



**TUGAS AKHIR – TF 181801**

**PERBANDINGAN PENGENDALIAN pH PADA SISTEM  
HIDROPONIK MENGGUNAKAN METODE  
PENGENDALIAN PID DAN PENGENDALIAN  
JARINGAN SYARAF TIRUAN**

Gagas Prajamukti Harianto  
NRP. 0231154000088

Dosen Pembimbing :  
Hendra Cordova, S.T, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020





**TUGAS AKHIR – TF 181801**

**PERBANDINGAN PENGENDALIAN pH PADA SISTEM  
HIDROPONIK MENGGUNAKAN METODE  
PENGENDALIAN PID DAN PENGENDALIAN  
JARINGAN SYARAF TIRUAN**

Gagas Prajamukti Harianto  
NRP. 02311540000088

Dosen Pembimbing :  
Hendra Cordova, S.T, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

*“Halaman ini memang dikosongkan”*



***FINAL PROJECT – TF 181801***

***COMPARISON OF pH CONTROL IN HYDROPONIC  
SYSTEM USING PID CONTROL METHOD AND  
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK***

*Gagas Prajamukti Harianto*  
*NRP. 0231154000088*

*Supervisor :*  
*Hendra Cordova, S.T, M.T.*

*DEPARTEMEN of ENGINEERING PHYSICS*  
*Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering*  
*Institut Teknologi Sepuluh Nopember*  
*Surabaya*  
*2020*

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

### PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Gagas Prajamukti Harianto  
NRP : 0231154000088  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri dan  
Rekayasa Sistem  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh  
Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Perbandingan Pengendalian pH Pada Sistem Hidroponik Menggunakan Metode Pengendalian PID dan Pengendalian Jaringan Syaraf Tiruan" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 23 Januari 2020  
Yang membuat pernyataan,



Gagas Prajamukti Harianto  
NRP.0231154000088

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

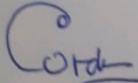
**PERBANDINGAN PENGENDALIAN pH PADA SISTEM  
HIDROPONIK MENGGUNAKAN METODE  
PENGENDALIAN PID DAN PENGENDALIAN  
JARINGAN SYARAF TIRUAN**

Oleh:

Gagas Prajamukti Harianto  
NRP.0231154000088

Surabaya, 23 Januari 2020

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



Hendra Cordova, S.T., M.T.  
NIPN.19690530 199412 1 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTIRS-ITS



Dr. Savitri, S.T., M.T.  
NIPN.19711115 199512 1 002

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

# LEMBAR PENGESAHAN

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERBANDINGAN PENGENDALIAN pH PADA SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN METODE PENGENDALIAN PID DAN PENGENDALIAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

#### TUGAS AKHIR

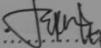
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**GAGAS PRAJAMUKTI HARIANTO**  
**NRP.0231154000088**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Hendra Cordova, S.T., M.T..........(Pembimbing)
2. Totok Ruki Biyanto, Ph.D..........(Ketua Penguji)
3. Ir. Zulkifli, M.Sc..........(Penguji 1)
4. Erna Septyaningrum, S.T., M.T..........(Penguji 2)

**SURABAYA**  
**Januari, 2020**

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

# PERBANDINGAN PENGENDALIAN pH PADA SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN METODE PENGENDALIAN PID DAN PENGENDALIAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

**Nama** : Gagas Prajamukti Harianto  
**NRP** : 0231154000088  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Hendra Cordova, S.T., M.T.

## **Abstrak**

Pengendalian pH pada sistem hidroponik sangat diperlukan karena untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi oleh tanaman. Pada *plant* hidroponik kali ini nutrisi yang digunakan adalah AB Mix. Penambahan AB Mix akan memengaruhi perubahan nilai pH. Tanaman yang digunakan adalah tanaman kangkung yang memiliki *set point* pH sebesar 6,5. PID dan JST merupakan jenis kontrol yang dapat digunakan untuk mengendalikan pH pada *plant* hidroponik. Kontrol JST menggunakan *Model Reference Neural Network Controller*. Algoritma yang digunakan adalah algoritma Levenberg-Marquardt. Nilai  $k_p$ ,  $t_i$ , dan  $t_d$  pada pengendali PID secara berurutan sebesar 7,45; 2,8; 0,725. Pada kontrol PID didapatkan nilai *maximum overshoot* sebesar 49,5 %, *settling time* 20 detik, *error steady state* 0,5 %, dan IAE 5063. Sedangkan pada kontrol JST didapatkan nilai *maximum overshoot* sebesar 0,3 %, *settling time* 20 detik, dan *error steady state* 0,35 %, dan IAE 4828. Kontrol terbaik yang digunakan pada *plant* hidroponik adalah kontrol JST.

***Kata kunci : pH, Hidroponik, Kontrol PID, Kontrol JST***

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

**COMPARISON OF pH CONTROL IN HYDROPONIC  
SYSTEM USING PID CONTROL METHOD AND  
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

**Name** : **Gagas Prajamukti Harianto**  
**NRP** : **0231154000088**  
**Department** : **Teknik Fisika FTI-ITS**  
**Supervisor** : **Hendra Cordova, S.T., M.T.**

***Abstract***

*Reducing the pH of the hydroponic system is needed because it optimizes the absorption of nutrients by plants. In this hydroponic plant, the nutrient used is AB Mix. The addition of AB Mix will affect changes in pH. The plants used are spinach plants that have a pH set point of 6.5. PID and ANN are control types that can be used to control pH in hydroponic plants. ANN control uses the Neural Network Controller Model Reference. The algorithm used is the Levenberg-Marquardt algorithm. Value  $k_p$ ,  $t_i$ , and  $t_d$  in control PID is 7.45; 2.8; 0.725. In the PID control the maximum overshoot value is 49.5 %, the setting time is 20 seconds, error steady state is 0.5 %, IAE 5063. Whereas in the ANN control, the maximum overshoot value was 0.3 %, the settling time was 20 seconds, error steady state was 0.35%, and IAE 4828. The best control used in hydroponic plants is ANN control.*

*Keywords: pH, Hydroponics, PID Control, ANN Control*

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul **“PERBANDINGAN PENGENDALIAN pH PADA SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN METODE PENGENDALIAN PID DAN PENGENDALIAN JARINGAN SYARAF TIRUAN”**.

Penulisan telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Bapak Hendra Cordova, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, nasihat, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
3. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumensi yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta kemudahan perizinan.
4. Bapak Ir. Roekmono, M.T. selaku dosen wali sebelum beliau pensiun yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
5. Kedua orang tua (Bapak Rusdi Harianto dan Ibu Mariyatun). Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
6. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.

7. Livia Lina V yang telah memberikan pencerahan jalan hidup, membantu dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Seluruh teman – teman Departemen Teknik Fisika angkatan 2015, terima kasih untuk semuanya.
9. Rekan-rekan dari Laboratorium Fisika Rekayasa Teknik Fisika – ITS.
10. Teman-teman Kantin Ijo Teknik Fisika ITS yang telah memberikan semangat lebih dalam menuntut ilmu dan menyelesaikan tugas akhir.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 22 Januari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....               | v    |
| LEMBAR PENGESAHAN.....                           | vii  |
| Abstrak .....                                    | xi   |
| <i>Abstract</i> .....                            | xiii |
| KATA PENGANTAR.....                              | xv   |
| DAFTAR ISI.....                                  | xvii |
| DAFTAR GAMBAR .....                              | xix  |
| DAFTAR TABEL .....                               | xxi  |
| BAB I.....                                       | 1    |
| PENDAHULUAN.....                                 | 1    |
| 1.1. Latar Belakang .....                        | 1    |
| 1.2. Rumusan Masalah .....                       | 2    |
| 1.3. Tujuan .....                                | 2    |
| 1.4. Batasan Masalah .....                       | 3    |
| BAB II.....                                      | 5    |
| TEORI PENUNJANG.....                             | 5    |
| 2.1. pH Larutan .....                            | 5    |
| 2.2. Konduktivitas Larutan.....                  | 6    |
| 2.3. Sensor pH.....                              | 7    |
| 2.4. Kontrol PID.....                            | 11   |
| 2.5. Jaringan Syaraf Tiruan .....                | 13   |
| 2.6 Algoritma Levenberg–Marquardt .....          | 19   |
| BAB III.....                                     | 23   |
| METODOLOGI PENELITIAN .....                      | 23   |
| 3.1 Diagram Alir .....                           | 23   |
| 3.2 Studi Literatur .....                        | 26   |
| 3.3 Perancangan <i>Plant</i> Hidroponik .....    | 26   |
| 3.4 Perancangan Simulasi Sistem Hidroponik ..... | 27   |
| 3.5 Simulasi Matlab .....                        | 31   |
| BAB IV .....                                     | 33   |
| ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....                | 33   |

|  |    |
|--|----|
| 4.1 Uji <i>Open Loop</i> .....                       | 33 |
| 4.2 Perancangan Kontrol PID .....                    | 34 |
| 4.3 Uji <i>Set Point</i> Kontrol PID .....           | 35 |
| 4.4 Uji <i>Disturbance</i> Kontrol PID .....         | 36 |
| 4.5 Perancangan Kontrol Jaringan Syaraf Tiruan ..... | 39 |
| 4.6 Uji <i>Set Point</i> Kontrol JST .....           | 49 |
| 4.7 Uji <i>Disturbance</i> Kontrol JST.....          | 50 |
| 4.8 Perbandingan Kontrol PID dan JST .....           | 52 |
| PENUTUP .....  | 55 |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                  | 57 |
| LAMPIRAN A .....                                     | 59 |
| LAMPIRAN B .....                                     | 65 |
| BIODATA PENULIS.....                                 | 71 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 2. 1</b> Tabel pH dan PPM untuk Sayuran Daun (Hidroponikpedia.com) ..... | 6  |
| <b>Gambar 2. 2</b> Percobaan Konduktivitas (www.urip.com).....                     | 7  |
| <b>Gambar 2. 3</b> Skema Sistem Elektroda Kaca(Desmira, 2018)...                   | 8  |
| <b>Gambar 2. 4</b> Proses Pertukaran Ion H.....                                    | 9  |
| <b>Gambar 2. 5</b> Kurva Perubahan pH dengan Beda Potensial.....                   | 10 |
| <b>Gambar 2. 6</b> Elektroda Kaca dan Elektroda referensi.....                     | 11 |
| <b>Gambar 2. 7</b> Blok diagram pelatihan menggunakan algoritma LM.....            | 22 |
| <b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Penelitian .....                                   | 23 |
| <b>Gambar 3. 2</b> Diagram Alir Penelitian Lanjutan .....                          | 24 |
| <b>Gambar 3. 3</b> Diagram Alir Kontrol JST .....                                  | 25 |
| <b>Gambar 3. 4</b> Sistem Hidroponik DFT.....                                      | 26 |
| <b>Gambar 3. 5</b> Sistem Hidroponik .....   | 27 |
| <b>Gambar 3. 6</b> Diagram Blok Plant Hidroponik Open Loop .....                   | 27 |
| <b>Gambar 3. 7</b> Diagram Blok Plant Hidroponik Sistem Close Loop .....           | 28 |
| <b>Gambar 4. 1</b> Grafik Uji Open Loop.....                                       | 33 |
| <b>Gambar 4. 2</b> Respon Uji PID .....  | 34 |
| <b>Gambar 4. 3</b> Respon Uji Set Point pH 6 .....                                 | 35 |
| <b>Gambar 4. 4</b> Respon Uji Disturbance pH 4,5 .....                             | 37 |
| <b>Gambar 4. 5</b> Respon Uji Disturbance pH 7,5 .....                             | 38 |
| <b>Gambar 4. 6</b> Diagram Blok Model Reference Neural Network Controller .....    | 39 |
| <b>Gambar 4. 7</b> Grafik Pelatihan Plant Menggunakan JST .....                    | 41 |
| <b>Gambar 4. 8</b> Validasi Data.....  | 41 |
| <b>Gambar 4. 9</b> Uji JST Plant.....  | 42 |
| <b>Gambar 4. 10</b> Performa JST Pada Plant.....                                   | 43 |
| <b>Gambar 4. 11</b> Regresi JST Pada Plant .....                                   | 43 |
| <b>Gambar 4. 12</b> Pelatihan JST Pada Controller .....                            | 45 |

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Gambar 4. 13</b> | Performa JST Kontrol .....               | 46 |
| <b>Gambar 4. 14</b> | Regresi JST Kontrol.....                 | 47 |
| <b>Gambar 4. 15</b> | Respon Kontrol JST .....                 | 48 |
| <b>Gambar 4. 16</b> | Uji Set Point pH 6 Kontrol JST.....      | 49 |
| <b>Gambar 4. 17</b> | Uji Disturbance pH 4,5 Kontrol JST ..... | 50 |
| <b>Gambar 4. 18</b> | Uji Disturbance pH 7,5 Kontrol JST ..... | 51 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabel 2. 1</b> Respon PID Controller Terhadap Perubahan Konstanta..... | 13 |
| <b>Tabel 4. 1</b> Parameter PID Metode Ziegler Nichols .....              | 34 |
| <b>Tabel 4. 2</b> Hasil Respon PID .....                                  | 35 |
| <b>Tabel 4. 3</b> Hasil Respon Uji Set Point .....                        | 36 |
| <b>Tabel 4. 4</b> Hasil Uji Disturbance .....                             | 38 |
| <b>Tabel 4. 5</b> Parameter-parameter Pelatihan Model Plant .....         | 40 |
| <b>Tabel 4. 6</b> Parameter-parameter Pelatihan Model Reference ..        | 44 |
| <b>Tabel 4. 7</b> Hasil Uji JST .....                                     | 48 |
| <b>Tabel 4. 8</b> Hasil Respon Uji Set Point Kontrol JST.....             | 50 |
| <b>Tabel 4. 9</b> Hasil Respon Uji Disturbance Kontrol JST .....          | 52 |
| <b>Tabel 4. 10</b> Perbandingan Kontrol PID Dan JST.....                  | 53 |

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Perkembangan teknologi di dunia begitu pesat termasuk dalam bidang pertanian. Dengan perkembangan tersebut maka sistem pertanian sekarang dapat dilakukan pada tempat yang minimal tidaklah pada tempat yang luas seperti dulu. Hidroponik adalah suatu teknologi budidaya tanaman dalam larutan nutrisi dengan media buatan (Ngafifuddin, 2017). Selain memiliki keuntungan tersebut, hidroponik memiliki keuntungan dapat meminimalisir hama, meminimalisir dampak keterbatasan iklim, dan mengatasi keterbatasan irigasi (Asriyant, 2013). Untuk mengoptimalkan nutrisi pada larutan agar dapat diserap oleh tanaman secara maksimal maka dibutuhkan suatu sistem pengendalian.

Sistem pengendalian adalah suatu sistem yang banyak dijumpai di dunia industri. Pengendalian sangatlah penting di dunia industri karena dapat mengurangi error yang terjadi pada proses industri. Pengendalian dapat diterapkan pada temperature, pressure, level, flow, pH, dan besaran fisis yang lain. pH dapat dikendalikan karena mempunyai dampak antara lain yaitu mempengaruhi karakteristik dan konsentrasi larutan, sehingga dapat pula berakibat pada proses keberlangsungan hidup suatu makhluk hidup.

Untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi pada sistem hidroponik tidak dapat dilakukan dengan matematika sederhana dikarenakan faktor pH, EC dan oksigen terlarut dipengaruhi oleh reaksi kimia dan biologis serta faktor iklim (Tao & Burkhardt, 1994). Pengendalian pH biasanya terjadi di tangki nutrisi sistem hidroponik karena mempunyai proses pencampuran yang cukup efisien untuk dua atau lebih larutan. Menurut penelitian yang

dilakukan oleh Wibowo, dkk ditahun 2017 menjelaskan bahwa pH larutan nutrisi hidroponik sebaiknya berkisar antara 5,5 sampai 6,5 atau bersifat asam, sehingga dapat menjaga kemampuan daya larut unsur hara baik makro maupun mikro menjadi lebih optimal untuk diserap oleh akar tanaman. Konduktivitas larutan juga berperan pada keberlangsungan hidup tanaman (Patel, 1977; Loy & T., 1966; Bangerth, 1979). pH larutan yang berubah dapat mempengaruhi penyerapan ion-ion nutrisi oleh akar tanaman (Hatch, Jones, & Burau, 1988). Diperlukan kontrol pH yang efektif untuk menjaga supaya pH tetap berada pada *setpoint* dikarenakan karakteristik pH pada sistem hidroponik yang nonlinier. Pendekatan jaringan saraf tiruan mampu menangani masalah yang sangat kompleks seperti nonlinier (Tao & Burkhardt, 1994).

Oleh karena itu diperlukan pengendalian pH menggunakan metode jaringan syaraf tiruan tangki nutrisi sistem hidroponik untuk menjaga agar sesuai dengan setpoint berdasarkan spesifikasi tanaman dan lingkungannya. Sehingga dengan dikendalikannya pH akan berdampak pada optimalnya tanaman tersebut dalam menyerap nutrisi

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana hasil dari perancangan kontrol PID dan kontrol jaringan syaraf tiruan pada sistem pengendalian pH pada sistem hidroponik?
- b. Bagaimana performansi kontrol PID dan kontrol jaringan syaraf tiruan pada sistem hidroponik dan jenis control mana yang terbaik?

## **1.3. Tujuan**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Merancang sistem kontrol pengendalian pH menggunakan kontrol PID dan kontrol jaringan syaraf tiruan pada sistem pengendalian pH pada sistem hidroponik.
- b. Mengetahui jenis kontrol terbaik pada pengendalian pH di sistem hidroponik berdasarkan performansinya.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Plant yang digunakan sebagai bahan penelitian adalah Tangki nutrisi.
- b. Larutan yang digunakan berupa larutan AB Mix.
- c. Tanaman yang digunakan adalah kangkung

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

#### **2.1. pH Larutan**

pH adalah salah satu besaran fisis yang banyak terdapat pada benda berbentuk *liquid*. Pengertian dari besaran pH sendiri adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menentukan derajat keasaman suatu larutan, bisa juga didefinisikan sebagai kologaritma aktivitas ion hidrogen ( $H^+$ ) yang terlarut (Angga, 2013). pH normal memiliki nilai 7 sementara bila nilai  $pH > 7$  menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa sedangkan nilai  $pH < 7$  menunjukkan keasaman. pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaan tertinggi. Umumnya indikator sederhana yang digunakan adalah kertas lakmus yang berubah menjadi merah bila keasamannya tinggi dan biru bila keasamannya rendah (Sanjaya, 2012).

pH pertama kali dikemukakan oleh ilmuwan asal Denmark Søren Peder Lauritz Sørensen pada tahun 1909. Makna singkatan "p" pada "pH" tidaklah diketahui dengan pasti. Ada beberapa rujukan yang mengisyaratkan bahwa makna "p" berasal dari singkatan power p (pangkat), adapun yang lainnya merujuk pada kata bahasa Jerman Potenz (pangkat), dan ada pula yang merujuk dari kata potential. Pada tahun 2000 seorang ilmuwan Jens Norby mempublikasikan sebuah karya ilmiah yang berargumen bahwa p adalah sebuah tetapan yang berarti "logaritma negatif".

Kondisi pH yang stabil dapat meningkatkan dan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman. Jenis tanaman mempunyai daerah kestabilan pH sendiri tergantung pada kondisi tanaman tersebut dapat tumbuh optimal dan menyerap nutrisi secara maksimal. Gambar 2.1 merupakan gambar tabel nilai pH dan PPM pada jenis tanaman sayuran buah.




**Tabel pH dan PPM untuk Sayuran Daun**

| Nama Sayuran      | pH        | PPM         |
|-------------------|-----------|-------------|
| Artichoke         | 6.5 - 7.5 | 560 - 1260  |
| Asparagus         | 6.0 - 6.8 | 980 - 1200  |
| Bawang Pre        | 6.5 - 7.0 | 980 - 1260  |
| Bayam             | 6.0 - 7.0 | 1260 - 1610 |
| Brokoli           | 6.0 - 6.8 | 1960 - 2450 |
| Brussell Kecambah | 6.5       | 1750 - 2100 |
| Endive            | 5.5       | 1400 - 1680 |
| Kailan            | 5.5 - 6.5 | 1050 - 1400 |
| Kangkung          | 5.5 - 6.5 | 1050 - 1400 |
| Kubis             | 6.5 - 7.0 | 1750 - 2100 |
| Kubis Bunga       | 6.5 - 7.0 | 1750 - 2100 |
| Pakcoy            | 7.0       | 1050 - 1400 |
| Sawi Manis        | 5.5 - 6.5 | 1050 - 1400 |
| Sawi Pahit        | 6.0 - 6.5 | 840 - 1680  |
| Seledri           | 6.5       | 1260 - 1680 |
| Selada            | 6.0 - 7.0 | 560 - 840   |
| Silverbeet        | 6.0 - 7.0 | 1260 - 1610 |

**Gambar 2. 1** Tabel pH dan PPM untuk Sayuran Daun  
(Hidroponikpedia.com)

## 2.2. Konduktivitas Larutan

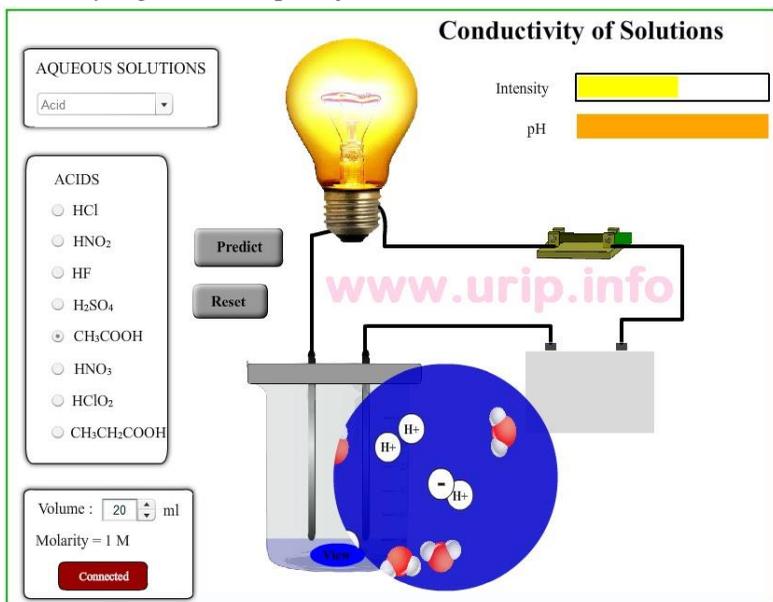
Konduktivitas (daya hantar) listrik adalah pengukuran seberapa baik suatu bahan dalam mengakomodasi transpor arus listrik. Para ahli sains seringkali membagi bahan (materi) kedalam tiga kelompok berdasarkan respektifitas dalam menghantarkan listrik yaitu konduktor, misalnya bahan-bahan yang memiliki konduktivitas tinggi; isolator, seperti gelas atau vakum memiliki konduktivitas yang rendah; serta semikonduktor, konduktivitas dari semikonduktor umumnya intermediet, tetapi memiliki variasi yang luas pada kondisi yang berbeda. Beberapa macam konduktivitas listrik antara lain Silver:  $63 \cdot 10^6$  S/m ( $630,000,000,000 \mu\text{S/cm}$ ; memiliki konduktivitas listrik paling

tinggi diantara semua metal), Ultra pure water (air suling):  $5.5 \cdot 10^{-6}$  S/m ( $0.055 \mu\text{S/cm}$ ), Air minum:  $0.005 - 0.05$  S/m ( $50-500 \mu\text{S/cm}$ ), Air laut:  $5$  S/m ( $50,000 \mu\text{S/cm}$ ).

Konduktivitas larutan dapat diukur menggunakan sel konduktivitas yang terbuat dari dua lempengan logam dengan luas yang sama serta pada jarak yang telah ditentukan. Berikut ini merupakan persamaannya

$$G = \frac{K \cdot A}{l} \quad (2.1)$$

Pada Gambar 2.2 merupakan proses konduktivitas larutan dimana ion-ion  $\text{H}^+$  terurai sehingga dapat menghantarkan daya listrik. Pada gambar tersebut juga terdapat dua lempengan logam dengan luas yang sama dan pada jarak tertentu.

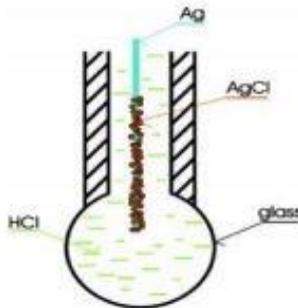


**Gambar 2. 2** Percobaan Konduktivitas ([www.urip.com](http://www.urip.com))

### 2.3. Sensor pH

Alat untuk mengukur sebuah keasaman suatu larutan bisa menggunakan kertas lakmus. Namun kertas lakmus hanya bisa

menentukan suatu larutan itu asam atau basa. Untuk menentukan nilai keasaman suatu larutan dengan akurasi yang tinggi maka digunakannlah alat bernama pH meter (Palimbunga, 2017). Prinsip kerja utama pH meter adalah terletak pada sensor probe berupa elektroda kaca (glass elektroda) dengan jalan mengukur jumlah ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  di dalam larutan. Ujung elektroda kaca adalah lapisan kaca setebal 0,1 mm yang berbentuk bulat (bulb). Bulb ini dipasangkan dengan silinder kaca non-konduktor atau plastik memanjang, yang selanjutnya diisi dengan larutan HCL (0,1 mol/dm<sup>3</sup> ). Di dalam larutan HCL, terendam sebuah kawat elektroda panjang berbahan perak yang pada permukaannya terbentuk senyawa setimbang AgCl. Konstantanya jumlah larutan HCl pada sistem ini membuat elektroda Ag/AgCl memiliki nilai potensial stabil (Ngafifuddin, 2017). Gambar 2.3 menunjukkan skema sistem elektroda kaca pada ujung *bulb* kaca.

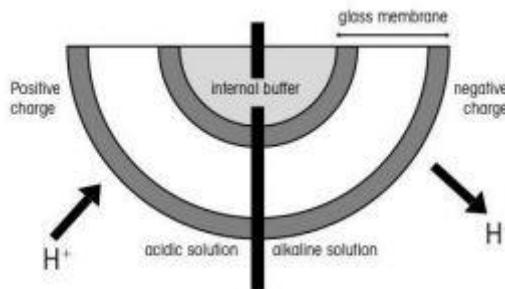


**Gambar 2. 3** Skema Sistem Elektroda Kaca (Desmira, 2018)

Inti sensor pH terdapat pada permukaan bulb kaca yang memiliki kemampuan untuk bertukar ion positif ( $\text{H}^+$ ) dengan larutan terukur. Kaca tersebut tersusun oleh molekul silikon dioksida yang berikatan logam alkali. Pada saat *bulb* kaca ini terekspos air, ikatan SiO terprontonasi membentuk membran tipis  $\text{HSiO}^+$  sesuai dengan reaksi berikut ini:



Pada permukaan *bulb* terbentuk semacam lapisan “gel” sebagai tempat pertukaran ion  $H^+$ . Jika larutan bersifat asam, maka ion  $H^+$  akan terikat ke permukaan *bulb*. Hal ini menimbulkan muatan positif terakumulasi pada lapisan “gel”. Sedangkan jika larutan bersifat basa, maka ion  $H^+$  dari dinding *bulb* terlepas untuk bereaksi dengan larutan tadi. Hal ini menghasilkan muatan negatif pada dinding *bulb* (Desmira, 2018). Pada Gambar 2.4 menunjukkan proses pertukaran ion  $H^+$ .



**Gambar 2. 4** Proses Pertukaran Ion H (Desmira, 2018)

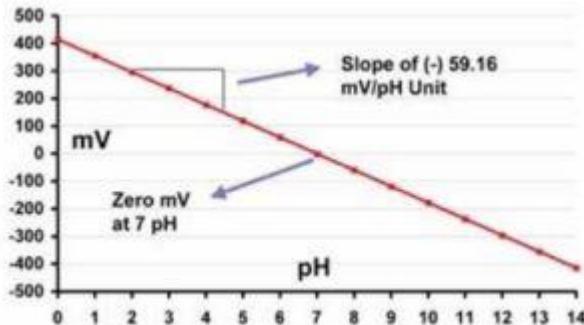
Pertukaran ion  $H^+$  yang terjadi antara permukaan *bulb* dengan larutan sekitarnya, menjadi kunci pengukuran jumlah ion  $H_3O^+$  di dalam larutan. Kesetimbangan pertukaran ion yang terjadi di antara fase dinding kaca *bulb* dengan larutan menghasilkan beda potensial di antara keduanya.

$$E_{\text{dinding kaca/larutan}} = |RT/2,303F \log_a(H_3O^+) | \quad (2.2)$$

Dimana R adalah konstanta molar gas (8.314 J/mol K), T untuk temperature (Kelvin), F adalah konstanta Faraday 96485.3 C/mol, 2.303 adalah angka konversi antara logaritma alami dengan umum, dan  $a(H_3O^+)$  adalah aktivitas dari hidronium (bernilai rendah jika konsentrasinya rendah). Pada temperatur 250C nilai dari  $RT/2.303F$  mendekati angka 59.16 mV. Angka 59.16 mV ini menjadi bilangan penting karena pada suhu konstan larutan 250C,

setiap perubahan 1 satuan pH, terjadi perubahan beda potensial elektroda kaca sebesar 59.16 mV.

Perhitungan nilai aktivitas hidronium ( $a(\text{H}_3\text{O}^+)$ ) pada persamaan di atas memiliki rentang yang sangat lebar yakni antara 10 hingga  $10^{-15}$  mol/dm<sup>3</sup>. Untuk meringkas persamaan, maka lahirlah pH dengan persamaan sebagai berikut:



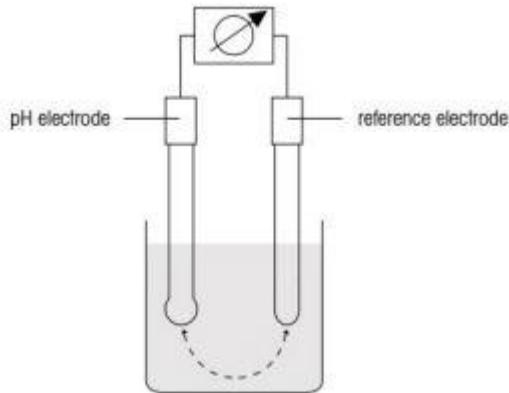
**Gambar 2.5** Kurva Perubahan pH dengan Beda Potensial  
(Desmira, 2018)

Tanda negatif adalah untuk membuat nilai pH dari berbagai larutan, kecuali larutan yang bersifat sangat ekstrim asam, menjadi bernilai positif. Seperti yang telah kita bahas diatas, *bulb* kaca berisi larutan HCL yang merendam sebuah elektroda perak. HCL ini memiliki pH konstan karena berada pada system yang terisolasi. Karena pH konstan inilah maka ia menciptakan beda potensial yang konstan pada temperature yang konstan pula. Sebut saja potensial tersebut  $E'$ , maka persamaan 2.2 dan persamaan yang terdapat pada Gambar 2.5 didapatkan persamaan beda potensial total dari elektroda kaca :

$$E_{\text{elektroda kaca}} = E' - RT/2.303F \text{ pH} \quad (2.3)$$

Pada sistem pH meter selain terdapat elektroda kaca juga terdapat elektroda referensi. Kedua elektroda tersebut sama-sama

terendam pada media yang sama. Elektroda referensi digunakan untuk menentukan nilai pH yang valid. Elektroda referensi harus memiliki potensial yang stabil dan tidak terpengaruh oleh larutan yang diukur (Desmira, 2018). Pada Gambar 2.6 merupakan skema dari elektroda kaca dan elektroda referensi.



**Gambar 2. 6** Elektroda Kaca dan Elektroda referensi (Desmira, 2018)

Elektrode referensi memiliki nilai potensial yang konstan, sehingga persamaan rangkaian potensiometer secara keseluruhan dapat ditulis sebagai berikut:

$$E = E_{\text{elektrode referensi}} + E_{\text{elektrode kaca}} \quad (2.4)$$

Dengan memasukkan persamaan 2.3 ke dalam persamaan di atas, didapatkan persamaan dasar perhitungan pH.

$$E = E_{\text{elektrode referensi}} + E' - \frac{RT}{2,303F} \text{ pH} \quad (2.5)$$

## 2.4. Kontrol PID

Pada sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional, aksi

kontrol integral dan aksi kontrol derivatif (Ylen, 2001). Pengendali PID dapat memperbaiki tingkat akurasi dari suatu *plant* dan memiliki *feedback* untuk mengetahui errornya (Jepry, 2010). Pada sistem PID kita menegenal adanya proporsional, integral dan derevatif.

#### 2.4.1. Pengendali Proporsional

Pengendali *proporsional* adalah pengendali yang bekerja menguatkan output sistem tanpa memberikan efek dinamik pada sistem tersebut (Jepry, 2010). Pengendali proporsional dapat juga diartikan sebagai pengali antara konstanta proporsional dan nilai masukannya. Berikut ini merupakan persamaan dari pengendali proporsional.

$$U(t) = K_p e(t) \quad (2.6)$$

$K_p$  merupakan gain proportional,  $e$  adalah error, dan  $u$  merupakan nilai keluaran relatif terhadap waktu ( $t$ ).

#### 2.4.2. Pengendali Integral

Pengendali *integral* adalah pengendali yang berfungsi untuk mengurangi *error steady state*. Berikut ini merupakan persamaan dari pengendali integral.

$$U(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.7)$$

$K_i$  merupakan *gain integral*,  $e$  adalah error, dan  $u$  merupakan nilai keluaran relatif terhadap waktu ( $t$ ).

#### 2.4.3. Pengendali Derivative

Pengendali *derivative* merupakan pengendali yang menggunakan kecepatan perubahan sinyal kesalahan sebagai parameter pengontrol. Apabila tidak ada perubahan sinyal *error*, maka output dari kontrol derivatif tidak berubah. Persamaan kontrol derivatif dirumuskan berikut ini.

$$U(t) = Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (2.8)$$

Kd merupakan gain derivatif, e adalah error, dan u merupakan nilai keluaran relatif terhadap waktu (t) (Wisnu, Wahjudi, & Nurhadi, 2016). Masing-masing jenis pengendali memiliki kekurangan dan kelebihan jika diterapkan pada suatu plant. Kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengendali dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Respon PID Controller Terhadap Perubahan Konstanta

| <i>Close Loop Response</i> | <i>Rise Time</i>    | <i>Overshoot</i> | <i>Settling Time</i> | <i>SS Error</i>     |
|----------------------------|---------------------|------------------|----------------------|---------------------|
| Kp                         | <i>Decrease</i>     | <i>Increase</i>  | <i>Small change</i>  | <i>Decrease</i>     |
| Ki                         | <i>Decrease</i>     | <i>Increase</i>  | <i>Increase</i>      | <i>Eliminate</i>    |
| Kd                         | <i>Small change</i> | <i>Decrease</i>  | <i>Decrease</i>      | <i>Small change</i> |

## 2.5. Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan (JST) adalah suatu sistem pemrosesan informasi yang cara kerjanya memiliki kesamaan tertentu dengan jaringan syaraf biologis. Jaringan saraf tiruan (JST) adalah salah satu algoritma pembelajaran mesin yang meniru cara kerja jaringan saraf makhluk hidup (Febrina, Arina, & Ekawati, 2013). Jaringan saraf tiruan (artificial neural network) merupakan jaringan dari banyak unit pemroses kecil (disebut neuron) yang masing-masing melakukan proses sederhana, yang ketika digabungkan akan menghasilkan perilaku yang kompleks. Jaringan saraf tiruan dapat digunakan sebagai alat untuk memodelkan hubungan yang kompleks antara masukan (input) dan keluaran (output) pada sebuah sistem untuk menemukan pola-pola pada data.

JST dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologidengan asumsi:

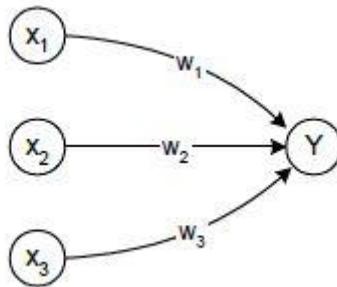
- Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana(neuron).
- Sinyal dikirimkan diantara neuron-neuron melalui penghubung-penghubung.
- Penghubung antar neuron memiliki bobot yang akan memperlemah atau memperkuat sinyal.
- Untuk menentukan output, setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi yang dikenakan pada jumlah input yang diterima. Besarnya output ini selanjutnya dibandingkan dengan suatu batas ambang.

Selain itu pada JST ada beberapa hal yang menentukan.

Berikut ini adalah hal yang menentukan tersebut:

- Pola hubungan antar neuron atau arsitektur jaringan.
- Metode untuk menentukan bobot penghubung atau metode *training/learning/algorithm*.
- Fungsi aktivasi.

Pada Gambar 2.7 merupakan contoh dari arsitektur jaringan syaraf tiruan.



**Gambar 2.7** Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

Y menerima input dari  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $x_3$  dengan bobot penghubung msing-masing  $w_1$ ,  $w_2$ , dan  $w_3$ . Ketiga impuls neuron dijumlahkan.

$$\text{net} = x_1w_1 + x_2w_2 + x_3w_3 \quad (2.9)$$

besarnya impuls yang diterima oleh Y mengikuti fungsi aktivasi

$$y = f(\text{net}) \quad (2.10)$$

Apabila nilai fungsi aktivasi cukup kuat, maka sinyal akan diteruskan.

Jaringan syaraf tiruan dapat diaplikasikan dalam beberapa hal diantaranya adalah sebagai berikut ini:

a. *Pengenalan Pola ( Pattern Recognition)*

Jaringan syaraf tiruan dapat digunakan untuk mengenali polahuruf, angka, suara atau tanda tangan yang sudah sedikit berubah. Hal tersebut mirip dengan otak manusia yang masih dapat mengenali orang yang sudah lama tidak dijumpai.

b. *Signal Processing*

Jaringan syaraf tiruan model ADALINE dapat dipakai untuk menekan noise dalam saluran telepon.

c. *Peramalan*

Jaringan syaraf tiruan dapat dipakai untuk meramalkan apa yang akan terjadi di masa yang akan datang berdasarkan pola kejadian di masa lampau.

Selain ketiga hal tersebut, jaringan syaraf tiruan dapat digunakan di bidang kontrol, kedokteran, dan lain-lain. Meskipun terdapat beberapa kelebihan, namun jaringan syaraf tiruan juga memiliki kelemahan berupa ketidakakuratan hasil yang diperoleh karena jaringan syaraf tiruan bekerja berdasarkan pola masukan.

### 2.5.1 Neuron

Neuron pada jaringan syaraf tiruan memiliki peran penting dalam pemrosesan informasi. Neuron terdiri dari 3 elemen penting:

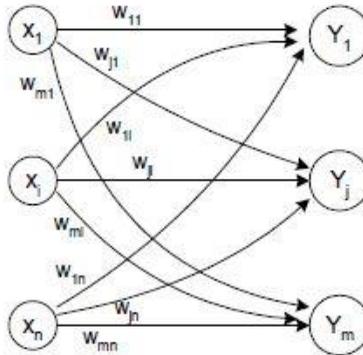
- Himpunan unit-unit yang dihubungkan dengan jalur koneksi. Jalur tersebut memiliki nilai bobot yang berbeda-beda. Bobot yang bernilai positif akan memperkuat sinyal dan bobot yang bernilai negatif akan memperlemah sinyal.
- Suatu unit penjumlahan akan menjumlahkan *input-input* sinyal yang sudah dikalikan dengan bobotnya.
- Fungsi aktivasi yang akan menentukan apakah sinyal dari masukan neuron akan diteruskan ke neuron lain atau tidak.

### 2.5.2 Arsitektur Jaringan

Arsitektur pada JST menggambarkan hubungan antara neuron atau pola antar neuron. Berikut ini merupakan arsitektur pada JST.

#### a. Jaringan Layar Tunggal(*Single Layer Network*)

Arsitektur jaringan pada layar tunggal hanya mempunyai satu bobot saja. Sehingga, setiap masukan akan dihubungkan langsung dengan keluaran.



**Gambar 2.8** Jaringan Layar Tunggal

Dari Gambar 2.8 dapat dilihat bahwa setiap masukan terhubung dengan setiap keluaran dengan bobot yang berbeda-beda. Nilai masukan disimbolkan dengan  $X_i$ , nilai keluaran  $Y_j$ , dimana nilai  $i$  dan  $j$  sesuai dengan umlah node yang digunakan.

Persamaan untuk memperoleh besar sinyal masukan ke node keluaran adalah sebagai berikut.

$$y_{in.j} = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij} \quad (2.11)$$

dengan:

$y_{in.j}$  =sinyal masukan ke node tersembunyi atau *hidden node* ( $j=1,2,3,\dots,n$ )

$x_i$  =sinyal keluaran dari node masukan atau *input* ( $i=1,2,3,\dots,m$ )

$w_{ij}$  =nilai bobot dari node masukan menuju node tersembunyi.

Kemudian, sinyal keluaran dari node keluaran tersebut dapat diperoleh dengan mengaplikasikan sinyal masukannya pada 13 fungsi aktivasi. Persamaan berikutdapat digunakan untuk mencari sinyal keluaran node tersembunyi,

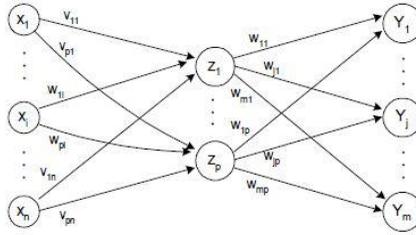
$$y_j = f(y_{in.j}) \quad (2.12)$$

dengan:

$y_j$  = sinyal keluaran dari node tersembunyi ( $j=1,2,3,\dots,n$ )

#### **b. Jaringan Layar Jamak(Multi Layer Network)**

Jaringan multi-layer merupakan perluasan dari singlelayer. Dalam jaringan ini, selain unit input dan output, ada unitunit lain (sering disebut lapisan tersembunyi). Dimungkinkan pula adabeberapa lapisan tersembunyi. Sama seperti pada unit masukan dan keluaran, unit-unit dalam satu lapisan tidak saling berhubungan.



**Gambar 2.9** Jaringan Layar Jamak

Node masukan (input node) disimbolkan sebagai  $X_i$ . Node tersembunyi (hidden node) disimbolkan sebagai  $Y_j$ , dan node keluaran (output node) disimbolkan sebagai  $Z_k$ , dimana nilai  $i, j$ , dan  $k$  sesuai dengan jumlah node yang digunakan. Persamaan untuk memperoleh besar sinyal masukan ke node tersembunyi adalah sebagai berikut.

$$y_{in.j} = v_{0j} + x_{ivij} \quad n \quad i=1 \quad (2.12)$$

dengan:

$y_{in.j}$  = sinyal masukan ke node tersembunyi atau *hidden node* ( $j=1,2,3,\dots,n$ )

$v_{0j}$  = nilai bobot dari bias menuju *hidden node* atau node tersembunyi

$x_i$  = sinyal keluaran dari node *input* atau masukan ( $i=1,2,3,\dots,m$ )

$v_{ij}$  = nilai bobot dari node masukan menuju node tersembunyi.

Persamaan untuk memperoleh besar sinyal masukan ke node keluaran adalah sebagai berikut.

$$z_{in.k} = w_{0k} + y_{jwjk} \quad n \quad j=1 \quad (2.13)$$

dengan:

$z_{in.k}$  =sinyal masukan ke node keluaran ( $k=1,2,3,\dots,p$ )

$w_{0k}$  = nilai bobot dari bias menuju node keluaran  $y_j$   
 = sinyal keluaran dari node tersembunyi ( $j=1,2,3,\dots,n$ )  
 $w_{jk}$  = nilai bobot dari node tersembunyi menuju node keluaran.

Kemudian, sinyal keluaran dari node tersembunyi dan node keluaran dapat diperoleh dengan mengaplikasikan sinyal masukan pada fungsi aktivasi. Salah satu fungsi aktivasi yang dapat digunakan yaitu bipolar sigmoid atau disebut juga tangen hiperbolik. Persamaan berikut dapat digunakan untuk mencari sinyal keluaran node tersembunyi.

$$y_j = \tanh_{[f_0]}(y_{in.j}) \quad (2.14)$$

dengan:

$y_j$  = sinyal keluaran dari node tersembunyi  
 ( $j=1,2,3,\dots,n$ ).

Persamaan mencari sinyal keluaran dari node keluaran adalah sebagai berikut.

$$z_k = \tanh_{[f_0]} z_{in.k} \quad (2.15)$$

dengan:

$z_k$  = sinyal keluaran dari node keluaran ( $k=1,2,3,\dots,p$ )

## 2.6 Algoritma Levenberg–Marquardt

Algoritma Levenberg-Marquardt dikembangkan oleh sendiri oleh Kenneth Levenberg dan Donald Marquardt. Algoritma ini banyak digunakan untuk memberikan solusi numerik untuk meminimalkan fungsi *non-linear* karena cepat dan memiliki

konvergensi yang stabil. Algoritma Levenberg-Marquardt menggabungkan metode *steepest descent* dan Gauss Newton, yaitu kecepatan algoritma Gauss Newton dan stabilitas metode *steepest descent* (Yu, 2016).

Ide dasar dari algoritma Levenberg-Marquardt adalah melakukan proses pelatihan gabungan. Pada sekitar area dengan kelengkungan yang kompleks, algoritma Levenberg-Marquardt beralih ke algoritma *steepest descent*, sampai kelengkungannya tepat untuk membuat pendekatan kuadrat dan pendekatannya menggunakan algoritma Gauss-Newton, yang dapat mempercepat konvergensi secara signifikan. Algoritma Levenberg-Marquardt memecahkan permasalahan yang ada di kedua metode *gradient descent* dan metode Gauss-Newton untuk pelatihan neural-network, dengan kombinasi dari dua algoritma. Hal ini dianggap sebagai salah satu algoritma pelatihan yang paling efisien. Beberapa indeks yang digunakan pada Algoritma Levenberg-Marquardt adalah (Sunarauw, 2018):

- $p$  adalah indeks pola, dari 1 sampai  $P$ , dimana  $P$  adalah jumlah pola.
- $m$  adalah indeks luaran, dari 1 sampai  $M$ , dimana  $M$  adalah jumlah luaran.
- $i$  dan  $j$  adalah indeks bobot, (1 sampai  $N$ ), dimana  $N$  adalah jumlah bobot.
- $k$  adalah indeks iterasi.

Pada algoritma Levenberg-Marquardt memiliki pendekatan lain untuk rumus matriks Hessian seperti pada persamaan 2.16 berikut ini.

$$H = J^T J + \mu I \quad (2.16)$$

Dimana

$\mu$  adalah koefisien kombinasi yang selalu bernilai positif

$I$  adalah matriks identitas.

Algoritma Levenberg-Marquardt memiliki hubungan dengan persamaan Gauss Newton seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Algoritma Gauss Newton memiliki persamaan seperti pada persamaan 2.17 berikut ini.

$$w_{k+1} = w_k - (J_k^T J_k)^{-1} J_k e_k \quad (2.17)$$

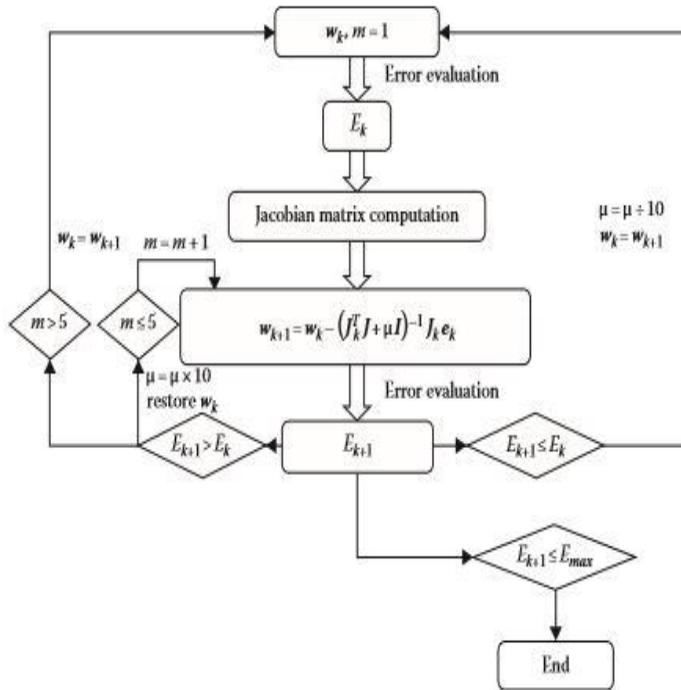
dari persamaan 2.16 dan 2.17 di dapatkan rumus algoritma Levenberg-Marquardt seperti pada persamaan 2.18 berikut ini.

$$w_{k+1} = w_k - (J_k^T J_k + \mu I)^{-1} J_k e_k \quad (2.18)$$

sebagai kombinasi dari metode *steepest descent* dan Gauss Newton, algoritma Levenberg-Marquardt *switches* dua metode tersebut. Ketika koefisien  $\mu$  sangat kecil dan mendekati nol maka persamaan 2.18 mendekati persamaan 2.17 dan algoritma Gauss Newton digunakan. Ketika koefisien  $\mu$  sangat besar, persamaan 2.18 mendekati persamaan 2.16, maka metode *steepest descent* digunakan. Jika kombinasi koefisien  $\mu$  pada persamaan 2.18 terlalu besar, dapat diartikan bahwa koefisien pembelajaran *steepest descent* seperti persamaan berikut ini (Yu, 2016).

$$\alpha = \frac{1}{\mu} \quad (2.19)$$

Adapun tahapan pelatihan pada algoritma Levenberg-Marquardt dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini.

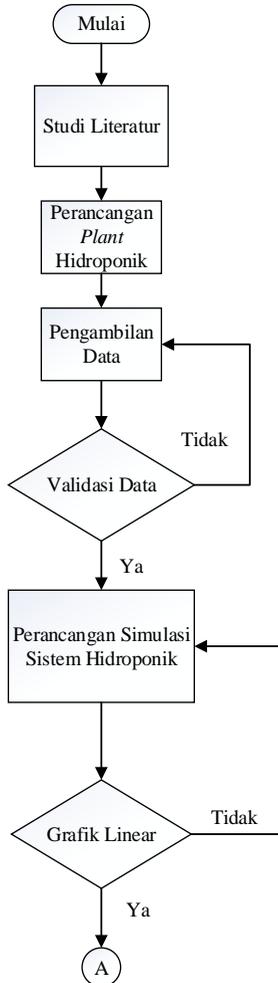


**Gambar 2.7** Blok diagram pelatihan menggunakan algoritma LM (Yu, 2016)

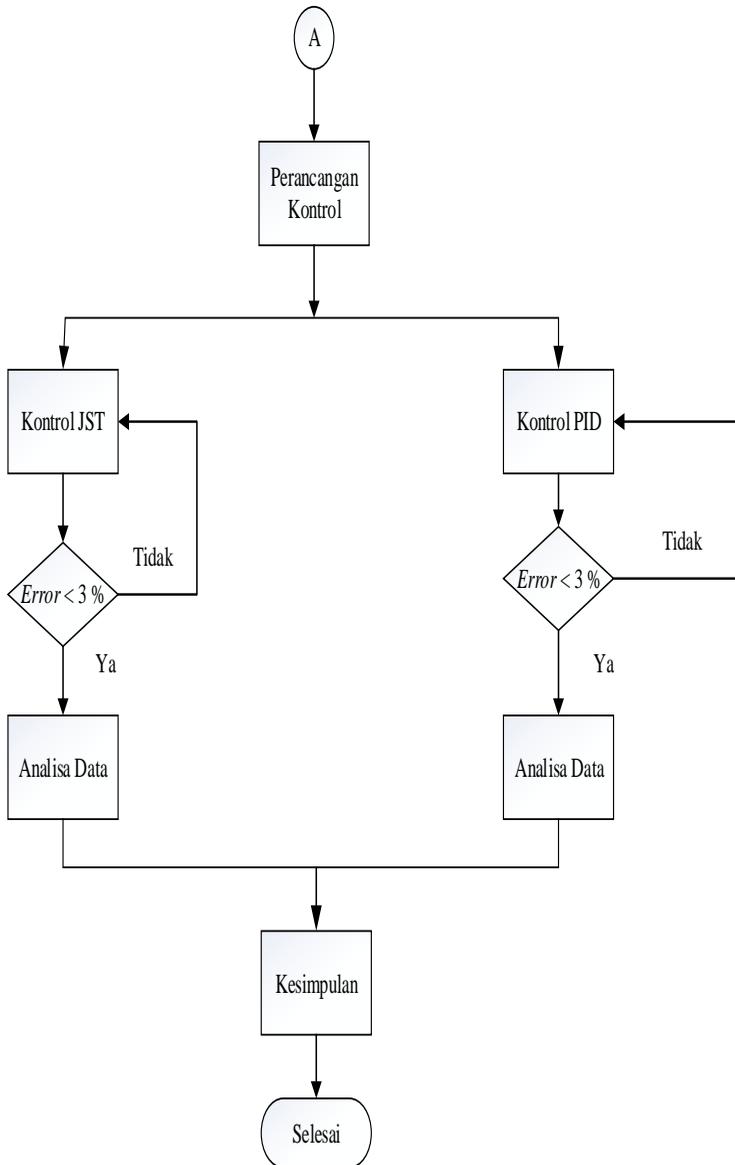
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

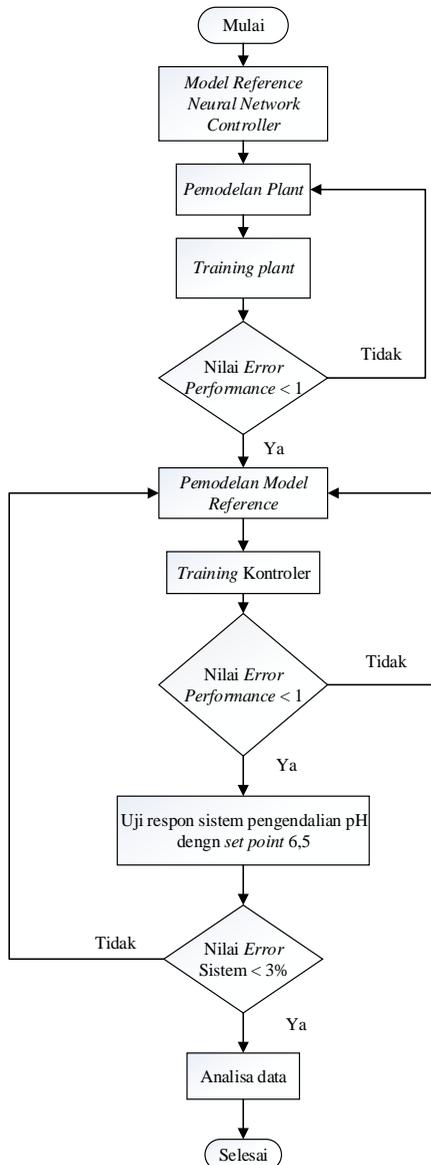
Pada bab ini, dijelaskan prosedur penelitian tugas akhir tentang pengendalian pH dengan PID dan Jaringan Syaraf Tiruan.



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3. 2** Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)



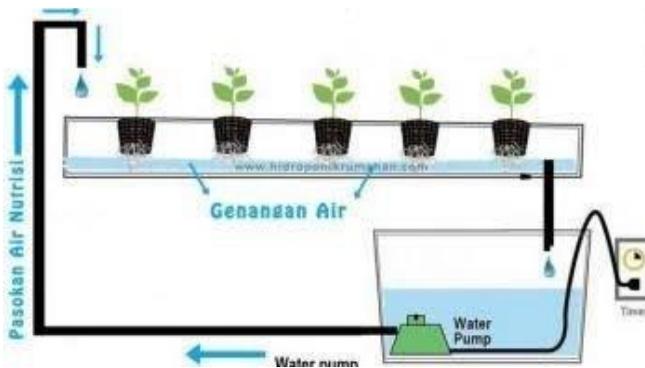
**Gambar 3. 3** Diagram Alir Kontrol JST

### 3.2 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur dari beberapa referensi yaitu, jurnal, *paper*, *text book*, dan *manual book*. Pada studi literatur ini didapatkan materi tentang rancang bangun sistem hidroponik dan cara untuk mengendalikan nutrisi untuk tanaman hidroponik. Selain itu pada tahap ini didapatkan materi tentang kendali PID dan Jaringan Syaraf Tiruan.

### 3.3 Perancangan *Plant* Hidroponik

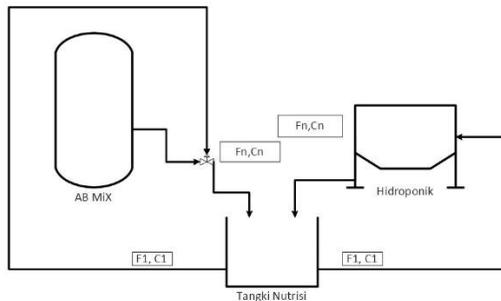
Pada tahap ini dilakukan perancangan *plant* hidroponik untuk mendapatkan data sehingga bisa dimasukkan ke dalam simulasi. Dalam perancangan *plant* hidroponik diperlukan bahan-bahan yang terdiri atas pipa 1 dim dan 2 dim, *valve* dc, tangka air, dan pompa air ukuran mini. Dalam proses pembuatan *plant* hidroponik, model yang menjadi referensi kita adalah model sistem hidroponik DFT (Deep Flow Technique) 2 tingkat.



**Gambar 3. 4** Sistem Hidroponik DFT

Pengambilan data dilakukan pada tangka nutrisi, pada keluaran dari tanaman dan pada *valve* dc. Data yang diambil berupa pH, ppm, EC, dan *flow* pada *valve* dc. Validasi data dilakukan

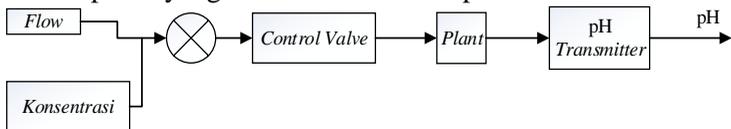
apakah sesuai dengan studi literature atau tidak. Ketika data sudah tervalidasi semua maka dilakukan perancangan simulasi pada Simulink Matlab 2016b. Berikut ini merupakan gambar sistem hidroponik yang berisi tentang manipulasi variabel dan proses variabel.



**Gambar 3. 5** Sistem Hidroponik

### 3.4 Perancangan Simulasi Sistem Hidroponik

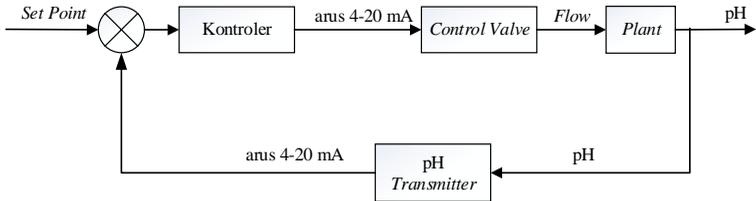
Pada tahap ini dilakukan perancangan simulasi sistem hidroponik pada *software* Simulink Matlab 2016b. Diagram blok sistem hidroponik yang akan disimulasikan pada Matlab 2016b



**Gambar 3. 6** Diagram Blok *Plant* Hidroponik *Open Loop*

Blok digram di atas merupakan sistem *open loop* dari *plant* hidroponik. Pada blok di atas terdiri dari *flow*, konsentrasi, *control valve*, *plant* hidroponik dan keluaran berupa pH. Dari blok di atas dapat diketahui bahwa masukan berupa *flow* dan konsentrasi.

Untuk keluaran berupa pH. Selain mensimulasikan sistem open loop, kami juga mensimulasikan sistem *close loop* yang gambar diagram bloknnya seperti Gambar 3.4.



**Gambar 3. 7** Diagram Blok *Plant* Hidroponik Sistem *Close Loop*

### 3.4.1. Pemodelan Plant pH

Pemodelan *plant* pH dilakukan berdasarkan data yang diambil dari sistem hidroponik yang telah dibuat. Dari data yang diperoleh maka dibuatlah fungsi transfer dari *plant* tersebut. Dengan menggunakan metode perhitungan seperti model matematis berikut ini.

$$G(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (3.1)$$

K merupakan gain sistem yang diperoleh dari perbandingan perubahan variabel proses yang diukur sebagai output dengan variabel manipulasi sebagai input dengan rumus matematis pada Persamaan (3.2).

$$K = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{\Delta \text{Process Variable}}{\Delta \text{Manipulated Variable}} \quad (3.2)$$

Untuk *proses variable* disebut juga *output* yaitu pada sistem kali ini adalah pH. Sedangkan untuk *manipulated variable* adalah *input* yang pada *plant* ini adalah *flow*. Untuk  $\tau$  (time constant) didapatkan dari Persamaan (3.3) sebagai berikut.

$$\tau = 1,5 (t_{63\%} - t_{28\%}) \quad (3.3)$$

dimana:

$t_{63\%}$  : waktu yang dibutuhkan ketika variabel proses mencapai 63% dari nilai akhir. Dan didapatkan nilai sebesar 5,056.

$t_{28\%}$  : waktu yang dibutuhkan ketika variabel proses mencapai 28% dari nilai akhir. Dan didapatkan nilai sebesar 4,424.

Sedangkan  $\theta$  (dead time) adalah perbedaan waktu dari respon output *controller* pada saat sinyal step diberikan hingga respon proses mulai bergerak. Atau bisa dituliskan pada Persamaan (3.4) berikut.

$$\theta = t_{63\%} - \tau \quad (3.4)$$

Dari beberapa persamaan di atas didapatkan fungsi transfer dari *plant* sebagai berikut ini.

$$G(s) = \frac{-4,711s + 11,435}{1,193s^2 + 5,056s + 2} \quad (3.5)$$

### 3.4.2. Pemodelan *Control Valve*

Pada pemodelan *control valve* digunakan persamaan 3.1 untuk memperoleh persamaan matematis dari *control valve*. Untuk mendapatkan nilai gain digunakan persamaan 3.2.

Nilai K pada persamaan 3.2 merupakan hasil bagi antara *variable output* dan *variable input*. Pada *control valve variable input* adalah arus sebesar 4-20 mA. Sedangkan *variable output* yaitu *flow* sebesar 14 ml/s. Mekan nilai K adalah sebagai berikut ini.

$$K = \frac{14}{16} = 0.875 \quad (3.6)$$

Untuk nilai time konstan dianggap 0 karena tidak ada *delay* pada *control valve* sehingga persamaan matematis dari *control valve* adalah sebagai berikut ini.

$$G(s) = \frac{0.875}{0+1} = 0.875 \quad (3.7)$$

### 3.4.3. Pemodelan Transmitter

Pada pemodelan transmitter digunakan persamaan 3.2 untuk mendapatkan nilai K. Transmitter yang digunakan memiliki variabel masukan berupa pH sebesar 5,5-7,5 dan variabel keluaran berupa arus sebesar 4-20 mA. Didapatkan nilai K seperti berikut ini.

$$K = \frac{16}{2} = 8 \quad (3.8)$$

Untuk nilai time konstan berdasarkan *datasheet* sebesar 2 detik. Maka persamaan matematis transmitter adalah sebagai berikut.

$$G(s) = \frac{8}{2s+1} \quad (3.9)$$

### 3.4.4. Pemodelan *Disturbance*

Pemodelan *disturbance* adalah pemodelan Ph keluaran dari tanaman sebelum masuk pada tangki nutrisi. Data *disturbance* diperoleh dari pengambilan data pada *plant*. Dari data tersebut dibuat fungsi transfer dengan menggunakan persamaan 3.1 sampai 3.4. Fungsi transfer yang didapat digunakan untuk simulasi pada Matlab 2016b. untuk variabel masukan berupa *flow* dan keluaran berupa pH. Dari persamaan 3.2 didapatkan gain sebesar 1.04. Sedangkan untuk time konstan sebesar 1.704. Untuk nilai *dead time* berdasarkan persamaan 3.4 sebesar 0.188. Dari nilai-nilai

tersebut dimasukkan kedalam persamaan 3.1 dan didapatkan persamaan matematis untuk *disturbance* seperti berikut ini.

$$G(s) = \frac{-0,162s+0,861}{0,32s^2+1,892s+1} \quad (3.10)$$

### 3.5 Simulasi Matlab

Simulasi Matlab menggunakan Simulink Matlab2016. Pada simulasi Matlab dibuat sistem *open loop* seperti pada gambar 3.6. Setelah dibuat simulasi *open loop* dilakukan uji respon untuk mendapatkan parameter-parameter *tuning Zieger Nichols*. Setelah didapatkan parameter-parameter tersebut lalu dibuatlah sistem *close loop* dengan menggunakan pengendali PID. Setelah disimulasikan didapatkan karakteristik dari *plant* seperti *maximum overshoot*, *settling time*, *error steady state*, dan *Integral Absolute Error (IAE)*.

Setelah itu dilakukan langkah selanjutnya dengan membuat simulasi pengendali JST menggunakan *model reference neural network controller*. Pada sistem tersebut dibutuhkan dua simulasi yaitu *model plant* dan *model reference*. Untuk *model plant* menggunakan sistem *open loop* yang sudah dibuat sedangkan untuk *model reference* menggunakan simulasi model *close loop* yang sudah dibuat. Pada *model reference neural network controller* dilakukan *training model plant* terlebih dahulu. Lalu setelah selesai dilakukan *training model reference* sebagai *controller*. Setelah didapatkan hasil *training* tersebut maka pengendali PID diganti dengan pengendali JST dan dibandingkan hasilnya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

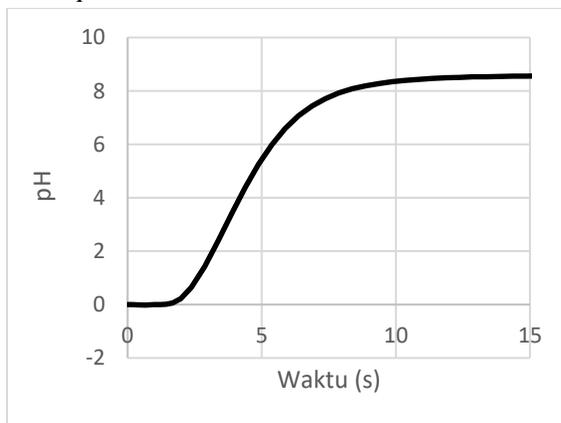
Pada bab ini membahas mengenai perancangan sistem pengendalian pH pada sistem hidroponik dengan pegendali PID dan jaringan syaraf tiruan.

### 4.1 Uji *Open Loop*

Pada proses ini dilakukan pengujian *open loop* pada *plant* yang telah disimulasikan pada Matlab 2016b. Simulasi *open loop* dapat dilihat pada Lampiran B1.

Berdasarkan sistem yang terdapat pada Lampiran B1, sistem *open loop* memiliki dua masukan *plant*. Masukan tersebut berupa *flow* dan konsentrasi. Dari pengujian didapatkan respon sistem seperti Gambar 4.1 Dari Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa nilai respon pada sistem *open loop* linear. Dari respon tersebut dapat dinyatakan bahwa *plant* sistem hidroponik berorde dua.

Pada Gambar 4.1 sumbu x merupakan waktu dan sumbu y merupakan pH. Sedangkan garis biru merupakan respon pH terhadap waktu. Gambar 4.1 merupakan hasil respon pengujian simulasi *open loop*.



**Gambar 4. 1** Grafik *Uji Open Loop*

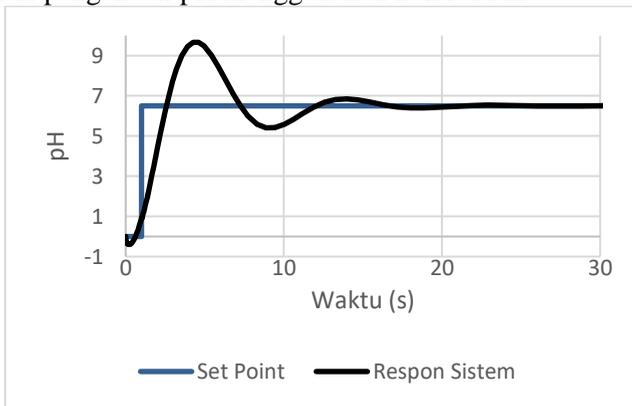
## 4.2 Perancangan Kontrol PID

Pada tahap ini dilakukan perancangan pengendali PID. Perancangan PID menggunakan metode *Ziegler Nichols* metode 1. Pada tahap ini didapatkan nilai parameter parameter seperti berikut ini.

**Tabel 4. 1** Parameter PID Metode *Ziegler Nichols*

| Parameter | Nilai |
|-----------|-------|
| Kp        | 7,45  |
| Ti        | 2,8   |
| Td        | 0,725 |

Nilai di atas dimasukkan ke dalam simulasi Simulink *close loop* (Lampiran B2) dan dilihat responnya. Gambar 4.2 merupakan respon dari pengendali pH menggunakan kontrol PID.



**Gambar 4. 2** Respon Uji PID

Dari gambar di atas terlihat bahwa sinyal keluaran dari sistem pengendalian pH menuju ke *set point* dan mencapainya. Dalam sistem tersebut memiliki beberapa parameter seperti *maximum overshoot*, *settling time*, *error steady state*, dan IAE. Parameter-parameter inilah yang menentukan apakah sistem tersebut terutama

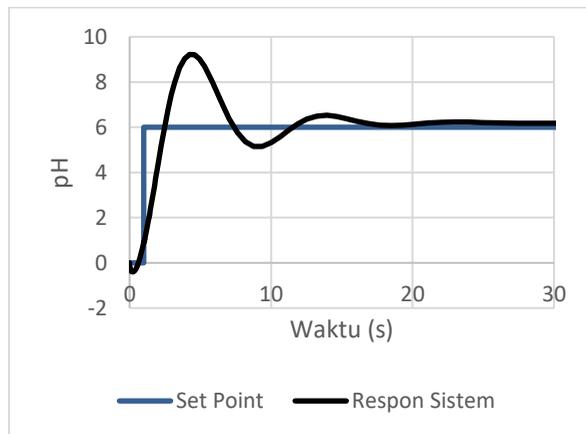
*controller* sudah berjalan baik atau belum. Berikut ini merupakan nilai parameter-parameter tersebut.

**Tabel 4. 2** Hasil Respon PID

| Jenis Uji  | Karakteristik Dinamik     | Nilai  |
|------------|---------------------------|--------|
| Respon PID | <i>Max Overshoot</i>      | 49,5 % |
|            | <i>Settling time</i>      | 25 s   |
|            | <i>Error Steady State</i> | 0,5 %  |
|            | IAE                       | 5063   |

### 4.3 Uji *Set Point* Kontrol PID

Pada uji *set point* dilakukan pengujian untuk menguji nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $T_d$ . Pengujian ini bertujuan untuk melihat seberapa baik nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $T_d$  dengan *set point* yang berubah-ubah apakah masih dalam batas error atau tidak. Pada uji *set point* diberikan nilai *set point* pH sebesar 6. Nilai uji *set point* sebesar 6 berdasarkan dari karakteristik sistem hidroponik yang cenderung jarang berubah dari nilai awal dan merupakan *range* pH dari jenis tanaman sesuai dengan Gambar 2.1. Berikut ini merupakan respon dari uji *set point* pH sebesar 6.



**Gambar 4. 3** Respon Uji *Set Point* pH 6

Pada Gambar 4.3 y label merupakan pH sedangkan x label merupakan waktu. Pada gambar tersebut meskipun *set point* dari pH diturunkan menjadi 6, namun sinyal keluaran dari sistem tetap menuju *set point* yang ditentukan. Berikut ini merupakan karakteristik dari uji *set point* pH dengan nilai 6

**Tabel 4. 3** Hasil Respon Uji *Set Point*

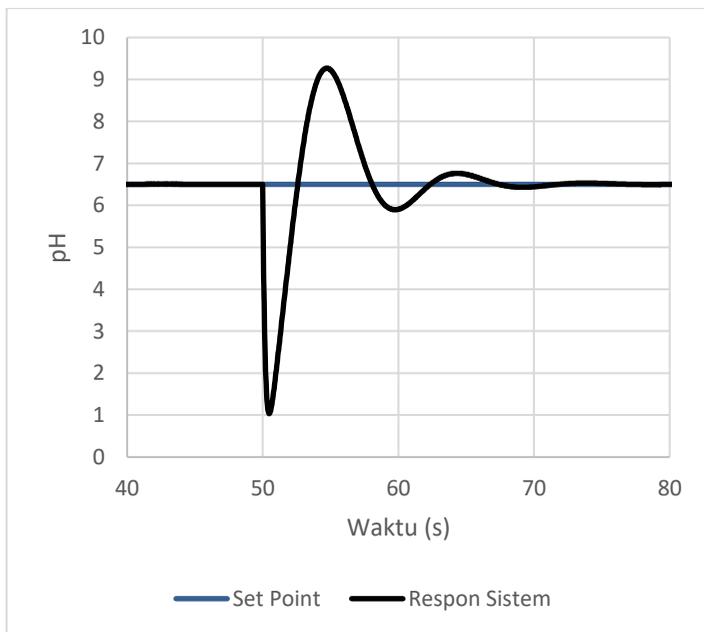
| Jenis Uji                             | Karakteristik Dinamik     | Nilai  |
|---------------------------------------|---------------------------|--------|
| <i>Set point</i> pH 6<br>(Gambar 4.3) | <i>Max Overshoot</i>      | 51,1 % |
|                                       | <i>Settling time</i>      | 25 s   |
|                                       | <i>Error Steady State</i> | 0,64 % |
|                                       | IAE                       | 4820   |

Dari uji *set point* terlihat jelas bahwa *error* dan *settling time* yang terjadi ketika dilakukan perubahan nilai *set point* sebesar kurang dari 3 %. Sedangkan nilai *maximum overshoot* mengalami perubahan di *range plus minus* 5 % dari nilai *maximum overshoot* pada *set point* pH 6,5. Dari data yang terdapat pada Tabel 4.3 dapat dikatakan bahwa nilai parameter pengendali PID bekerja baik pada beberapa *set point*.

#### 4.4 Uji *Disturbance* Kontrol PID

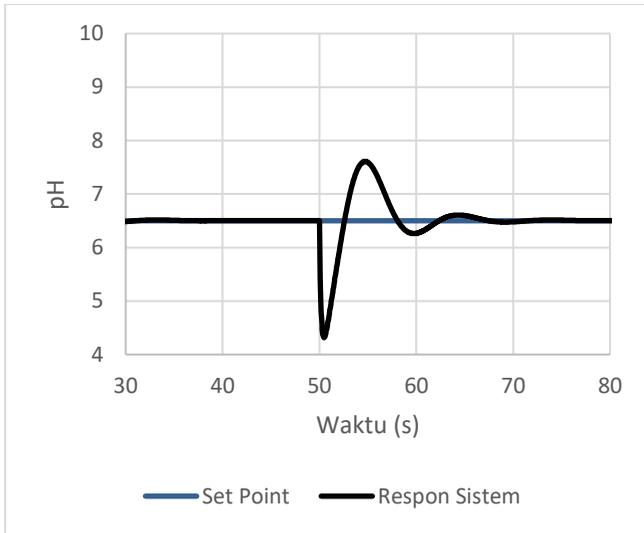
Pengujian *disturbance* dilakukan untuk menguji ketahanan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $T_d$ . Setelah diuji *set point* nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $T_d$  dapat bertahan, maka dilakukan uji *disturbance*. Pada uji *disturbance* dilakukan uji dengan 2 nilai *disturbance* pH. Nilai *disturbance* pertama sebesar 4,5. Pengujian *disturbance* diberikan kepada respon sistem yang stabil sehingga kita dapat melihat

respon sistem ketika diberi dengan *disturbance* apakah dia dapat kembali ke *set point* semula atau tidak. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kinerja kontrol PID apakah dia dapat mengembalikan respon sistem ketika diberi *disturbance*. Pada Gambar 4.4 x label berupa pH sedangkan y label berupa waktu. *Set point* yang diberikan pada pengujian *disturbance* ini adalah sebesar 6,5. Nilai *set point* diambil berdasarkan nilai pH tanaman kangkung berdasarkan pada Gambar 2.1. Gambar 4.4 berikut ini merupakan grafik respon dengan nilai *disturbance* pH sebesar 4,5.



**Gambar 4. 4** Respon Uji *Disturbance* pH 4,5

Setelah dilakukan uji *disturbance* sebesar 3, dilakukan pengujian *disturbance* sebesar pH 7,5. Dari pengujian *disturbance* pH 7,5 didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.5 berikut ini.



**Gambar 4. 5** Respon Uji *Disturbance* pH 7,5

Dari Gambar 4.4 dan 4.5 di atas didapatkan nilai *maximum overshoot*, *settling time*, dan *error steady state* seperti pada Tabel 4.4 berikut ini.

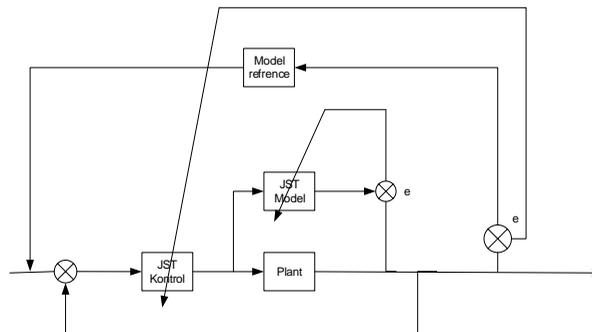
**Tabel 4. 4** Hasil Uji *Disturbance*

| Jenis Uji                                    | Karakteristik Dinamik     | Nilai   |
|--|---------------------------|---------|
| <i>Disturbance</i><br>pH 4,5<br>(Gambar 4.4) | <i>Max Overshoot</i>      | 84,64 % |
|  | <i>Settling time</i>      | 72 s    |
|  | <i>Error Steady State</i> | 0,7 %   |
|  | IAE                       | 5066    |
| <i>Disturbance</i><br>pH 7,5<br>(Gambar 4.5) | <i>Max Overshoot</i>      | 30,76 % |
|  | <i>Settling time</i>      | 80 s    |
|  | <i>Error Steady State</i> | 0,6 %   |
|  | IAE                       | 5067    |

Dari Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa pengendali PID dapat bekerja pada beberapa nilai *disturbance* yang diberikan, hal itu dapat dilihat dari nilai *error* yang di bawah 3 %. Pada pengujian *disturbance* nilai *set point* yang diberikan sebesar 6,5.

#### 4.5 Perancangan Kontrol Jaringan Syaraf Tiruan

Perancangan kontrol JST dilakukan menggunakan Simulink. Pada Simulink terdapat *toolbox Model Reference Neural Network Controller*. Siste kontrol menggunakan *model reference neural network controller* memiliki diagram blok seperti pada Gambar 4.6 berikut ini.



**Gambar 4. 6** Diagram Blok *Model Reference Neural Network Controller*

Pada *model reference neural network controller* terdapat 2 model yang harus disiapkan dalam pembuatan simulasi pada Simulink. Model pertama yaitu *model plant* yang mana pada kasus ini menggunakan simulasi *plant open loop* yang sudah dibuat. Model kedua yaitu *model reference* yang mana menggunakan model *close loop* yang sudah diberikan kontrol PID.

Pada *training* model *plant* diperlukan beberapa parameter agar mendapatkan hasil uji yang baik dan memiliki *error* di bawah 3 %. Berikut ini merupakan tabel parameter-parameter yang harus diisi pada *toolbox* pelatihan *model plant* yang berisi parameter-parameter tersebut.

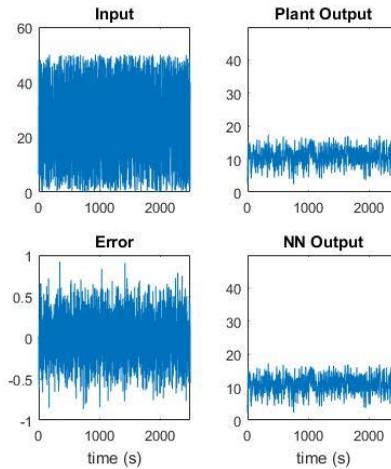
**Tabel 4. 5** Parameter-parameter Pelatihan *Model Plant*

| Parameter                             | Nilai                         |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| <i>Hidden Layer</i>                   | 15                            |
| <i>Sampling Interval</i> (detik)      | 1                             |
| <i>Training Sampel</i>                | 5000                          |
| <i>Maximum Plant Output</i>           | 50                            |
| <i>Minimum Plant Input</i>            | 0                             |
| <i>Maximum Interval Value</i> (detik) | 1                             |
| <i>Minimum Interval Value</i> (detik) | 0.1                           |
| <i>Training Epochs</i>                | 300                           |
| <i>Training Function</i>              | trainlm (Levenberg-Marquardt) |
| <i>Model Plant</i>                    | <i>Open Loop Sistem</i>       |

Pada pelatihan kali ini menggunakan algoritma Levenberg-Marquardt dan menggunakan 15 *hidden layer*. *Epoch* yang digunakan pada pelatihan kali ini adalah 300.

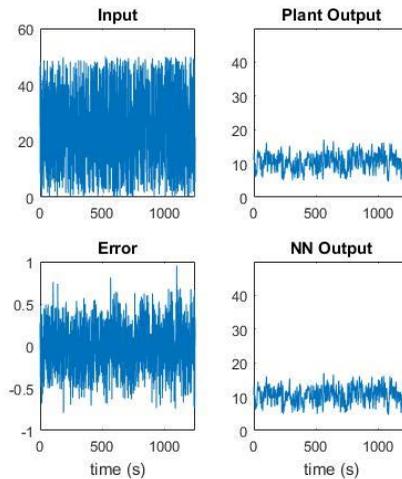
Setelah dilakukan pelatihan model *plant* didapatkan 3 grafik respon seperti pada Gambar 4.7, 4.8, 4.9.

Pada Gambar 4.7 merupakan hasil *training* yang dilakukan oleh JST terhadap model *plant*. Pada pelatihan *plant* menggunakan JST didapatkan grafik yang menunjukkan hasil pelatihan. Pada proses pelatihan JST akan menirukan sinyal keluaran yang dihasilkan oleh *plant*. Terlihat pada Gambar 4.7 keluaran dari JST sama dengan keluaran dari *plant*. Terlihat jelas bahwa *error* yang dihasilkan sebesar 0. Berikut ini merupakan Gambar 4.7.



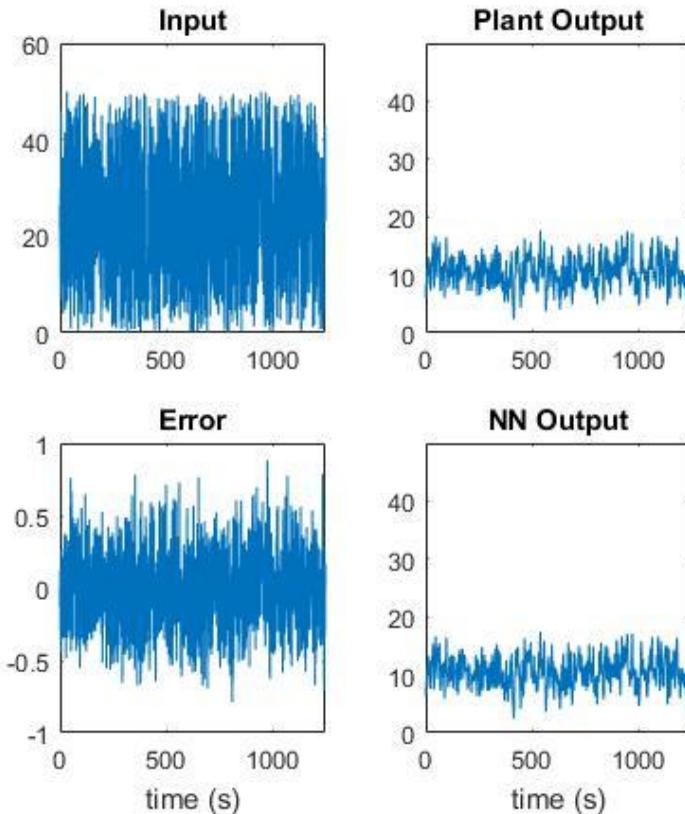
**Gambar 4. 7** Grafik Pelatihan *Plant* Menggunakan JST

Setelah dilakukan pelatihan oleh JST maka dilakukan tahap validasi. Hasil validasi dapat dilihat pada Gambar 4.8



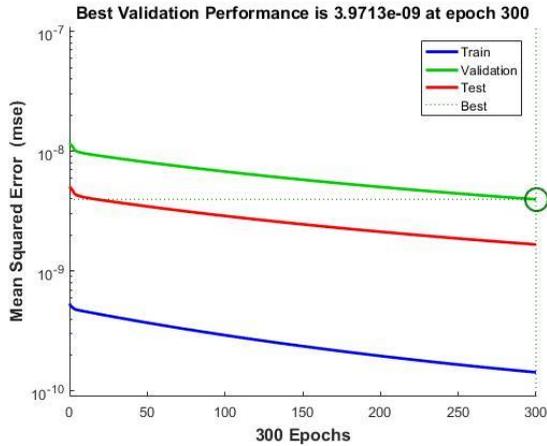
**Gambar 4. 8** Validasi Data

Dari gambar di atas terdapat error yang sangat kecil dalam proses validasi. Tahap selanjutnya yaitu menguji hasil pelatihan yang dilakukan oleh JST. Grafik uji ditampilkan pada Gambar 4.9



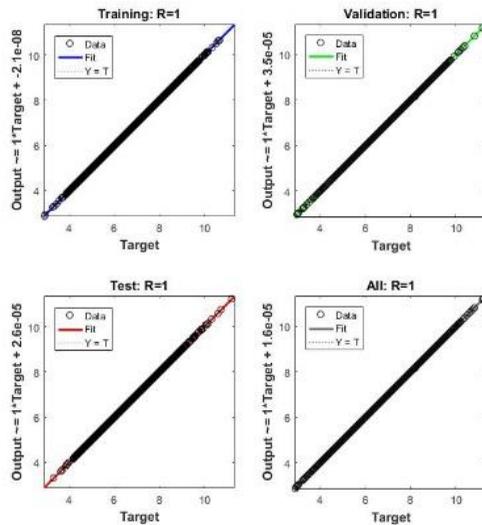
**Gambar 4. 9 Uji JST Plant**

Untuk mengetahui performa dari JST dapat dilihat pada Gambar 4.10. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa performa maksimal JST terjadi pada *epoch* ke 300 dengan nilai *error* sebesar  $3,9713 \times 10^{-9}$ .



**Gambar 4. 10** Performa JST Pada *Plant*

Selain itu dapat juga dilihat hasil regresi hasil pelatihan menggunakan JST. Berikut ini merupakan Gambar 4.11



**Gambar 4. 11** Regresi JST Pada *Plant*

Gambar di atas merupakan hasil regresi dari pelatihan JST pada *plant*. Dari gambar di atas diketahui bahwa nilai regresi sebesar 1. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa JST tersebut dapat melakukan estimasi dengan baik.

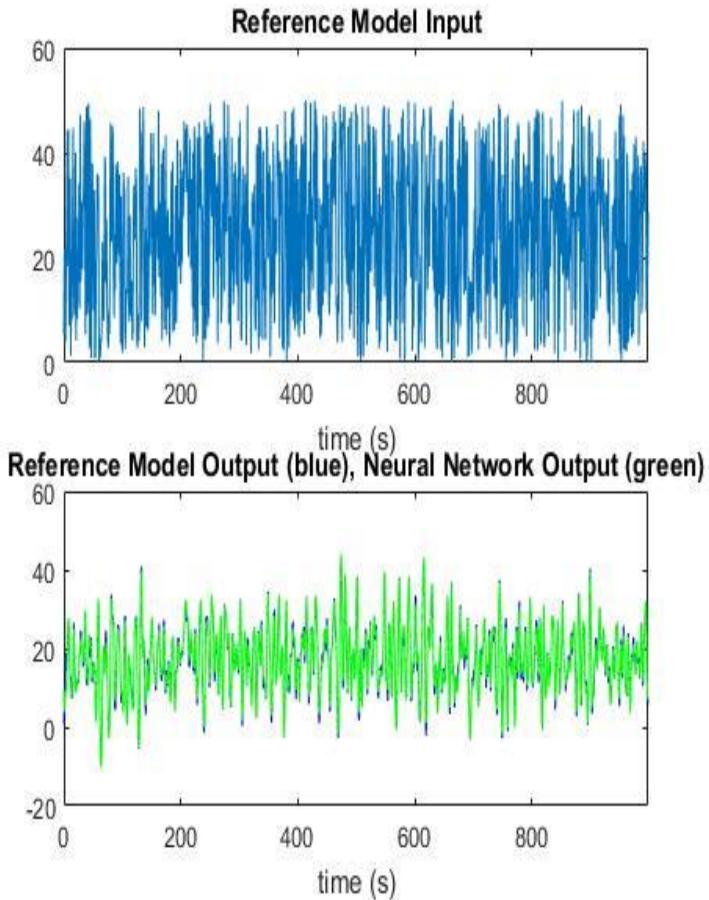
Setelah dilakukan pelatihan, validasi, dan uji pada *plant*, maka dilakukan pelatihan pada *controller* dengan menggunakan *model reference plant*. Sebelum melakukan pelatihan terlebih dahulu harus memasukkan nilai parameter-parameter seperti pada pelatihan model *plant*. Berikut ini merupakan tabel yang berisi parameter-parameter pada *toolbox model reference*.

**Tabel 4. 6** Parameter-parameter Pelatihan *Model Reference*

| <b>Parameter</b>                      | <b>Nilai</b>                 |
|---------------------------------------|------------------------------|
| <i>Hidden Layer</i>                   | 5                            |
| <i>Sampling Interval</i> (detik)      | 1                            |
| <i>Training Sampel</i>                | 1000                         |
| <i>Maximum Plant Output</i>           | 50                           |
| <i>Minimum Plant Input</i>            | 0                            |
| <i>Maximum Interval Value</i> (detik) | 1                            |
| <i>Minimum Interval Value</i> (detik) | 0.1                          |
| <i>Training Epochs</i>                | 500                          |
| <i>Model Plant</i>                    | <i>Close Loop PID Sistem</i> |

Pada proses pelatihan *controller* menggunakan 5 *hidden layer* dan *epoch* sebesar 500. Dari pelatihan yang dilakukan oleh JST

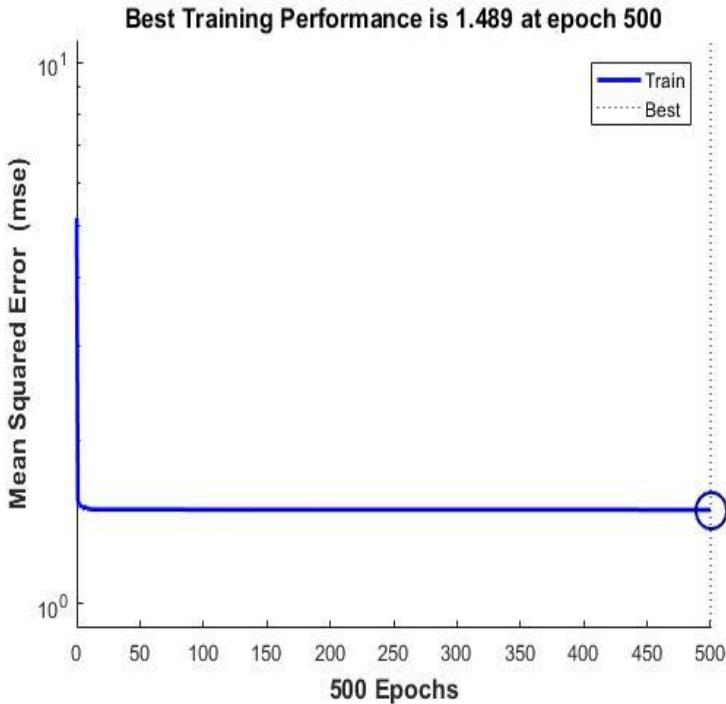
pada *controller* didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.12 berikut ini.



**Gambar 4. 12** Pelatihan JST Pada *Controller*

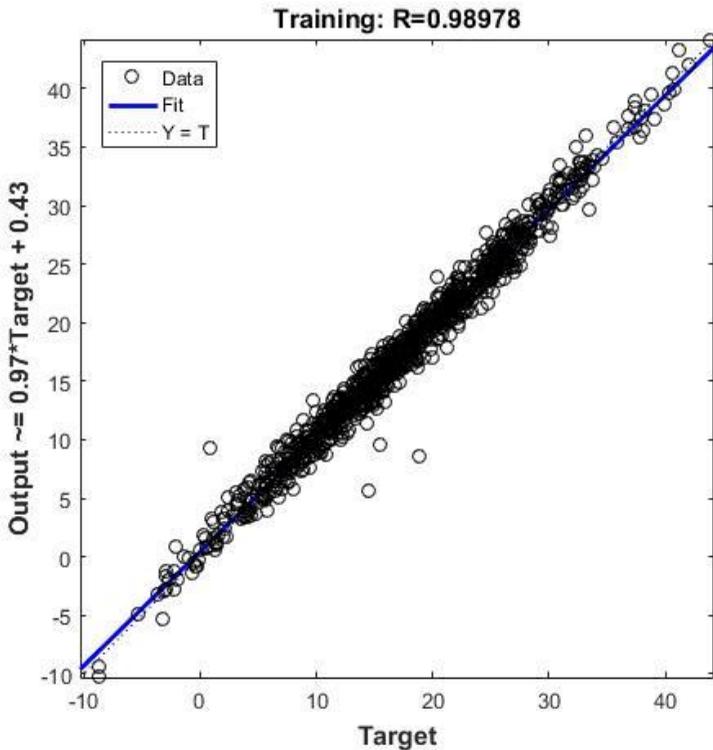
Grafik di atas merupakan grafik sinyal keluaran *model reference* dan keluaran JST. Dari gambar di atas terlihat bahwa

sinyal keluaran dari JST mengikuti pola sinyanya keluaran dari *model reference*. Untuk mengetahui performa dari JST yang digunakan maka dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut ini.



**Gambar 4. 13** Performa JST Kontrol

Dari Gambar 4.13 diketahui bahwa *training* terbaik yang dilakukan oleh JST untuk kontroler terjadi pada *epoch* ke 500 dengan nilai *error* sebesar 1,489. Selain itu nilai regresi selama pelatihan dapat juga dilihat pada Gambar 4.14. Dari Gambar 4.14 dapat diketahui bahwa nilai regresi mendekati 1 yaitu sebesar 0,98978. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa model JST ini sangat baik digunakan untuk kontroler karena memiliki kemampuan estimasi yang baik.

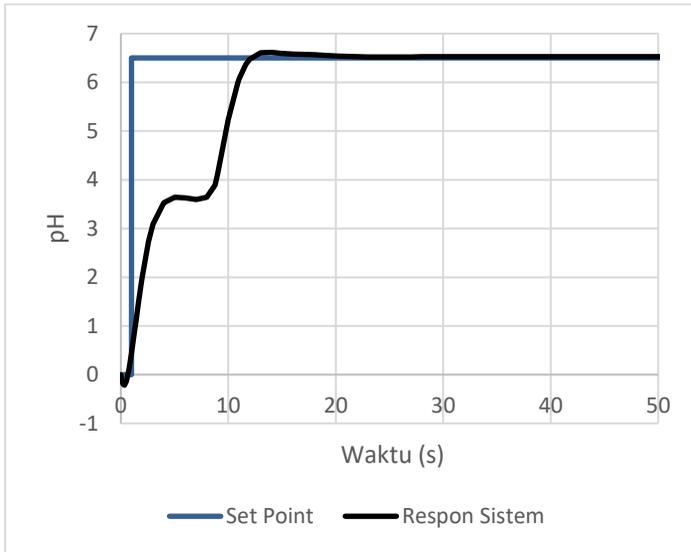


**Gambar 4. 14** Regresi JST Kontrol

Setelah melakukan pelatihan kontroler maka hasil data yang sudah di simpan otomatis oleh *toolbox* tersebut digunakan untuk simulasi sistem hidroponik yang sudah dibuat di Simulink.

Pada pengujian pada sistem diberikan *set point* pH sebesar 6,5. *Set point* pada kontrol menggunakan JST sama dengan *set point* kontrol PID dan merupakan *range* pH dari tanaman kangkung berdasarkan dari Gambar 2.1 pada bagian dasar teori.

Dari pengujian tersebut menghasilkan respon sistem seperti pada Gambar 4.15 berikut ini.



**Gambar 4. 15** Respon Kontrol JST

Dari gambar di atas sumbu x menunjukkan waktu sedangkan sumbu y menunjukkan nilai pH. *Set point* yang diberikan pada pengujian tersebut sebesar 6,5. Dari gambar di atas diketahui karakteristik dinamik dari respon menggunakan kontrol JST seperti pada Tabel 4.7 berikut ini

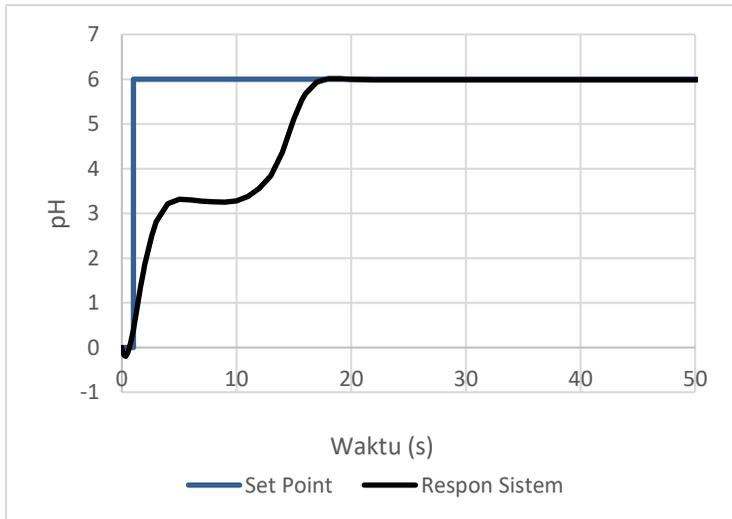
**Tabel 4. 7** Hasil Uji JST

| Jenis Uji   | Karakteristik Dinamik     | Nilai  |
|-------------|---------------------------|--------|
| Kontrol JST | <i>Max Overshoot</i>      | 0,3 %  |
|             | <i>Settling time</i>      | 20 s   |
|             | <i>Error Steady State</i> | 0,35 % |
|             | IAE                       | 4828   |

Dari Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa kontrol JST dapat bekerja dengan baik karena memiliki *error steady state* yang kecil yaitu 0,35 %.

#### 4.6 Uji Set Point Kontrol JST

Setelah didapatkan model JST yang baik maka dilakukan pengujian *set point* yang berubah-ubah untuk melihat apakah kontrol JST dapat bertahan dan tetap pada *set point* yang diberikan. Pada uji *set point* diberikan nilai *set point* pH sebesar 6 untuk melihat ketahanan kontrol JST. Dari uji *set point* dengan nilai sebesar 6 didapatkan respon seperti pada Gambar 4.16.



**Gambar 4. 16** Uji *Set Point* pH 6 Kontrol JST

Pada gambar 4.16 sumbu X merupakan waktu dan sumbu Y merupakan pH. Setelah dilakukan pengujian *set point* pH dengan nilai 6 maka didapatkan karakteristik dinamik seperti pada Tabel 4.8 berikut ini.

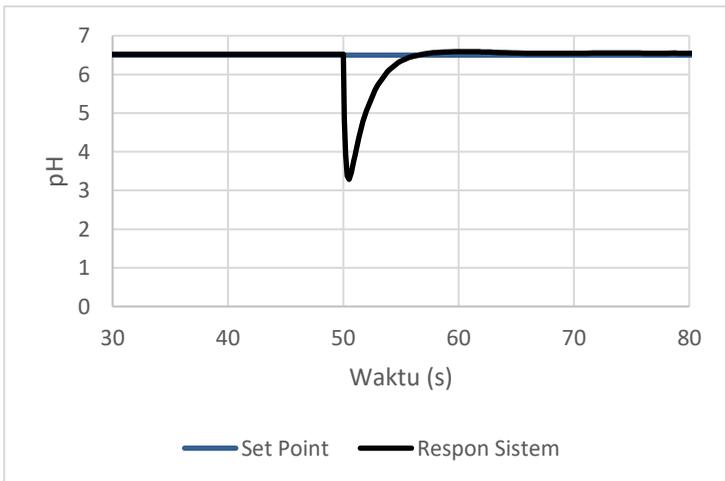
**Tabel 4. 8** Hasil Respon Uji *Set Point* Kontrol JST

| Jenis Uji                              | Karakteristik Dinamik     | Nilai  |
|--|---------------------------|--------|
| <i>Set point</i> pH 6<br>(Gambar 4.16) | <i>Max Overshoot</i>      | 0 %    |
|  | <i>Settling time</i>      | 20 s   |
|  | <i>Error Steady State</i> | 0,35 % |
|  | IAE                       | 4900   |

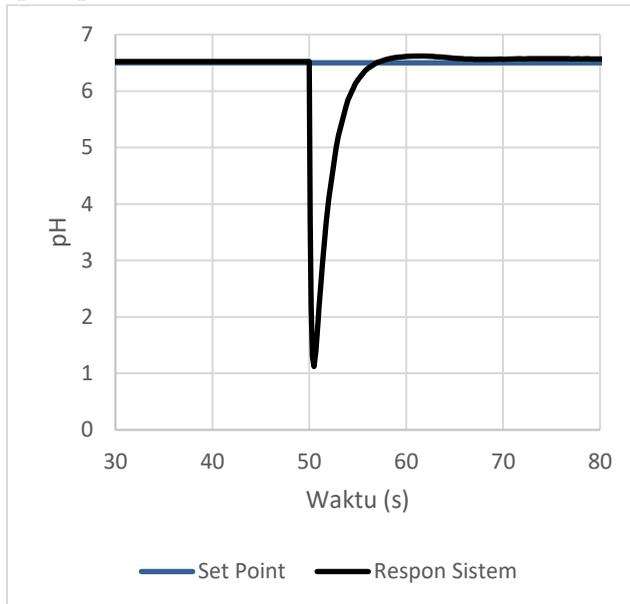
Berdasarkan Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa kontrol JST dapat bekerja ketika nilai *set point* diubah-ubah, hal itu ditunjukkan dengan nilai *error* yang di bawah 3 %.

#### 4.7 Uji *Disturbance* Kontrol JST

Pengujian selanjutnya yaitu dengan ditambahkan *disturbance* pada *plant*. Seperti pada pengujian *set point*, pada pengujian *disturbance* juga diberikan dua nilai uji. Pengujian *disturbance* dilakukan dengan dua nilai pH yaitu 4,5 dan 7,5. Pada pengujian *disturbance* sebesar pH 4,5 didapatkan respon seperti pada Gambar 4.17 berikut ini.

**Gambar 4. 17** Uji *Disturbance* pH 4,5 Kontrol JST

Grafik di atas menunjukkan respon pH terhadap waktu. Pada percobaan di atas waktu percobaan 100 detik dan *disturbance* diberikan pada detik ke 50. Setelah dilakukan pengujian dengan *disturbance* pH sebesar 4,5, dilakukan pengujian *disturbance* pH sebesar 7,5. Dari pengujian *disturbance* pH sebesar 7,5 didapatkan respon seperti pada Gambar 4.18 berikut ini.



**Gambar 4. 18** Uji *Disturbance* pH 7,5 Kontrol JST

Setelah dilakukan pengujian *disturbance* dengan kedua nilai, maka didapatkan karakteristik dinamik yang terdiri dari *maximum overshoot*, *settling time*, dan *error steady state*. Karakteristik tersebut merupakan tinjauan respon sistem secara kualitatif. Sedangkan secara kuantitatif dapat menggunakan *Integral Absolute Error* (IAE). Berikut ini merupakan tabel Tabel 4.9 berikut ini.

**Tabel 4. 9** Hasil Respon Uji *Disturbance* Kontrol JST

| Jenis Uji                                     | Karakteristik Dinamik     | Nilai   |
|---|---------------------------|---------|
| <i>Disturbance</i><br>pH 4,5<br>(Gambar 4.17) | <i>Max Overshoot</i>      | 50,76 % |
|   | <i>Settling time</i>      | 65 s    |
|   | <i>Error Steady State</i> | 0,35 %  |
|   | IAE                       | 4784    |
| <i>Disturbance</i><br>pH 7,5<br>(Gambar 4.20) | <i>Max Overshoot</i>      | 81,54 % |
|   | <i>Settling time</i>      | 65 s    |
|   | <i>Error Steady State</i> | 0,35 %  |
|   | IAE                       | 4752    |

Dari Tabel 4.9 dapat dilihat karakteristik dinamik dari uji *disturbance* yang terdiri dari *maximum overshoot*, *settling time*, *error steady state*, dan IAE. Dari pengujian *disturbance* dapat diketahui bahwa kontrol JST dapat bertahan ketika diberi *disturbance*. Nilai *error* yang kecil menunjukkan bahwa kontrol JST tahan terhadap *disturbance*.

#### 4.8 Perbandingan Kontrol PID dan JST

Pengendali atau kontrol dengan jenis yang berbeda-beda memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing. Pada penelitian kali ini jenis kontrol yang digunakan adalah PID dan JST. Kontrol PID dan JST yang digunakan pada *plant* hidroponik memiliki kelebihan dan kekurangan berdasarkan karakteristik dinamik seperti pada Tabel 4.10 berikut ini.

**Tabel 4. 10** Perbandingan Kontrol PID Dan JST

| <b>Jenis Kontrol</b>         | <b>Karakteristik Dinamik</b> | <b>Nilai</b> |
|------------------------------|------------------------------|--------------|
| Kontrol PID<br>(Gambar 4.2)  | <i>Max Overshoot</i>         | 49,5 %       |
|                              | <i>Settling time</i>         | 20 s         |
|                              | <i>Error</i>                 | 0,5 %        |
|                              | IAE                          | 5063         |
| Kontrol JST<br>(Gambar 4.15) | <i>Max Overshoot</i>         | 0,3 %        |
|                              | <i>Settling time</i>         | 20 s         |
|                              | <i>Error Steady State</i>    | 0,35 %       |
|                              | IAE                          | 4828         |

Dari Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa jenis kontrol yang baik pada *plant* hidroponik adalah JST, dikarenakan nilai *maximum overshoot*, *settling time*, dan *error* lebih kecil dibandingkan kontrol PID.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Pada sistem pengendalian pH di hidroponik, jenis pengendali yang baik digunakan pada sistem tersebut adalah pengendali JST.
- b. Respon yang dihasilkan oleh pengendali PID memiliki nilai *error steady state* sebesar 0,5% sedangkan pada JST *error steady state* 0,35%.

#### **5.2 Saran**

Saran pada penelitian kali ini adalah penggunaan *data logger* agar dapat data yang akurat. Nutrisi yang digunakan harus tahu struktur kimianya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2019, Desember Sabtu). Retrieved from WWW.MathWorks.com:  
<https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ug/design-model-reference-neural-controller-in-simulink.html>
- Asriyant, W. a. (2013). Aplikasi Hidroponik NFT pada Budidaya Pakcoy. *Jurnal Penelitian Terapan* , 159-167.
- Bangerth, F. (1979). Calcium-related physiological disorders of plants. *Annual Review of Phytopathology*, 97-122.
- Desmira, D. A. (2018). PENERAPAN SENSOR pH PADA AREA ELEKTROLIZER DI PT. SULFINDO ADIUSAHA . *Jurnal PROSISKO*.
- Febrina, M., Arina, F., & Ekawati, R. (2013). Peramalan Jumlah Permintaan Produksi Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Backpropagation. *Jurnal Teknik Industri*, 174-179.
- Hatch, D. J., Jones, L., & Burau, a. R. (1988). The effect of pH on the uptake of cadmium by four plant species grown in flowing solution culture. *Plant And Soil*, 121-126.
- Jepry. (2010). Perancangan Pengendali PID Pada Proportional Valve. 17-22.
- Loy, P. F., & T., E. M. (1966). . Influence of redox potential and partial pressure of carbon dioxide on pH values and the suspension effect of flooded soils. *Soil Science*, 421-431.

- Ngafifuddin. (2017). Penerapan Rancang Bangun pH Meter Berbasis Ardyino Pada Mesin Pencuci Film Radiografi Sinar-X. *Jurnal Sains Dasar*, 66-67.
- Palimbunga, R. 1. (2017). Sistem Monitoring Keasaman Air Berbasis Jaringan Nirkabel Wifi Ip.
- Patel, M. L. (1977). Root zone pH changes and ion uptake imbalance by triticale. wheat. and rye. *Agronomy Journal*, 719-722.
- Sanjaya, H. (2012). Rancang Bangun Kontrol pH Menggunakan PID Berbasis Tuning PID.
- Sunarauw, S. J. (2018). Algoritma Pelatihan Levenberg-Marquardt Backpropagation. *Jurnal Sains dan Teknologi, Universitas Negeri Manado*, 213-222.
- Tao, W. &. (1994). Application of fuzzy logic and neural network to the control of a flame process. *IEE Conference Publication*, 235-240.
- Wisnu, D., Wahjudi, A., & Nurhadi, d. H. (2016). Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendali Sumbu Azimuth Turret Pada Turret-gun Kaliber 20mm. *JURNAL TEKNIK ITS*.
- Ylen, J. P. (2001). Measuring, Modeling, and Controlling the pH Value and the Dynamic Chemical State.
- Yu, H. d. (2016). Levenberg–Marquardt Training, In Intelligent System. *CRC Press*, 16.

## LAMPIRAN A

### A.1 Data pH Pada Plant Hidroponik

| Waktu | AB mix pH |
|-------|-----------|
| 1     | 7.12      |
| 2     | 7.14      |
| 3     | 7.15      |
| 4     | 7.23      |
| 5     | 7.25      |
| 6     | 7.32      |
| 7     | 8.05      |
| 8     | 8.56      |
| 9     | 8.55      |
| 10    | 8.68      |
| 11    | 8.66      |
| 12    | 8.69      |
| 13    | 8.69      |
| 14    | 8.69      |
| 15    | 8.69      |
| 16    | 8.69      |
| 17    | 8.69      |
| 18    | 8.69      |
| 19    | 8.69      |
| 20    | 8.69      |
| 21    | 8.69      |
| 22    | 8.69      |
| 23    | 8.68      |
| 24    | 8.68      |
| 25    | 8.67      |

| <b>Waktu</b> | <b>AB mix pH</b> |
|--------------|------------------|
| 26           | 8.66             |
| 27           | 8.63             |
| 28           | 8.61             |
| 29           | 8.6              |
| 30           | 8.6              |
| 31           | 8.6              |
| 32           | 8.58             |
| 33           | 8.53             |
| 34           | 8.5              |
| 35           | 8.47             |
| 36           | 8.45             |
| 37           | 8.42             |
| 38           | 8.4              |
| 39           | 8.36             |
| 40           | 8.35             |
| 41           | 8.33             |
| 42           | 8.3              |
| 43           | 8.28             |

## **A.2 Data pH Disturbance**

| <b>Hari</b> | <b>Jam</b> | <b>pH Disturbance</b> |
|-------------|------------|-----------------------|
| 1           | 9          | 6                     |
|             | 11         | 6.45                  |
|             | 13         | 5.8                   |
|             | 15         | 5.7                   |
|             | 17         | 5.5                   |
|             | 19         | 5.5                   |
|             | 21         | 6.15                  |
|             | 23         | 6.22                  |

| Hari | Jam | pH <i>Disturbance</i> |
|------|-----|-----------------------|
| 2    | 9   | 6.31                  |
|      | 11  | 6.27                  |
|      | 13  | 6.45                  |
|      | 15  | 6.35                  |
|      | 17  | 6.4                   |
|      | 19  | 6.4                   |
|      | 21  | 6.44                  |
|      | 23  | 6.49                  |
| 3    | 9   | 6.23                  |
|      | 11  | 6.41                  |
|      | 13  | 6.41                  |
|      | 15  | 6.19                  |
|      | 17  | 6.32                  |
|      | 19  | 6.34                  |
|      | 21  | 6.34                  |
|      | 23  | 6.38                  |
| 4    | 9   | 6.36                  |
|      | 11  | 6.46                  |
|      | 13  | 6.45                  |
|      | 15  | 6.49                  |
|      | 17  | 6.38                  |
|      | 19  | 6.42                  |
|      | 21  | 6.45                  |
|      | 23  | 6.48                  |
| 5    | 9   | 6.46                  |
|      | 11  | 6.44                  |
|      | 13  | 6.54                  |
|      | 15  | 6.5                   |

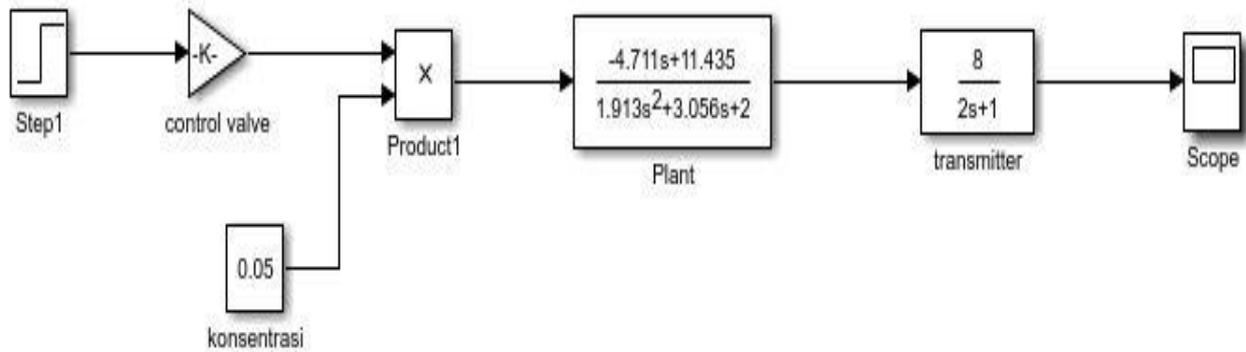
| Hari | Jam | pH <i>Disturbance</i> |
|------|-----|-----------------------|
|      | 17  | 6.23                  |
|      | 19  | 6.3                   |
|      | 21  | 6.29                  |
|      | 23  | 6.29                  |
| 6    | 9   | 6.11                  |
|      | 11  | 6.3                   |
|      | 13  | 6.42                  |
|      | 15  | 6.37                  |
|      | 17  | 6.42                  |
|      | 19  | 6.42                  |
|      | 21  | 6.38                  |
|      | 23  | 6.42                  |
| 7    | 9   | 6.49                  |
|      | 11  | 6.34                  |
|      | 13  | 6.05                  |
|      | 15  | 6.23                  |
|      | 17  | 6.29                  |
|      | 19  | 6.28                  |
|      | 21  | 6.38                  |
|      | 23  | 6.39                  |
| 8    | 9   | 6.41                  |
|      | 11  | 6.47                  |
|      | 13  | 6.42                  |
|      | 15  | 6.29                  |
|      | 17  | 6.24                  |
|      | 19  | 6.22                  |
|      | 21  | 6.34                  |
|      | 23  | 6.33                  |
| 9    | 9   | 6.22                  |

| Hari | Jam | pH <i>Disturbance</i> |
|------|-----|-----------------------|
|      | 11  | 6.31                  |
|      | 13  | 6.32                  |
|      | 15  | 6.09                  |
|      | 17  | 6.29                  |
|      | 19  | 6.33                  |
|      | 21  | 6.35                  |
|      | 23  | 6.34                  |

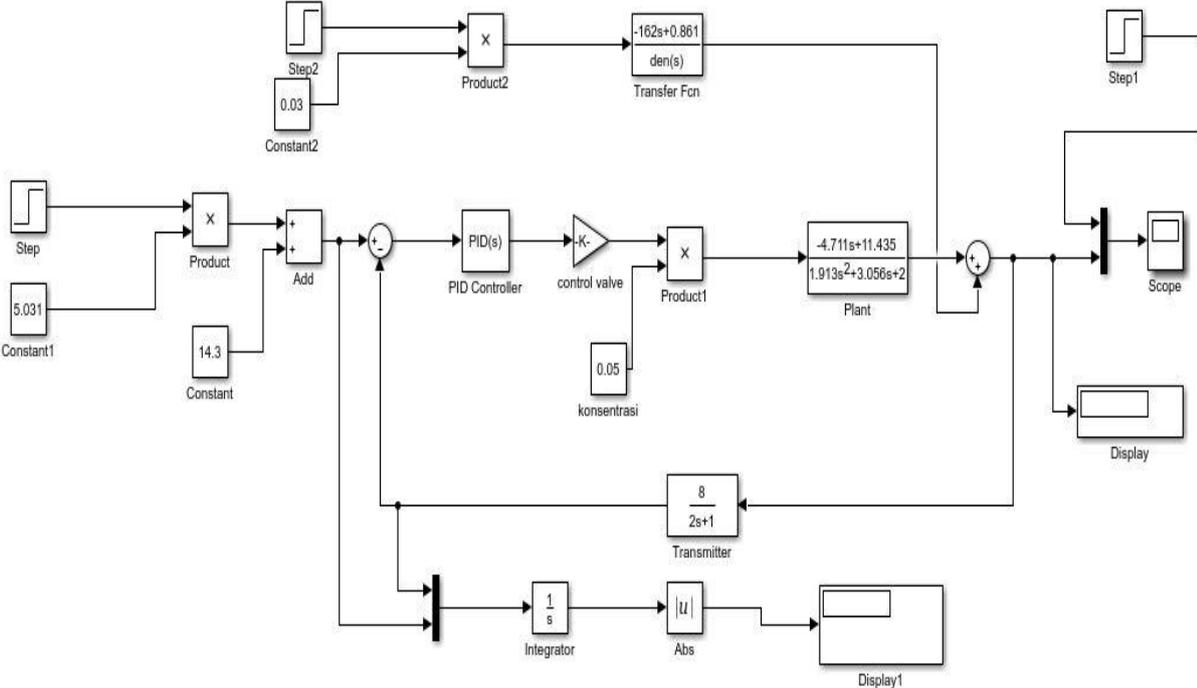
*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## LAMPIRAN B

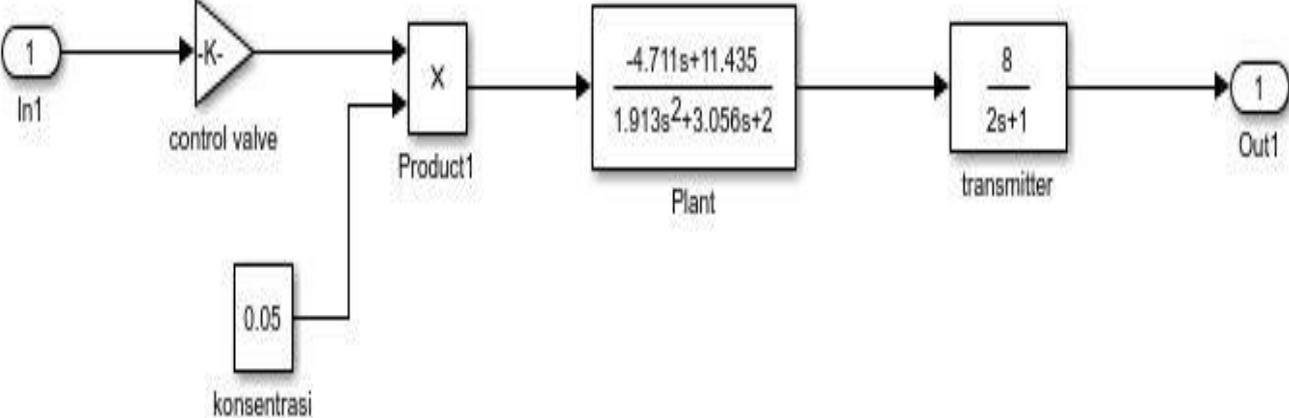
### B.1 Sistem *Open Loop*



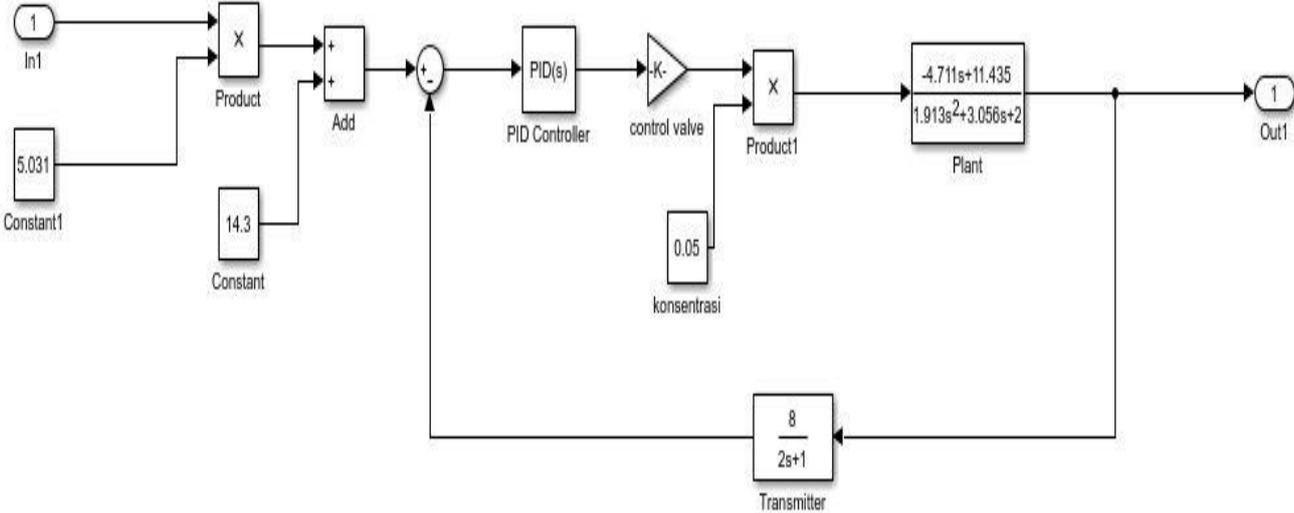
## B.2 Sistem Close Loop Control PID




**B.3 Simulasi Model Plant**



**B.4 Simulasi Model Reference**



## B.5 Sistem Kontrol JST



*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Gagah Prajamukti Harianto. Dilahirkan di Kabupaten Jember, 1 Maret 1998. Penulis menyelesaikan Sekolah Dasar pada tahun 2010 di SDN Wonorejo 6, pada tahun 2013 penulis menamatkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Kencong, dan pada tahun 2015 penulis menamatkan sekolah menengah atas di SMA Negeri 2 Lumajang. Penulis mempunyai minat terhadap bidang organisasi. Pada tahun 2020 ini, penulis mampu menyelesaikan gelar sarjana teknik di Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “PERBANDINGAN PENGENDALIAN pH PADA SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN METODE PENGENDALIAN PID DAN PENGENDALIAN JARINGAN SYARAF”. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email [gagasprajamukti98@gmail.com](mailto:gagasprajamukti98@gmail.com).