3 bar Cracking Valve
7	Number of LCD display	5 x Fluid level: process tank and sump tank temperature: pressure level and flow rate
8	Indicators	4 x Heater on: drain valve open: diverter solenoid active and cooler active
9	Connections	2 x 25 way 'D' connectors

#### 2.2.3.2 Data Actuisition ADAM 5000L TCP



Gambar 2.6 Data Actuisition ADAM5000L/TCP (Advantech, 2020)

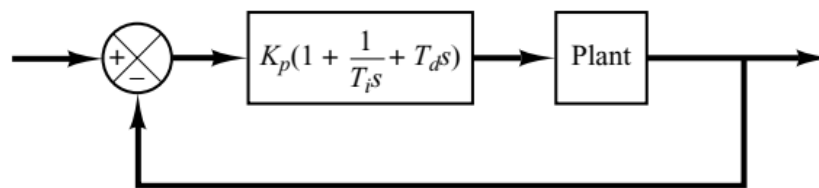
Perangkat keras ADAM 5000 TCP digunakan sebagai pengontrol/eksekutor untuk menjalankan proses. Hal ini dikarenakan perangkat keras ADAM 5000 TCP bekerja setelah diberikan masukan dari PC Human Interface Station. Perangkat keras ADAM 5000 TCP lebih

banyak digunakan sebagai I/O dari proses kontrol yang dirancang. Untuk menjalankan alat ini, perintah dikirim melalui jaringan ethernet dengan komunikasi modbus (Advantech, 2020).

Advantech ADAM 5000 TCP terdiri empat modul, yaitu modul 5050, modul 5024, modul 5024 dan modul 5017. Modul 5050 merupakan masukan atau keluaran digital, sedangkan modul 5024 dan modul 5017 merupakan keluaran dan masukan analog. Pada perancangan sistem kontrol proses ini, hanya menggunakan dua modul. Dua modul yang digunakan yaitu, modul ADAM 5024 yang merupakan modul keluaran analog. Modul ADAM 5024 terdiri dari empat channel untuk memberikan masukan berupa arus dan empat channel masukan berupa tegangan. Modul lain yang digunakan pada perancangan sistem kontrol proses, yaitu modul ADAM 5017 yang merupakan modul masukan analog. Pada modul ini, terdiri dari delapan channel yang digunakan untuk melihat besarnya nilai keluaran dari plant.

#### 2.2.4 Kontroller PID

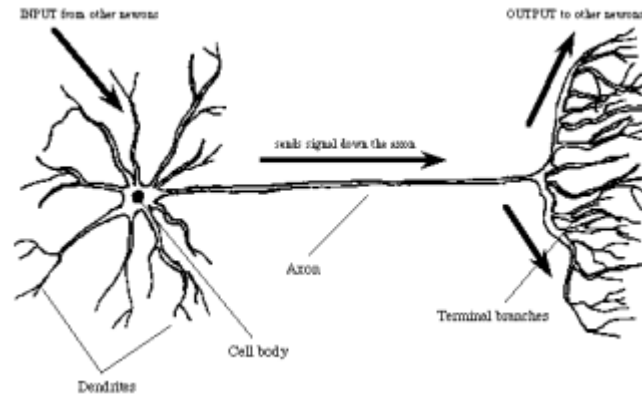
Kontroller PID merupakan kontroller yang paling umum digunakan pada dunia industri. Umumnya kontroler PID terdapat pada lokasi plant dan beberapa metode dikembangkan untuk melakukan penalaan parameter PID secara otomatis. Keunggulan dari kontroler PID terletak pada aplikasi yang luas dan hampir dapat digunakan untuk semua sistem pengaturan. Meskipun terkadang belum memberikan hasil yang optimal, kontroler PID hampir selalu dapat memberikan respon yang baik (Ogata, 2010). Diagram blok dari kontroler PID dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.7 Closed Loop Pengaturan PID Plant (Ogata, 2010)

#### 2.2.5 Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial Neural Network)

Artificial Neural Network bekerja menurut prinsip kerja jaringan syaraf manusia. Dari Gambar di bawah dapat dilihat, bahwa sebuah neuron mendapatkan input dari dendrit dan memberikan output melalui akson. Informasi masuk kedalam syaraf melalui dendrit. Dendrit ini bertugas mengumpulkan informasi dan meneruskannya ke badan sel. Pada badan sel, informasi yang telah dikumpulkan diolah dengan proses tertentu dan menghasilkan sinyal output. Output dari badan sel diteruskan ke sel syaraf berikutnya melalui akson. Akson ini akan terhubung dengan dendrit sel syaraf berikutnya. Sambungan akson sel syaraf satu dengan dendrit sel syaraf lainnya disebut sinapsis. Kekuatan sambungan pada sinapsis menentukan seberapa besar informasi yang diteruskan oleh sel syaraf sebelumnya dapat diterima oleh sel syaraf berikutnya, yang kemudian disebut dengan bobot.



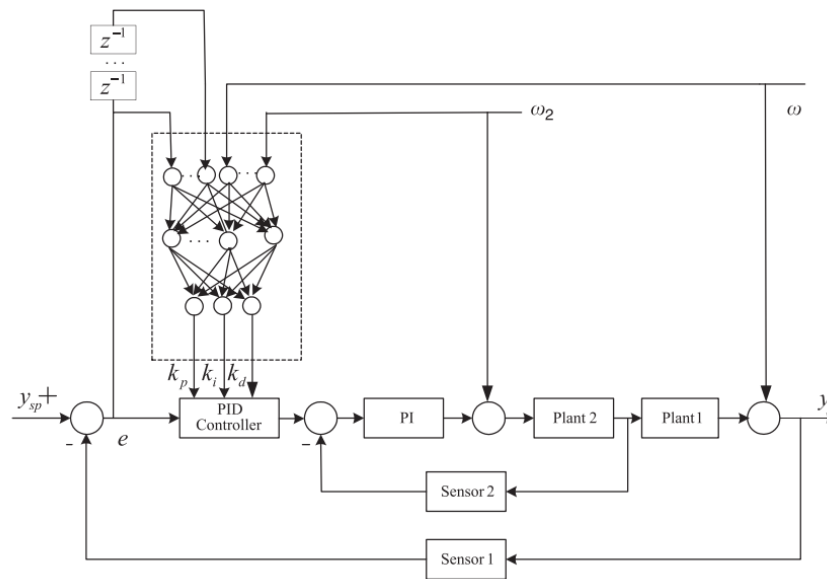
Gambar 2.8 Ilustrasi Jaringan Syaraf

Tiruan neuron dalam struktur Neural Network adalah sebagai elemen proses yang dapat berfungsi seperti halnya sebuah neuron. Model dari neuron pada Neural Network ini seperti pada Gambar 2.8, dimana  $p_i$  merupakan input pada neuron dan  $w_i$  merupakan bobot atau weight. Sinyal input  $p_i$  ini akan dikalikan dengan nilai  $w_i$ . Nilai output dari neuron ini dapat dirumuskan seperti pada Persamaan berikut.

$$a = f(z) = f\left(\left(\sum_{i=1}^n p_i w_i\right) - \theta\right) \quad (2.15)$$

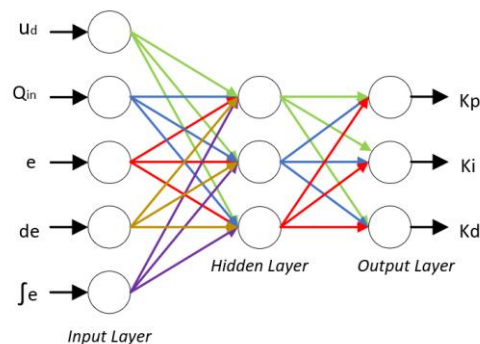
Dimana  $\theta$  merupakan nilai bias, dan  $f$  merupakan fungsi aktivasi pada neuron. Tingkat aktivasi dari neuron dapat berharga diskrit yaitu 0 dan 1, atau kontinyu yaitu antara 0 dan 1. Hal tersebut bergantung pada fungsi aktivasi yang digunakan. Ada berbagai macam fungsi aktivasi yang digunakan diantaranya Threshold function, Hard limit function, Sigmoid function, dan Linear Function. Dari macam-macam fungsi aktivasi pada neuron yang paling sering digunakan adalah sigmoid function karena dianggap lebih mendekati dari kinerja sinyal pada otak manusia.

### 2.2.6 Cascade Neuro-PID



Gambar 2.9 Kontroler cascade neuro PID (Zhang et al., 2012)

Kontroller neuro PID yang dirancang tersusun atas 3 jenis layer, yaitu satu input layer, satu output layer, dan beberapa hidden layer yang divariasikan.



Gambar 2.10 Struktur Neural Network untuk Autotune PID

Pada algoritma neural network, terdapat mekanisme feedforward dan backpropagation. Algoritma feedforward akan menghitung maju input layer menuju output layer, lalu dibandingkan nilai output dengan referensi yang digunakan. Jumlah neuron pada input layer disesuaikan dengan variable masukan layer. Persamaan berikut menyatakan keluaran input layer ke input hidden layer.

$$O_j^1 = x(j) \quad (j = 1, 2, \dots, M) \quad (2.16)$$

M merupakan jumlah neuron input layer, dimana terdapat error (e), derivative error (de), integrator error (∫e), setpoint Ud, dan keluaran plant Qin. Persamaan berikut merupakan input ke hidden layer yang akan diaktivasi fungsi tanh sigmoid  $O_i^{(2)}$ .

$$net_1^{(2)} = \sum_{j=0}^M w_{ij}^{(2)} O_j^{(1)} \quad (2.17)$$

$$O_i^{(2)}(k) = f\left(net_1^{(2)}(k)\right) \quad (i = 1, 2, \dots, Q) \quad (2.18)$$

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.19)$$

Q merupakan jumlah neuron hidden layer, f ialah fungsi aktivasi hidden layer,  $w_{ij}$  ialah bobot input layer ke hidden layer. Sementara itu dengan cara yang sama, keluaran output layer dapat dituliskan sebagai berikut.

$$net_1^{(3)} = \sum_{i=0}^Q w_{ij}^{(3)} O_i^{(3)} \quad (2.20)$$

$$O_l^{(3)}(k) = g\left(net_1^{(3)}(k)\right) \quad (l = 1, 2, 3) \quad (2.21)$$

g merupakan fungsi aktivasi output layer yang nilainya non negative, sehingga digunakan fungsi aktivasi non negative sigmoid.

$$g(x) = \frac{e^x}{e^x + e^{-x}} \quad (2.22)$$

Keluaran dari output layer merupakan nilai Kp, Ki, dan Kd seperti persamaan berikut.

$$O_1^{(3)}(k) = Kp$$

$$O_2^{(3)}(k) = Ki$$

$$O_3^{(3)}(k) = Kd$$

Mekanisme backpropagation akan merubah nilai bobot neuron melalui nilai error atau indeks performansi. Perubahan bobot hidden layer ke output layer diberikan dengan persamaan berikut.

$$\Delta w_{li}^{(3)}(k) = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{li}^{(3)}} + \alpha w_{li}^{(3)}(k-1) \quad (2.23)$$

$$w_{li}^{(3)}(k+1) = w_{li}^{(3)}(k) + \Delta w_{li}^{(3)}(k) \quad (2.24)$$

$$\Delta w_{li}^{(3)}(k+1) = \alpha \Delta w_{li}^{(3)}(k-1) + \eta \delta_l^{(3)} O_i^{(2)}(k) \quad (2.25)$$

$$\delta_l^{(3)} = e(k) \frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \frac{\delta u(k)}{\delta O_i^{(3)}(k)} g'\left(in_l^{(3)}(k)\right) \quad (2.26)$$

$$g'(x) = g(x)(1 - g(x)) \quad (2.27)$$

Sementara itu dengan cara yang sama, untuk perubahan bobot input layer ke hidden layer diberikan oleh persamaan berikut.

$$w_{ij}^{(2)}(k+1) = w_{ij}^{(2)}(k) + \Delta w_{ij}^{(2)}(k) \quad (2.28)$$

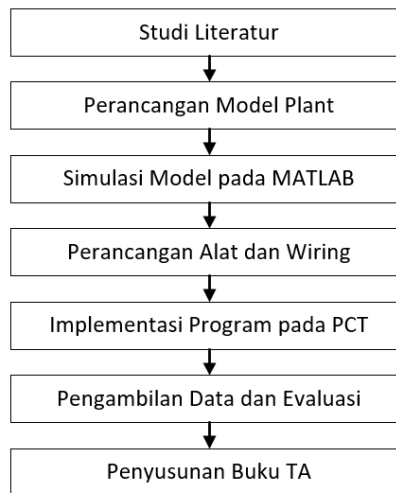
$$\Delta w_{ij}^{(2)}(k) = \alpha \Delta w_{ij}^{(2)}(k-1) \delta_i^{(2)} o_j^{(1)}(k) \quad (2.29)$$

$$\delta_l^{(2)} = f' \left( in_l^{(2)}(k) \right) \sum_{i=1}^3 \delta_l^{(3)} w_{li}^{(3)}(k) \quad (2.30)$$

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1 Metode yang digunakan

Metode yang digunakan dalam merancang controller adaptif neuro PID terbagi atas 2 tahapan, yakni eksperimen simulasi dan implementasi. Tahapan perancangan controller tersaji dalam flow diagram berikut.



Gambar 3.1 Langkah Pengerjaan

1. Studi literatur  
Pengerjaan tugas akhir ini diawali dengan studi literatur yang membahas tentang kontrol adaptif, cascade, dan neural network. Sumber literatur bersumber dari textbook, manual alat, dan jurnal penelitian sebelumnya.
2. Perancangan model plant  
Perancangan model diperlukan untuk mengidentifikasi respon system dari parameter plant. Perancangan ini juga memerlukan pengambilan data training melalui software PCT-100. Data yang diperoleh nantinya digunakan untuk menyusun spesifikasi simulasi neural network. Proses analisis model dan data training diperlukan untuk menyusun algoritma simulasi yang sesuai.
3. Simulasi model plant pada MATLAB  
Simulasi plant dilakukan menggunakan MATLAB dan data process value yang diperoleh sebelumnya. Tuning simulasi dilakukan dengan mengambil data training plant dan melatihnya secara offline tuning. Simulasi model diharapkan memenuhi spesifikasi respon berupa error steady state yang rendah dan meminimalkan overshoot. Apabila tujuan ini sudah terpenuhi, diperlukan implementasi pada plant sebagai penerapan dari model simulasi.
4. Perancangan alat dan wiring  
Tahapan ini merupakan langkah implementasi dari model simulasi yang berhasil dibangun. Perancangan alat meliputi tahap penyiapan alat, wiring instrument berdasarkan manual, serta konfigurasi software (Python, PyCharm, dan ADAM Apax .Net) sebagai computer controller.

5. Implementasi program pada PCT

Setelah alat dan wiring sudah dipasang dan dapat dieksekusi oleh computer, implementasi dilanjutkan dengan mengeksekusi program kontrol dalam kode Python. Program berjalan secara realtime untuk menguji performansi dengan online tuning.

6. Pengambilan data dan evaluasi

Untuk melihat performansi pengujian implementasi dengan online tuning, respon sistem berupa error steady state dan overshoot perlu dianalisis sebagai bahan evaluasi. Apabila hasil kurang sesuai, dilakukan perbaikan pada kode program hingga mendapat respon yang sesuai dengan tujuan implementasi.

7. Penyusunan buku tugas akhir

Tahapan terakhir, diperlukan penyusunan buku tugas akhir untuk mendokumentasi penelitian yang dilakukan dan luaran untuk publikasi.

Perancangan kontroller PID-NN tersusun atas kontroller PID sebagai kontroller utama dan neural network sebagai kontroller cerdas yang mampu melakukan autotuning parameter PID. Kontroller ini dapat didesain melalui langkah berikut.

1. Menentukan algoritma learning yang akan dipakai pada neural network. Pada penelitian ini digunakan backpropagation.
2. Menentukan struktur neural network, yakni jumlah layer dan neuron tiap layer.
3. Melakukan pembobotan pada input, hidden, dan output layer.
4. Menentukan learning rate.

### **3.2 Bahan dan peralatan yang digunakan**

Pengerjaan tugas akhir ini memerlukan bahan dan peralatan sebagai berikut.

1. Modul plant PCT-100
2. Data Actuisition ADAM5000L
3. Laptop OS Windows 10
4. Python 3.8 dan PyCharm IDE
5. MATLAB dan SIMULINK v2021b

### **3.3 Urutan pelaksanaan penelitian**

Penjadwalan pengerjaan tugas akhir disusun agar proses pengerjaan berlangsung pada waktu yang sesuai dan selesai tepat waktu. Penjadwalan ini ditentukan berdasar perkiraan bobot tiap kegiatan pengerjaan. Urutan pelaksanaan disajikan pada tabel di bawah.



Tabel 3.1 Timeline Pengerjaan Tugas Akhir

No.	Kegiatan	Minggu ke-															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Studi literatur																
2	Perancangan model plant																
3	Simulasi model pada MATLAB																
4	Perancangan alat dan wiring																
5	Implementasi program pada PCT-100																
6	Pengambilan data																
7	Analisis data pengujian																
8	Penyusunan buku TA																

## DAFTAR PUSTAKA

- Advantech. (2020). *ADAM-5000/TCP Series User Manual* (Vol. 1).  
<https://www.advantech.com/id-id/support/details/manual?id=1-48FRA>
- Bytronic. (2015). *Process Control Technology PCT-100 Datasheet*.  
<http://www.bytronic.net/wp-content/uploads/2015/04/PCT100-PL0214.pdf>
- Ghufron, M. Z. (2016). *DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONTROLER SELF-TUNING PID DENGAN PENDEKATAN INTERAKSI ADAPTIF PADA SISTEM PENGATURAN LEVEL*.
- Ogata, Katsuhiko. (2010). *Modern Control Engineering*. Prentice-Hall.
- Padhan, D. G., & Majhi, S. (2012). Modified Smith predictor based cascade control of unstable time delay processes. *ISA Transactions*, 51(1), 95–104.  
<https://doi.org/10.1016/J.ISATRA.2011.08.002>
- Patel, R., & Kumar, V. (2015). Multilayer Neuro PID Controller based on Back Propagation Algorithm. *Procedia Computer Science*, 54, 207–214.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.06.023>
- Raharjo, R. D. (2014). *DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONTROLER PID GAIN SCHEDULING UNTUK SISTEM PENGATURAN PROSES LEVEL PADA PROCESS CONTROL TECHNOLOGY - 100*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Zhang, J., Zhang, F., Ren, M., Hou, G., & Fang, F. (2012). Cascade control of superheated steam temperature with neuro-PID controller. *ISA Transactions*, 51(6), 778–785.  
<https://doi.org/10.1016/j.isatra.2012.06.008>

## **LAMPIRAN**