



TUGAS AKHIR - TF 181801

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *ELECTRICAL CONDUCTIVITY* (EC) BERBASIS pH PADA SISTEM HIDROPONIK NFT (*NUTRIENT FILM TECHNIQUE*) TANAMAN PAKCOY**

RIZALDY MUSLIM SUTARTO  
NRP. 02311640000127

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 sengaja dikosongkan*



TUGAS AKHIR - TF 181801

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *ELECTRICAL CONDUCTIVITY* (EC) BERBASIS pH PADA SISTEM HIDROPONIK NFT (*NUTRIENT FILM TECHNIQUE*) TANAMAN PAKCOY**

**RIZALDY MUSLIM SUTARTO**  
NRP. 02311640000127

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 sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - TF 181801**

***DESIGN OF CONTROL SYSTEM ELECTRICAL CONDUCTIVITY (EC) BASED pH ON HYDROPONIC SYSTEM NFT (NUTRIENT FILM TECHNIQUE) PLANT PAKCOY***

**RIZALDY MUSLIM SUTARTO  
NRP. 02311640000127**

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

***Department of Engineering Physics  
Faculty of Industrial Technology and System Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020***

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Rizaldy Muslim Sutarto  
NRP : 02311640000127  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "*PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN ELECTRICAL CONDUCTIVITY (EC) BERBASIS pH PADA SISTEM HIDROPONIK NFT( Nutrient Film Technique) TANAMAN PAKCOY*" 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 sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 05 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,



Rizaldy Muslim Sutarto

NRP. 02311640000127

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *ELECTRICAL CONDUCTIVITY* (EC) BERBASIS pH PADA SISTEM HIDROPONIK NFT  
(*NUTRIENT FILM TECHNIQUE*) TANAMAN PAKCOY**

Oleh:

**Rizaldy Muslim Sutarto**

**NRP. 02311640000127**

Surabaya, 5 Agustus 2020

Menyetujui,

Pembimbing 1



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

**NIP. 19690530 199412 1 001**

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FT-IRS-ITS



**Dr. Suyanto, S.T., M.T.**

**NIP. 19711113 199512 1 002**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *ELECTRICAL CONDUCTIVITY* (EC) BERBASIS pH PADA SISTEM HIDROPONIK NFT (*NUTRIENT FILM TECHNIQUE*) TANAMAN PAKCOY

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Rizaldy Muslim Sutarto**

**NRP. 02311640000127**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Hendra Cordova , S.T., M.T.  ..... (Pembimbing I)
2. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.  ..... (Ketua Penguji)
3. Dr. Suyanto, S.T., M.T.  ..... (Penguji I)
4. Iwan Cony Setiadi, S.T., M.T.  ..... (Penguji II)

**SURABAYA**

**2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *ELECTRICAL*  
*CONDUCTIVITY (EC)* BERBASIS pH PADA SISTEM  
HIDROPONIK NFT (*NUTRIENT FILM TECHNIQUE*)  
TANAMAN PAKCOY**

**Nama** : Rizaldy Muslim Sutarto  
**NRP** : 02311640000127  
**Departemen** : Teknik Fisika FT-IRS - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Hendra Cordova, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

Hidroponik adalah pengolahan tanaman tanpa tanah atau tempat yang luas. Digunakan sistem *nutrient film technique* (NFT) untuk hidroponik yang digunakan. NFT merupakan model budidaya hidroponik dengan teknik pemberian nutrisi secara terus menerus yang dialirkan dengan menggunakan pipa dan menggunakan pompa dengan teknik resirkulasi pada tanaman. Di dalam tangki dilakukan proses penetralan pH antara aliran *input potassium dihydrogen phosphate* ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) dan *ammonium nitrate* ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) pada sistem hidroponik. Melalui tugas akhir ini akan dibuat suatu rancangan sistem pengendalian EC yang menggunakan pengendali *fuzzy* PID, setelah didapat dari model dinamik nilai nilainya digunakan didalam model statik untuk menentukan nilai pH. Dengan pH yang didapat dimasukkan di *neural network* jaringan syaraf tiruan untuk mendapat konduktivitas elektrolit (EC), telah dilakukan uji *open loop* dan *close loop*. Berawal dari tanpa kontroler menuju PID dan *fuzzy* PID. Didapatkan nilai parameter PID berupa  $K_p = 0.1$ ,  $K_i = 0.01$ , dan  $K_d = 0$ . Didapatkan hasil karakteristik respon yang lebih unggul pada sistem pengendali *fuzzy* PID, *fuzzy* PID hampir memiliki semua keunggulan yaitu *rise time*, *settling time* yang lebih cepat, *overshoot*, IAE, dan *error steady state* yang lebih rendah daripada PID, kecuali untuk *settling time* pada saat perubahan *setpoint*  $1500\mu\text{S}/\text{Cm}$ .

**Kata Kunci:** Konduktivitas elektrolit (*EC*), *fuzzy* PID, *nutrient film technique* (*NFT*), dan hidroponik.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **DESIGN OF CONTROL SYSTEM ELECTRICAL CONDUCTIVITY (EC) BASED pH ON HYDROPONIC SYSTEM NFT (NUTRIENT FILM TECHNIQUE) PLANT PAKCOY**

**Name** : Rizaldy Muslim Sutarto  
**NRP** : 02311640000127  
**Department** : Engineering Physics FT-IRS- ITS  
**Supervisors** : Hendra Cordova, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

*Hydroponics are plant processing without soil or a wide place. Used nutrient film technique (NFT) system for hydroponics used. NFT is a model of hydroponic cultivation with a continuous nutrition technique that is streamed using pipes and using a pump with recirculation technique in plants. Inside the tank is performed a pH neutrality process between the potassium input flow potassium dihydrogen phosphate ( $KH_2PO_4$ ) and ammonium nitrate ( $NH_4NO_3$ ) on the hydroponic system. Through this final assignment, a draft EC control system using fuzzy PID, once obtained from a dynamic model the value of values used in the static model to determine the pH value. With the pH gained in the neural network of neural networks to obtain electrolyte conductivity (EC), after the design of the system is formed, tests of open loop and close loop are conducted. Starting from without a controller to PID and fuzzy PID. Obtained the value of the PID parameter of  $K_p = 0.1$ ,  $K_i = 0.01$ , and  $K_d = 0$ . Obtained the result of a superior response characteristics in the fuzzy PID controller system, fuzzy PID almost has all the advantages of the edge of rise Time, faster settling Time, overshoot, IAE, and steady state error lower than PID, except for settling time at change  $1500 \mu S/Cm$ .*

**Keywords:** *Electrical Conductivity(EC), fuzzy PID, nutrient film technique (NFT), and hydroponic.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Saya panjatkan segala puji syukur yang sangat mendalam atas limpahan karunia yang Engkau berikan padaku, sehingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan penuh kemudahan, dengan judul:

**“PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *ELECTRICAL CONDUCTIVITY* (EC) BERBASIS pH PADA SISTEM HIDROPONIK NFT (*NUTRIENT FILM TECHNIQUE*) TANAMAN PAKCOY”**

Banyak sekali hal-hal yang belum dimengerti oleh penulis terutama pada saat pertama kali memahami konsep dan menyusun tugas akhir ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari tugas akhir ini tidak mungkin terwujud tanpa bantuan dan dukungan yang sangat tulus dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang besar dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika – FT-IRS – ITS, dan selaku dosen wali.
2. Hendra Cordova, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan dan ilmu pengetahuan demi kelancaran mengerjakan tugas akhir ini.
3. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku kepala bidang minat Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Fisika – FT-IRS – ITS yang telah memberi dukungan dan ilmunya kepada penulis .
5. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan, doa dan perhatiannya yang luar biasa.
6. Teman-teman mahasiswa ITS dan khususnya teman-teman di Departemen Teknik Fisika Angkatan 2016 terima kasih atas bantuannya dan dukungannya.
7. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu.

Sebagai upaya peningkatan kualitas yang tidak pernah selesai. Demikian pula dengan laporan tugas akhir ini yang nantinya memerlukan masukan dari pembaca seluruhnya.

Surabaya,5 Agustus 2020

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN .....	ix
LEMBAR PENGESAHAN .....	xi
ABSTRAK .....	xiii
ABSTRACT.....	xv
KATA PENGANTAR .....	xvii
DAFTAR ISI.....	xix
DAFTAR GAMBAR .....	xxiii
DAFTAR TABEL.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Tujuan.....	2
1.4    Lingkup Kajian.....	2
1.5    Sistematika Laporan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1    Hidroponik.....	5
2.2    NFT ( <i>Nutrient Film Technique</i> ) .....	7
2.3    Tanaman Pakcoy .....	8
2.4    Derajat Keasaman (pH) .....	9
2.5    Konduktivitas Elektrolit (EC).....	10
2.6    Larutan Nutrisi .....	11

2.7	Teori Asam Basa.....	12
2.8	Reaksi <i>Invariant</i> .....	17
2.9	Perhitungan Analitik pH .....	19
2.10	<i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	20
2.11	Teori Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	21
2.12	Teori Keanggotaan <i>Fuzzy</i> .....	22
2.13	Pengendali PID .....	24
2.14	Pengendali <i>Fuzzy</i> PID .....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		27
3.1	Diagram Alir .....	27
3.2	Identifikasi dan Menentukan Masalah .....	28
3.3	Studi Literatur .....	28
3.4	Penurunan <i>Plant</i> Hidroponik .....	29
3.5	Uji <i>Open Loop</i> .....	31
3.6	Perancangan Sistem Pengendali <i>Fuzzy</i> PID.....	32
3.7	Pemodelan EC Berbasis pH Menggunakan Jaringan Sistem Tiruan .....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1	Simulasi <i>Open Loop</i> .....	39
4.2	Uji <i>Close Loop</i> .....	39
4.3	Hasil Pemodelan .....	40
4.4	Hasil Simulasi <i>Close Loop Setpoint</i> Tetap .....	40
4.5	Hasil Simulasi <i>Close Loop</i> Perubahan <i>Setpoint</i> .....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		49
5.1	Kesimpulan .....	49
5.2	Saran .....	49
DAFTAR PUSTAKA.....		51

LAMPIRAN.....	55
BIODATA PENULIS .....	61

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Hidroponik dengan <i>wick system</i> .....	5
<b>Gambar 2. 2</b> Hidroponik dengan sistem NFT.....	6
<b>Gambar 2. 3</b> Hidroponik dengan sistem DWC.....	6
<b>Gambar 2. 4</b> Hidroponik dengan <i>drip system</i> .....	7
<b>Gambar 2. 5</b> Hidroponik dengan <i>ebb dan flow system</i> .....	7
<b>Gambar 2. 6</b> Hidroponik <i>nutrient film technique (NFT)</i> .....	8
<b>Gambar 2. 7</b> Tanaman Pakcoy (Kakakid, 2020). .....	8
<b>Gambar 2. 8</b> Contoh rangkaian pengukuran hambatan (Wikipedia, 2020).....	11
<b>Gambar 2. 9</b> Konfigurasi dasar <i>fuzzy logic controller (FLC)</i> .....	20
<b>Gambar 2. 10</b> Jenis fungsi keanggotaan <i>fuzzy</i> .....	24
<b>Gambar 2. 11</b> Sistem pengendali PID .....	24
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram alir penelitian .....	27
<b>Gambar 3. 2</b> Skema <i>plant</i> hidroponik NFT .....	28
<b>Gambar 3. 3</b> Blok diagram <i>open loop</i> .....	31
<b>Gambar 3. 4</b> <i>Input variable error (lima rules)</i> .....	32
<b>Gambar 3. 5</b> <i>Membership function Kp</i> .....	33
<b>Gambar 3. 6</b> Grafik EC dan pH sebelum <i>training</i> .....	34
<b>Gambar 3. 7</b> <i>Best validation performance</i> dan MSE.....	36
<b>Gambar 3. 8</b> Data di dalam <i>neural network training tool</i> .....	36
<b>Gambar 3. 9</b> Grafik di dalam <i>neural network training state</i> .....	37
<b>Gambar 4. 1</b> Grafik EC pada <i>open loop</i> .....	39
<b>Gambar 4. 2</b> Blok diagram <i>close loop</i> dengan <i>fuzzy PID</i> .....	40
<b>Gambar 4. 3</b> Hasil uji PID <i>setpoint</i> tetap 2000( $\mu\text{S}/\text{Cm}$ ).....	41
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik EC <i>close loop fuzzy PID setpoint</i> tetap(2000 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ ) .....	41
<b>Gambar 4. 5</b> Respon Kp simulasi <i>close loop setpoint</i> tetap(2000 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ ) .....	42
<b>Gambar 4. 6</b> Hasil uji <i>close loop PID</i> perubahan <i>setpoint</i> (1500 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ ) .....	43
<b>Gambar 4. 7</b> Hasil uji <i>close loop fuzzy PID</i> perubahan <i>setpoint</i> (1500 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ ) ...	43
<b>Gambar 4. 8</b> Respon Kp simulasi <i>close loop</i> perubahan <i>setpoint</i> (1500 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ )..	44

<b>Gambar 4. 9</b> Hasil uji <i>close loop</i> PID perubahan <i>disturbance</i> sebesar +10% .....	45
<b>Gambar 4. 10</b> Hasil uji <i>close loop fuzzy</i> PID perubahan <i>disturbance</i> sebesar +10% .....	45
<b>Gambar 4. 11</b> Respon $K_p$ simulasi <i>close loop disturbance</i> +10% .....	46

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Nilai pH Larutan Nutrisi pada Hidroponik.....	10
<b>Tabel 2. 2</b> Asam Kuat dan Asam Lemah.....	15
<b>Tabel 2. 3</b> Basa Kuat dan Basa Lemah.....	16
<b>Tabel 2. 4</b> Kekuatan Asam Basa Berdasarkan Harga $K_a$ dan $K_b$ .....	16
<b>Tabel 3. 1</b> EC dan pH Sebelum <i>Training</i> .....	34
<b>Tabel 3. 2</b> Parameter Pelatihan ANN .....	35
<b>Tabel 4. 1</b> Perbandingan Karakteristik Respon <i>Close Loop Setpoint</i> Tetap dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan <i>fuzzy</i> PID .....	42
<b>Tabel 4. 2</b> Perbandingan Karakteristik Respon <i>Close Loop</i> Perubahan <i>Setpoint</i> dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan <i>fuzzy</i> PID .....	44
<b>Tabel 4. 3</b> Perbandingan Karakteristik Respon <i>Close Loop</i> Perubahan <i>Disturbance</i> 10 Persen dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan <i>fuzzy</i> PID .....	47

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada era ini ilmu pada bidang sangat berkembang pesat. Banyak nya lahan-lahan yang telah dibangun rumah penduduk, hal ini menyebabkan menipisnya lahan pertanian, sehingga muncul inovasi inovasi yang lebih efisien untuk mengembangkan bidang pertanian di dalam keterbatasan lahan. Salah satu perkembangan tersebut yaitu metode pertanian yang baru seperti budidaya sistem hidroponik. Hidroponik sangat cocok diterapkan pada daerah yang mengalami keterbatasan lahan. Hidroponik merupakan salah satu alternative bercocok tanam budidaya untuk produksi tanaman tanpa menggunakan tanah dan tempat yang luas, sehingga dapat dilakukan di daerah yang sulit ditanami. Hidroponik merupakan salah satu sistem pertanian masa depan karena dapat digunakan di berbagai tempat, baik di kota, di desa, di lahan terbuka, atau di atas apartemen sekalipun (Hartus, 2008, Barbosa, dkk 2015).

Sistem hidroponik dapat menjadi salah satu solusi untuk pengembangan tanaman buah dan sayur dengan kelebihan dan manfaat yang diberikan dibandingkan sistem pertanian konvensional (Barbosa, dkk 2015). Salah satu hidroponik yang digunakan adalah hidroponik NFT (*nutrient film technique*). NFT merupakan model budidaya hidroponik dengan teknik pemberian nutrisi secara terus menerus yang dialirkan mengenai tanaman menggunakan pipa PVC dan menggunakan pompa dengan teknik resirkulasi. Air dan nutrisi tersirkulasi sesuai dengan kebutuhan tanaman. *AB mix* adalah istilah yang biasa digunakan pada larutan nutrisi ini. Konduktivitas elektrolit (EC) adalah parameter yang digunakan para petani dalam mengukur kadar nutrisi pada larutan *AB mix*. Nilai EC digunakan karena larutan ini merupakan larutan elektrolit.

Pada penelitian (Ni Nyoman, dkk 2016) menyatakan bahwa EC adalah aspek terpenting dalam pengelolaan larutan nutrisi. pH dan EC sangat berpengaruh terhadap larutan nutrisi tanaman yang ditanam sistem hidroponik. Parameter pH nutrisi hidroponik sangat penting karena akan mempengaruhi ketersediaan dan penyerapan beberapa unsur atom yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman,

begitu pula EC. Pakcoy (*Brassica rapa*) adalah jenis tanaman sayur-sayuran yang termasuk keluarga *Brassicaceae*. Ada variabel utama yang harus diperhatikan ketika membuat larutan nutrisi yaitu pH. Perubahan tingkat pH akan berpengaruh terhadap fotosintesis tanaman, karena CO<sub>2</sub> mudah larut dan menurunkan pH. Tingkat pH dan EC harus dikontrol supaya menghindari tanaman yang akan rusak dan keracunan jika kekurangan (Dykka, dkk 2018, Silva, dan Uchida 2000).

Hidroponik, jika dikembangkan lebih lanjut, diharapkan bermanfaat dalam peningkatan efektifitas pengaplikasiannya. Metode mendapatkan nilai EC lebih efektif akan membantu mengembangkan metode tanam pada tanaman. Penelitian ini melihat performansi dari formula awal terhadap data yang digunakan sebelumnya dengan pemodelan larutan AB *mix* sebagai  $KH_2PO_4$  dan  $NH_4NO_3$  Menggunakan PID (Zuhar, dan Cordova 2019).

*Fuzzy logic control* (FLC) adalah salah satu metode pengendalian sistem yang telah banyak digunakan di bidang industri, khususnya di bidang sistem kendali. Dalam perancangan FLC tidak diperlukan model matematis dari sistem yang akan dikendalikan. Sehingga ini menjadi keunggulan FLC karena perancangan pengendali lebih mudah dilakukan dengan hanya mengandalkan aturan logika (Wahab, dkk 2017). Penelitian ini menggunakan *fuzzy* PID untuk menentukan pemodelan menggunakan JST dengan data yang sudah ada untuk menemukan konduktivitas elektrolit (EC).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perumusan masalah adalah bagaimana merancang suatu pengendalian EC dengan *fuzzy* PID yang baik untuk *plant* dari hidroponik *nutrient film technique* (NFT) pada tanaman Pakcoy?

## 1.3 Tujuan

Tujuan yang dilakukan penelitian ini adalah untuk merancang suatu pengendalian EC dengan *fuzzy* PID yang baik untuk *plant* dari hidroponik *nutrient film technique* (NFT) pada tanaman Pakcoy.

## 1.4 Lingkup Kajian

lingkup Kajian pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Jenis tanaman yang digunakan adalah Pakcoy.
- b) Sistem pengendalian yang digunakan adalah *fuzzy* PID
- c) Jenis hidroponik yang digunakan adalah hidroponik NFT (*nutrient film technique*).

## 1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan penelitian tugas akhir ini berisikan tentang penjelasan ringkas dari masing-masing bagian yang terdapat pada laporan. Berikut merupakan sistematika laporan yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab pendahuluan dijelaskan mengenai latar belakang pelaksanaan penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, lingkup kajian dan sistematika laporan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Pada bab tinjauan pustaka dan dasar teori dijelaskan mengenai konsep dan prinsip dasar yang diperlukan untuk memecahkan masalah. Teori yang digunakan mengenai konsep *fuzzy*, hidroponik, larutan nutrisi, konduktivitas elektrolit dan lainnya.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab metodologi penelitian dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan dalam melakukan penelitian tugas akhir. Metodologi penelitian ini menggambarkan alur pelaksanaan penelitian, meliputi : studi literatur, eksperimen (pemodelan gambar proses *plant*), pengambilan data (data diambil dari jurnal, dan data terdahulu), Perancangan( pemodelan *open loop* dan *close loop* ), pengolahan data (menganalisis data atau pembahasan, kesimpulan).

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab hasil dan pembahasan dijelaskan mengenai hasil pengolahan data yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan yang dicapai dari penelitian tugas akhir ini.

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab kesimpulan dan saran dijelaskan mengenai penarikan kesimpulan dari hasil penelitian tugas akhir sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai serta saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

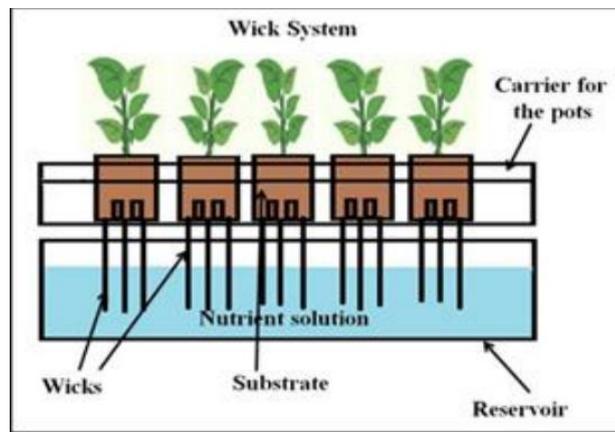
#### 2.1 Hidroponik

Hidroponik atau *hydroponics*, adalah yang digunakan untuk menjelaskan cara bercocok tanaman tanpa menggunakan tanah sebagai tempat menanam tanaman. Hidroponik berasal dari bahasa latin yang terdiri dari kata *hydro* yang berarti air dan kata *ponos* yang berarti kerja. Maka hidroponik merupakan pengelolaan atau pengerjaan air yang sebagai media tumbuh tanaman dan tempat akar tanaman mengambil unsur hara yang diperlukan. Biasanya media tanam yang digunakan bersifat porous, seperti pasir, arang sekam, batu apung, kerikil, *rockwool*.

Beberapa jenis hidroponik yang digunakan antara lain (El-kazzaz, 2017):

a) *Wick System*

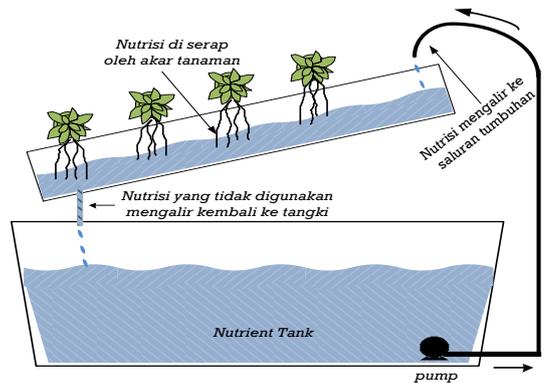
Sistem ini merupakan model hidroponik yang menggunakan sumbu yang menghubungkan pot tanaman dengan media larutan nutrisi.



**Gambar 2. 1** Hidroponik dengan *wick system*

b) *Nutrient Film Technique (NFT)*

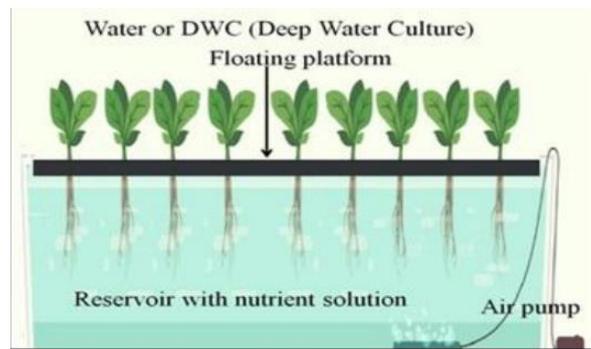
Merupakan teknik pemberian larutan nutrisi secara terus menerus dialirkan mengenai akar tanaman menggunakan pipa PVC menggunakan pompa dengan teknik resirkulasi.



**Gambar 2. 2** Hidroponik dengan sistem NFT

c) *Deep Water Culture (DWC)*

Tanaman dibuat mengapung pada larutan nutrisi sehingga akar tanaman terendam terus menerus. Penggunaan pompa hanya untuk menghasilkan oksigen di dalam larutan nutrisi.

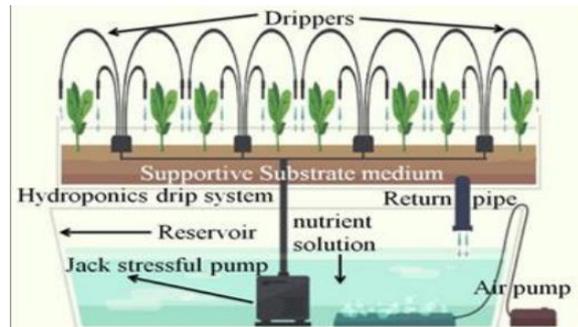


**Gambar 2. 3** Hidroponik dengan sistem DWC

d) *Drip System*

Sistem ini menggunakan 2 buah kontainer terpisah yaitu bagian atas dan bawah. Kontainer atas untuk tanaman dan yang bawah untuk larutan nutrisi. Larutan nutrisi dipompa naik dan menyiram batang

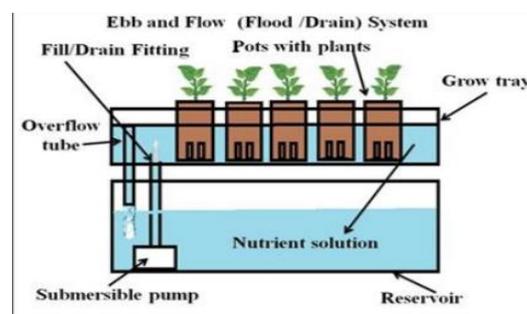
tanaman dan akan larutan sisa akan turun ke kontainer bawah setelah melewati media tanam dan akar tanaman.



**Gambar 2. 4** Hidroponik dengan *drip system*

e) *Ebb dan Flow System (Flood and Drain System)*

Sistem ini terdapat 2 kontainer, yaitu satu di atas berisi tanaman dalam pot dengan substrat dan yang ada dibagian bawah yang mengandung larutan nutrisi. Pemberian nutrisi untuk tanaman dilakukan dengan sistem pasang surut, yaitu bergantian memenuhi kontainer atas dengan larutan nutrisi dan kemudian mengosongkan larutan nutrisi dan kembali ke kontainer bawah.

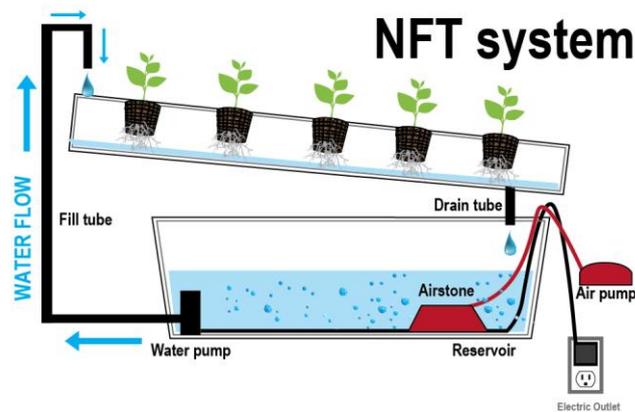


**Gambar 2. 5** Hidroponik dengan *ebb dan flow system*

## 2.2 NFT (*Nutrient Film Technique*)

NFT adalah sebuah sistem yang menggunakan ‘film’ larutan nutrisi. Film atau lapisan tipis tersebut berupa larutan nutrisi setebal 1-3 mm, dipompa dan dialirkan melewati akar tanaman secara terus menerus dengan kecepatan aliran sekitar 1-2 liter per menit. Berdasarkan cara pengairannya, hidroponik NFT termasuk dalam hidroponik sistem tertutup. Dalam sistem tertutup, larutan nutrisi bersirkulasi secara terus menerus selama 24 jam agar perakaran

selalu mendapatkan air nutrisi sehingga memberikan limpahan oksigen kepada akar tanaman sehingga baik untuk pertumbuhan tanaman. Nutrisi yang diberikan pada tanaman erat kaitannya dengan pH air atau derajat keasaman air. Pengaruh pH nutrisi hidroponik sangat penting karena akan mempengaruhi ketersediaan dan penyerapan beberapa unsur atom 16 yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Pancawati, dkk 2016).



**Gambar 2. 6** Hidroponik *nutrient film technique* (NFT)

### 2.3 Tanaman Pakcoy

Pakcoy (*Brassica rapa subs. chinensis*) merupakan jenis sayuran yang dikenal sebagai sawi sendok. Tampilannya sangat mirip dengan sawi, jika sawi batangnya lebih ramping dan memanjang. Sedangkan Pakcoy memiliki batang besar dan pendek, serta struktur daunnya lebar. Jenis sayuran mudah ditemui di dataran rendah maupun dataran tinggi. Bila ditanam pada suhu sejuk tumbuhan ini akan cepat berbunga.



**Gambar 2. 7** Tanaman Pakcoy (Kakakid, 2020).

Budidaya tanaman Pakcoy secara hidroponik tidak membutuhkan pengendalian hama dan penyakit, sebab hama dan penyakit yang menyerang tanaman sangat sedikit. Hal ini adalah kelebihan dari tanaman yang dibudidayakan secara hidroponik. Pakcoy siap dipanen pada umur sekitar 20 HST (hari setelah tanam) atau 22-30 HSS (hari setelah semai). Ciri-cirinya yaitu daun sawi dewasa berbentuk oval melebar, tangkai daunnya berwarna hijau cerah, bentuknya relatif pendek, jauh berbeda dengan sawi yang berukuran Panjang (Sutrin, dan Djanu 2019).

#### **2.4 Derajat Keasaman (pH)**

pH adalah nilai derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Konsep pH pertama kali diperkenalkan oleh kimiawan Denmark Sorean Peder Lauritz Sorensen pada tahun 1909. Alat ukur keasaman pada air tersebut digunakan untuk mengukur kandungan pH atau kadar keasaman pada air mulai dari pH 0 sampai pH 14. Dimana pH normal memiliki 6,5 hingga 7,5 sementara bila nilai pH < 6,5 menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa, pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaan tertinggi (Azmi, dan Ishak 2016).

pH sangat berpengaruh terhadap larutan nutrisi tanaman yang ditanam sistem hidroponik. Parameter pH nutrisi hidroponik sangat penting karena akan mempengaruhi ketersediaan dan penyerapan beberapa unsur atom 16 yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Penyerapan maksimum elemen ini ditemukan pada pembacaan pH 7,0. Ketika pH tersebut turun, maka ketersediaan unsur makro berkurang. Jika nilai pH terlalu tinggi, maka dapat menimbulkan pengendapan unsur-unsur hara mikro. Salah satu unsur mikro hara mikro yang tidak dapat diserap secara optimal oleh tanaman adalah klorin (Cl) (Dykka, dan Putra 2018).

**Tabel 2. 1** Nilai pH Larutan Nutrisi pada Hidroponik

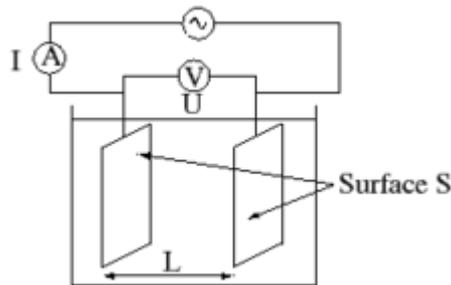
NAMA TANAMAN	pH	EC	PPM
Buncis	6.0	2.0-4.0	1400-2800
Brokoli	6.0-6.5	2.8-3.5	1960-2450
Paprika	6.0-6.5	1.8-2.2	1260-1540
Wortel	6.3	1.6-2.0	1120-1400
Kembang Kol	6.0-7.0	0.5-2.0	1050-1400
Seledri	6.5	1.8- 2.4	1260-1680
Ketimun	5.8-6.0	1.7-2.5	1190-1750
Terong	5.5-6.5	2.5-3.5	1750-2450
Selada	5.5-6.5	0.8-1.2	560-840
Kacang Okran	6.5	2.0-2.4	1400-1680
Bawang Merah	6.0-6.7	1.4-1.8	980-1260
Pakchoy	7.0	1.5-2.0	1050-1400
Lobak	6.0-7.0	1.6-2.2	840-1540
Bayam	5.5-6.6	1.8-2.3	1260-1610
Tomat	5.5-6.5	2.0-5.0	1400-3500
Tunip (Lobak Cina)	6.0-6.5	1.8-2.4	1260-1680
Kangkung	5.5-6.5	2.0-2.1	1050-1400
Zucchini	6.0	1.8-2.4	1260-1680
Melon	5.5-6.0	2.0-2.5	1400-1750
Stroberi	5.5-6.5	1.8-2.2	1260-1540
Semangka	5.8	1.5-2.4	1260-1680
Mint	5.5-6.0	2.0-2.4	1400-1680
Sawi	5.5-6.5	2.0-2.1	1050-1400

Apabila nilai pH terlalu rendah, maka daya larut tersebut akan menurun sehingga daya serap tanaman terhadap unsur tertentu akan berkurang. Sedangkan untuk nilai pH 7 yang merupakan netral, hal ini dikarenakan muatan listrik kation  $H^+$  seimbang dengan muatan negative  $OH^-$ . pH larutan yang direkomendasikan pada tanaman sawi atau Pakcoy pada hidronik adalah 7,0.

## 2.5 Konduktivitas Elektrolit (EC)

Larutan elektrolit akan menghantarkan arus ketika diberi tegangan. Pada bahan, nilai hantaran (konduktansi) ini lebih sering digunakan dalam kebalikannya yaitu sebagai hambatan (resistansi). Konduktivitas elektrolit merepresentasikan kemampuan suatu larutan dalam menghantarkan arus. Sebagai indikator penting dari properti solusi, konduktivitas memiliki jangkauan aplikasi yang lebih luas di banyak bidang, seperti pengujian lingkungan, pengolahan makanan, teknik kimia, mikroelektronika, dan *biopharmaceuticals* (Liao, dan Huang 2019).

Nilai EC dapat diukur menggunakan EC meter yang berfungsi dengan mengukur hambatan antara 2 elektroda. Pada Gambar 2.8, nilai hambatan ( $R$ ) didapat dari menghitung hasil pembagian nilai pembacaan tegangan  $v$  dari voltmeter ( $V$ ) dengan nilai pembacaan kuat arus  $I$  dari Amperemeter ( $A$ ).



**Gambar 2. 8** Contoh rangkaian pengukuran hambatan (Wikipedia, 2020).

Konduktivitas elektrolit kemudian dicari dengan mensubstitusikan rumus hambatan konduktor (2.1) ke persamaan hubungan konduktivitas dengan resistivitas (2.2) sehingga rumus konduktivitas menjadi seperti pada rumus (2.3).  $L$  adalah jarak antara 2 pelat elektroda dan  $S$  adalah luas penampang dari elektroda.

$$R = \frac{L}{S} \rho \quad (2.1)$$

$$k = \frac{1}{\rho} \quad (2.2)$$

$$k = \frac{L}{SR} \quad (2.3)$$

Nilai EC juga dapat dihitung Konduktivitas dari suatu larutan yang mengandung satu jenis elektrolit akan bergantung pada konsentrasi dari elektrolit tersebut saja.

## 2.6 Larutan Nutrisi

Nutrisi *AB mix* merupakan larutan nutrisi yang sangat berpengaruh untuk tanaman hidroponik yang dapat digunakan sebagai suplai hara, baik mikro maupun makro untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimum. Nutrisi hidroponik tersebut terdiri dari 2 larutan yaitu *A mix* yang mengandung unsur

hara makro dan B *mix* yang mengandung unsur hara mikro (Akhmadi, dkk 2016).

Larutan nutrisi untuk sistem hidroponik adalah larutan cair yang mempunyai kandungan ion anorganik esensial dan organik esensial dari garam yang dapat terlarut di dalam air. Tiap element esensial mempunyai peran *physiological* yang jelas dan ketidakhadirannya mencegah daur pertumbuhan tanaman yang sempurna. Pada saat ini, terdapat 17 elemen esensial yang dibutuhkan oleh hampir semua tanaman, yaitu: Karbon (C), Hidrogen (H), Oxygen (O), Nitrogen (N), fosfor (P), Potasium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Sulfur (S), Iron (I), Tembaga (Cu), Seng (Z), Mangan (Mn), Molybdenum, Boron (Br), Chlorine (Cl), dan nikel (Salisbury, dan Ross 1994).

Hampir semua elemen esensial yang dibutuhkan tanaman didapatkan dari media tanam kecuali karbon, dan oksigen. Elemen karbon dan oksigen didapatkan tanaman dari atmosfer melalui aktivitas fotosintesis.

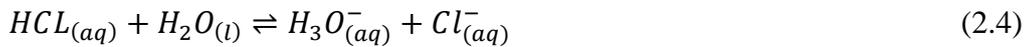
## 2.7 Teori Asam Basa

Ada beberapa ahli yang pernah membuat teori asam basa yaitu A.L. Lavoiser (teori oksigen), Sir H. Davy (teori hidrogen), J. Gay Lussac (teori penetralan), Arrhenius (teori sistem ion air), Bronsted-Lowry (teori sistem donor/akseptor proton), Cady Esley (teori sistem pelarut), Lux-Flood (teori sistem donor/akseptor ion oksida), Lewis (teori sistem donor/akseptor pasangan elektron), dan Usanovich (teori reaksi kation-anion). Sedangkan teori asam-basa yang mendasari dari pengerjaan tugas akhir ini adalah pada teori asam-basa yang dikembangkan oleh Arrhenius (teori sistem ion air), dan Bronsted-Lowry (teori sistem donor/akseptor proton) (Henson, dan Seborg 1992).

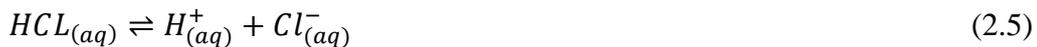
- Teori asam basa menurut Arrhenius

Arrhenius mengatakan bahwa sifat asam dan basa terjadi akibat adanya peristiwa pengionan dalam air pada senyawa-senyawa tertentu yang mengandung ion  $H^+$  atau  $OH^-$ . Jika pada pengionan ini melepaskan ion  $H^+$  maka dikatakan sebagai asam, yaitu pada senyawa-senyawa seperti  $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ,  $H_2CO_3$ ,  $H_3PO_4$ .

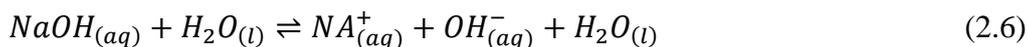
Sebagai contoh adalah pada proses pengionan asam kuat HCl yang dilarutkan ke dalam H<sub>2</sub>O sebagai berikut :



Dapat diketahui bahwa pada reaksi di atas terjadi pelepasan ion H<sup>+</sup> oleh HCl. Yang artinya adalah HCl merupakan senyawa asam karena pada proses pengionan ini HCl melepaskan ion H<sup>+</sup>. Reaksi ini juga dapat dituliskan sebagai berikut :



Kemudian untuk suatu senyawa dikatakan sebagai basa jika pada proses pengionan senyawa tersebut melepaskan ion OH<sup>-</sup>, yaitu pada senyawa-senyawa seperti NaOH, KOH, Ba(OH)<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>. Sebagai contoh adalah pada proses pengionan senyawa basa kuat NaOH yang dilarutkan di dalam air sebagai berikut :



Dapat diketahui bahwa pada reaksi di atas terjadi pelepasan ion OH<sup>-</sup> oleh NaOH. Yang artinya adalah NaOH merupakan senyawa basa karena melepaskan ion OH<sup>-</sup>. Reaksi ini juga dapat dituliskan sebagai berikut :

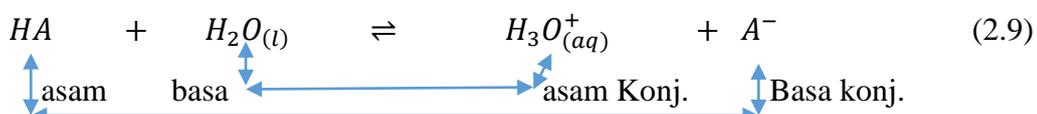


- Teori asam basa menurut Bronsted - Lowry

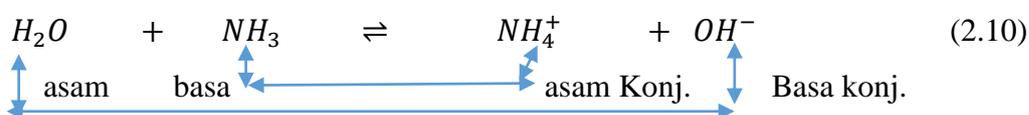
Teori menurut Bronsted Lowry merupakan perluasan teori asam basa oleh Arrhenius. Dalam teori ini pelarut diberikan peranan dalam menentukan sifat asam atau basa suatu zat. Dinyatakan bahwa asam adalah zat yang dapat memberikan proton (donor H<sup>+</sup>) sedangkan proton (akseptor H<sup>+</sup>) didapat dari suatu zat yaitu basa. Bila suatu asam HA dilarutkan oleh air (H<sub>2</sub>O), maka air bertindak sebagai basa karena dapat menerima proton H<sup>+</sup> yang dilepaskan asam HA dan membentuk ion terhidrasi (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>),



Berdasar Bronsted-Lowrey, maka pasangan konjugasi dari persamaan reaksi di atas secara diagramatik ditunjukkan sebagai berikut :



Sedangkan jika suatu basa  $\text{NH}_3$  dilarutkan ke dalam air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), maka air tersebut akan bertindak sebagai asam karena perannya dalam pemberian  $\text{H}^+$  kepada  $\text{NH}_4^+$ .



Dari kedua teori diatas menurut Arrhenius dan Bronsted-Lowry, asam menghasilkan satu ion hidrogen per molekul bila terdisosiasi, asam-asam ini disebut asam berbasa satu (monobasa). Contoh dari asam berbasa satu adalah asam klorida ( $\text{HCl}$ ). Sedang asam berbasa banyak (polibasa) berdisosiasi dalam beberapa tingkat dan menghasilkan lebih dari satu ion hidrogen per molekul. Asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) adalah contoh asam berbasa dua dan berdisosiasi dalam dua tingkat :



Dengan dihasilkannya ion hidrogen sulfat untuk tingkatan pertama dan ion sulfat untuk tingkatan kedua. Sedangkan asam fosfat adalah contoh asam berbasa tiga dan berdisosiasi dalam tiga tingkat :



Dengan dihasilkannya ion *dyhidrogen fosfat* untuk tingkat pertama, ion hidrogen fosfat untuk tingkat kedua dan ion fosfat untuk tingkat ketiga ketiga.

Derajat disosiasi antara satu asam dengan asam lainnya berbeda-beda. Untuk asam kuat akan berdisosiasi hampir sempurna, karena ia merupakan elektrolit kuat. Sedangkan asam lemah berdisosiasi hanya sedikit atau sebagian saja, karena asam lemah merupakan elektrolit lemah. Tetapan kesetimbangan disosiasi  $K$  adalah hasil kali konsentrasi ion hasil penguraian per konsentrasi pembentuknya. Tetapan kesetimbangan  $K$  untuk persamaan (2.16) adalah sama dengan tetapan kesetimbangan untuk asam  $K_a$ . Semakin kuat asam tersebut, semakin banyak berdisosiasi dan semakin besar pula nilai tetapan kesetimbangan disosiasi asam  $K_a$ -nya.

$$K_a = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]} \quad (2.16)$$

Beberapa contoh larutan asam kuat dan asam lemah dapat dilihat pada Tabel 2. 2 berikut :

**Tabel 2. 2** Asam Kuat dan Asam Lemah

Asam Kuat	Asam Lemah
HBr	HCN
HCL	HF
HClO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>
HClO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
HCOOH	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
HI	CH <sub>3</sub> COOH
HNO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S

Basa didefinisikan sebagai zat yang bila dilarutkan dalam air akan mengalami disosiasi dengan membentuk ion hidroksil sebagai satu-satunya ion negatif. Sedangkan contoh larutan basa antara lain NaOH, KOH, NH<sub>3</sub> dan lain sebagainya. NaOH adalah suatu basa karena di dalam air dapat melepas ion hidroksil (OH<sup>-</sup>) menurut reaksi (Yeo, dan Kwon 1999) :



Basa tidak memiliki tingkatan disosiasi seperti tingkatan disosiasi pada asam, hanya hanya dihasilkan satu ion larutan basa hidroksil pada saat terdisosiasi. Basa kuat merupakan elektrolit kuat, sedang basa lemah merupakan elektrolit lemah. Tetapan kesetimbangan untuk reaksi di atas adalah sama dengan tetapan kesetimbangan basa Kb. Dapat dikatakan bahwa, semakin kuat basa tersebut, semakin baik ia berdisosiasi dan semakin besar pula nilai tetapan kesetimbangan disosiasi basa Kb-nya.

$$K_b = \frac{[B^+] \times [OH^-]}{[BOH]} \quad (2.18)$$

Beberapa Contoh larutan basa kuat dan basa lemah dapat dilihat pada Tabel 2. 3 berikut :

**Tabel 2. 3** Basa Kuat dan Basa Lemah

<b>Basa Kuat</b>	<b>Basa Lemah</b>
Ba(OH) <sub>2</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>
Ca(OH) <sub>2</sub>	NH <sub>2</sub> OH
NaOH	NH <sub>3</sub>
KOH	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>

Asam kuat dan basa kuat di dalam larutannya akan mengalami ionisasi sempurna. Jadi harga  $K_a$  dan  $K_b$  menjadi besar dan kesetimbangan bergeser sepenuhnya ke arah hasil ionisasi. Jadi misalnya NaOH dan HCl, maka konsentrasi  $H^+$  dan  $OH^-$  yang terdapat di dalam larutan adalah sama dengan konsentrasi HCl atau NaOH. Sedangkan pada asam lemah dan basa lemah di dalam larutannya tidak mengalami ionisasi sempurna. Sehingga konsentrasi  $H^+$  dan  $OH^-$  yang terdapat larutannya tidak sama dengan konsentrasi asam atau basanya, maka kemudian konsentrasi ion  $H^+$  dan  $OH^-$  dapat ditentukan bila konstanta kesetimbangan atau derajat ionisasinya diketahui. Derajat disosiasi antara satu asam dengan asam lainnya berbeda-beda. Asam kuat berdisosiasi hampir sempurna, karena merupakan elektrolit kuat. Sedangkan asam lemah berdisosiasi hanya sedikit atau sebagian saja, karena asam lemah merupakan elektrolit lemah.

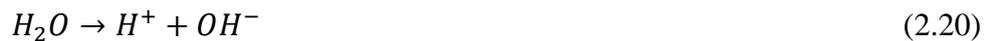
**Tabel 2. 4** Kekuatan Asam Basa Berdasarkan Harga  $K_a$  dan  $K_b$ 

<b>Kesetimbangan Asam (<math>K_a</math>)</b>	<b>Kesetimbangan Basa (<math>K_b</math>)</b>
Semakin besar $K_a$ berarti kesetimbangan bergeser ke arah kanan, sehingga hasil ionisasinya besar (asam kuat)	Semakin besar $K_b$ berarti kesetimbangan bergeser ke arah kanan, sehingga hasil ionisasinya besar (basa kuat)
Semakin kecil $K_a$ berarti kesetimbangan bergeser ke arah kiri, sehingga hasil ionisasinya kecil (asam lemah)	Semakin kecil $K_b$ berarti kesetimbangan bergeser ke arah kiri, sehingga hasil ionisasinya kecil (basa lemah)

Jika asam dan basa direaksikan akan terjadi zat yang dihasilkan bersifat garam. Garam merupakan zat hasil reaksi netralisasi yang ekuivalen dan tidak mempunyai ciri-ciri seperti asam maupun basa.



Air (H<sub>2</sub>O) adalah larutan yang bersifat netral, yakni berada diantara sifat asam dan sifat basa. Reaksi kesetimbangan disosiasi air adalah :



Air memiliki nilai tetapan kesetimbangan yang kecil, yakni sekitar  $1,86 \times 10^{-16}$  pada 25°C. Hal ini menunjukkan bahwa derajat disosiasi air boleh diabaikan dan dalam dapat dianggap tak terdisosiasi. Jadi konsentrasi air dapat dianggap konstan.

$$K_w = [H^+] \times [OH^-] = 10^{-14} \quad (2.21)$$

Pada dasarnya skala atau tingkat keasaman suatu larutan bergantung pada konsentrasi ion H<sup>+</sup> dalam larutan. Makin besar konsentrasi ion H<sup>+</sup> makin asam larutan tersebut. Umumnya konsentrasi ion H<sup>+</sup> sangat kecil, sehingga untuk menyederhanakan penulisan, seorang kimiawan dari Denmark bernama Sorrensen mengusulkan konsep pH untuk menyatakan konsentrasi ion H<sup>+</sup>. Nilai pH sama dengan negatif logaritma konsentrasi ion H<sup>+</sup> dan secara matematika diungkapkan dengan persamaan:

$$pH = -\log[H^+] \text{ dan } pOH = -\log[OH^-] \quad (2.22)$$

Larutan asam dan basa mempunyai pH lebih kecil dari tujuh dan lebih besar dari tujuh. Dan larutan netral yaitu tujuh, dengan  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ .

## 2.8 Reaksi *Invariant*

Secara garis besar model pH dibagi menjadi dua yaitu, model dinamik dan statik (dapat dianalogikan dengan teoritis dan eksperimen). Beberapa literatur mengenai model wiener. Terdapat dua peneliti utama sebagai rujukan dari model ini yaitu pendekatan fisika-kimia yang diperkenalkan oleh Mc. Avoy dan reaksi *invariant* yang di formulasikan oleh Gustafsson and Waller untuk pendekatan fisika-kimia tersebut. Terminologi “*reaction invariant*” atau raksi *invariant* pertama kali diperkenalkan oleh Fjeld, tetapi formulasinya untuk proses pH

diperkenalkan oleh Gustafsson and Waller sebagai sebuah formulasi matrik dari pemodelan fisikakimia (*physico-chemical*). Stokiometri dari reaksi kimia dan kesetimbangan muatan digunakan secara bersamaan untuk membentuk persamaan reaksi *invariant* secara aljabar sederhana. Keseimbangan kimia dimodelkan dengan menggunakan konsep dari reaksi *invariant* (Gustafsson, dan Waller 1995). Pada sistem ini, dua reaksi *invariant* yang melibatkan semua aliran *input* yang didapat dari persamaan (Zuhar, dan Cordova 2019) :

$$M_{ai} = [H^+] - [OH^-] - [HCO_3^-] - 2[CO_3^{2-}] \quad (2.23)$$

$$M_{bi} = [H_2CO_3]i + [HCO_3^-]i + [CO_3^{2-}]i \quad (2.24)$$

Dimana  $i = 1 - 3$  adalah jumlah *input output* yang terdapat pada *plant*. Dengan  $M_a$  adalah istilah *invariant* untuk jumlah *chargerelated* dan  $M_b$  adalah konsentrasi dari ion karbonat. *Invariant* ini tidak terikat (bebas) pada tingkat reaksi. Suatu hubungan antara konsentrasi ion hidrogen dengan reaksi *invariant* dapat ditulis dengan persamaan :

$$M_{bi} \frac{\frac{K_{a1} + 2K_{a1} \cdot K_{a2}}{[H^+] + [H^+]^2}}{1 + \frac{K_{a1}}{[H^+] + \frac{K_{a1} \cdot K_{a2}}{[H^+]^2}}} + M_{ai} + \frac{K_w}{[H^+]} - [H^+] = 0 \quad (2.25)$$

Sebenarnya, nilai pH tidak dapat didefinisikan sebagai konsentrasi ion hidrogen tetapi sebagai aktivitas ion. Namun, hal ini dapat diasumsikan bahwa aktivitas ion adalah sama dengan konsentrasi ion pada larutan yang tidak terbatas (terus mengalir). Sehingga, nilai pH dapat ditentukan menggunakan persamaan di atas dan *negative* logaritma dari konsentrasi ion hidrogen jika  $M_{ai}$  dan  $M_{bi}$  diketahui.

$$pH = -\log[H^+] \quad (2.26)$$

Kemudian, model dinamik proses penetralan pH dapat diturunkan dari komponen *material balance* untuk reaksi *invariant*, sebagai berikut :

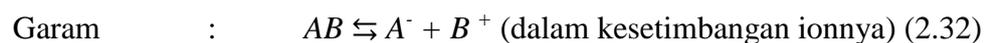
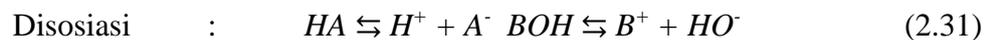
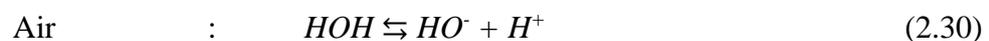
$$V \frac{dM_{a4}}{dt} = f_1(M_{a1} - M_{a4}) - f_2(M_{a2} - M_{a4}) - f_3(M_{a3} - M_{a4}) \quad (2.27)$$

$$V \frac{dM_{b4}}{dt} = f_1(M_{b1} - M_{b4}) - f_2(M_{b2} - M_{b4}) - f_3(M_{b3} - M_{b4}) \quad (2.28)$$

Pada model di atas, dijelaskan bahwa dapat diasumsikan semua *flow rate* yang berasal dari aliran *input* dan konsentrasi basa diketahui karena aliran *input* dikendalikan oleh pompa dan aliran titrasi disediakan seperlunya.

## 2.9 Perhitungan Analitik pH

Metode analitik digunakan untuk menentukan kualitas dan kuantitas ion dalam suatu larutan yang diperlukan untuk mempermudah persoalan otomasi. Fokus beberapa peneliti saat ini adalah melakukan pemodelan secara numerik untuk titrasi asam-basa. Proses titrasi sendiri dapat ditinjau melalui pengukuran beberapa properti larutan yaitu, masa, intensitas arus, regangan, volume atau sifat-sifat yang sedikit kompleks seperti daya serap dan panas reaksi. Cara termudah untuk menyelesaikan metode kuantitatif secara analitik dari larutan asam adalah mengetahui penetralan. Proses analisisnya dengan menentukan harga pH terhadap penambahan larutan titrasinya. Biasanya asam dan basa kuat digunakan (ditambahkan) dalam proses penetralan, akan tetapi hampir sebagian besar dari operasi biokimia menggunakan asam dan basa lemah. Penggunaan reaksi *invariant* diperlukan untuk menghitung nilai pH atau mencari model prosesnya terhadap penambahan pelarut (titrasi) yang terlibat dalam reaksi. Misalkan diulangi lagi sebuah titrasi asam (HA) oleh basa lemah (BOH) dinyatakan dengan beberapa persamaan reaksi (Sutrino, dan Djanu 2019) :



Titrasi dimulai dengan menambahkan sejumlah basa ke dalam larutan asam. Larutan yang terjadi adalah  $H^+$ ,  $HO^-$ , HA and A. Dari disosiasi larutan asam persamaan di atas, maka dihasilkan :

$$[H^+]. [A^-] = K_a . [HA] \quad [H^+]. [HO^-] = K_w \quad (2.33)$$

Dengan [.] adalah operator konsentrasi molar. Jika diaplikasikan kesetimbangan masa untuk asam dan garam pada reaksi di atas maka dihasilkan :

$$Ca = [HA] + [H^+] - [HO^-] \quad Cs = [A^-] - [H^+] + [HO^-] \quad (2.34)$$

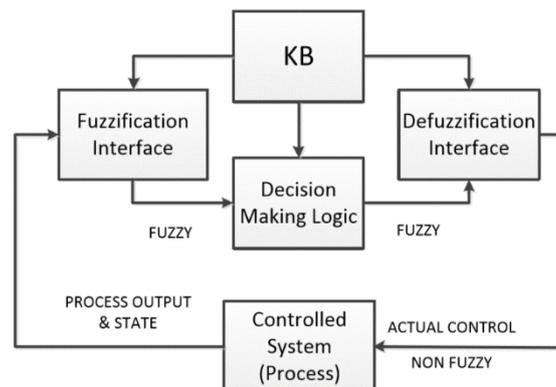
Dengan  $C_a$ ,  $C_s$  adalah konsentrasi asam dan garam secara analitik pH, kemudian substitusi persamaan (2.33) ke (2.34) akan diperoleh persamaan polinomial orde 3 dalam  $H^+$  ( $= x$ ),

$$x^3 + (K_a + C_s) * x^2 - (K_w + C(H^+) * K_a) * x - K_w * K_a = 0 \quad (2.35)$$

Dengan  $x = [H^+]$ .

## 2.10 Fuzzy Logic Controller

*Fuzzy logic controller* (FLC) merupakan metode pengontrol menggunakan prinsip pengambilan keputusan menggunakan logika *fuzzy* (*fuzzy inference system*). Metode ini telah banyak diterapkan diberbagai bidang karena kemudahan implementasinya, seperti pada bidang robotika contohnya pada (Pambudi, dkk 2011, Yulianto, dkk 2012), atau pengaturan sistem tenaga listrik (Cahayahati, dkk 2013, Pamuji, dkk 2015,). Sedangkan dalam bidang pertanian khususnya pada sistem hidroponik dapat ditemukan pada (Suprijadi, dkk 2009, Hariyadi, dkk 2010, Ibrahim, dkk 2015). Pada logika *fuzzy* yang dikenalkan oleh Lotfi Zadeh, berbeda dengan logika biasa atau tradisional dimana logika *fuzzy* dasarnya adalah kekaburan dan ketidakpastian. Logika *fuzzy* merupakan cara untuk memetakan ruang masukan kedalam ruang keluaran. Karakteristik lain yang ada pada logika *fuzzy* adalah dapat dibangun berdasarkan pengalaman ahli, dengan kata lain logika *fuzzy* dapat memformulasikan pengetahuan seorang ahli (Naeeni, 2004).



**Gambar 2. 9** Konfigurasi dasar *fuzzy logic controller* (FLC)

Gambar 2.9 merupakan konfigurasi dasar sebuah sistem FLC yang terdiri dari empat komponen utama, yaitu: fuzzifikasi, Basis pengetahuan/*knowledge base*

(KB), logika pengambil keputusan (*decision making logic*), dan defuzzifikasi (Lee, dan Chuen Chien 1990).

- Fuzzifikasi

Fuzzifikasi melibatkan fungsi fungsi berikut yaitu mengukur nilai variabel masukan, melakukan pemetaan skala yang memetakan rentang nilai masukan ke dalam semesta pembicaraan yang bersesuaian, melakukan fungsi fuzzifikasi yang mengkonversikan data masukan kedalam nilai linguistik yang sesuai yang bisa dipandang sebagai label dari himpunan *fuzzy*.

- Basis pengetahuan

Basis pengetahuan (*knowledge base*) terdiri dari pengetahuan tentang domain aplikasi dan kumpulan tujuan dari pengontrolan. Disinilah perilaku dari kontroler dirumuskan agar tujuan pengontrolan bisa dicapai.

- Logika pengambil keputusan

Bagian ini memiliki kemampuan untuk mensimulasikan model pengambilan keputusan manusia berdasarkan konsep *fuzzy* dan mengambil keputusan aksi kontrol *fuzzy* dengan menerapkan implikasi *fuzzy* dan penalaran basis aturan dalam logika *fuzzy*.

- Defuzzifikasi

Defuzzifikasi melakukan pemetaan dari rentang nilai keluaran ke dalam semesta pembicaraan yang bersesuaian, dan proses ini menghasilkan nilai aksi kontrol non-*fuzzy*. Pada penelitian ini proses defuzzifikasi menggunakan metode COA (*center of area*) yang dirumuskan seperti pada persamaan berikut (Pambudi, dan Setyo 2011) :

$$Z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(\omega_j) \cdot \omega_j}{\sum_{j=1}^n \mu(\omega_j)} \quad (2.36)$$

## 2.11 Teori Himpunan *Fuzzy*

Teori himpunan fuzzy didasarkan pada logika *fuzzy* yaitu gerbang logika *fuzzy*. Didapat tingkat kebenaran pada teori himpunan *fuzzy* adalah nilai logika antara 0 dan 1. Misalkan V adalah kumpulan objek yang dinyatakan dengan {v}, yang dapat bernilai kontinyu atau diskrit. V disebut sebagai semesta pembicaraan, dan v mewakili elemen elemen yang terdapat pada V. Suatu himpunan *fuzzy* A

dalam semesta pembicaraan  $V$  dapat dinyatakan dengan fungsi keanggotaan  $\mu_A$  (*membership of function*) yang mewakili nilai dalam *interval* nilai logika  $[0,1]$  untuk setiap  $v$  dalam  $V$  yang dinyatakan dengan (Rahmat, dan Nugroho 2019) :

$$\mu_A = V = [0,1] \quad (2.37)$$

Dalam himpunan semesta  $V$ , himpunan *fuzzy*  $A$  bisa dinyatakan sebagai pasangan antara elemen  $v$  dan tingkat fungsi keanggotaan, yaitu :

$$A = \left\{ \frac{v, \mu_A(v)}{v} \in V \right\} \quad (2.38)$$

Semua elemen  $v$  dalam  $V$  yang memberikan nilai  $\mu_A > 0$  disebut sebagai penyokong (*support*) dari nilai himpunan *fuzzy* yang bersangkutan, jika nilai  $\mu_A = 0.5$  maka  $v$  disebut sebagai titik silang (*crossover*) dan himpunan *fuzzy* dimana penyokongnya bernilai 1.0 disebut sebagai *fuzzy* tunggal (*singleton*). Dalam operasi himpunan *fuzzy* terdapat dua himpunan *fuzzy* di dalam himpunan semesta yang memiliki fungsi keanggotaan masing- masing yang dapat dilakukan beberapa operasi yang digunakan dalam himpunan *fuzzy* (Rahmat, dan Nugroho 2019) :

1. Komplemen dari  $A$  ( $A^c$ ), dimana

$$\mu_{A^c}(v) = 1 - \mu_A(v) \quad (2.39)$$

2. Irisan dari  $A$  dan  $B$  ( $A \cap B$ ), dimana

$$\mu(A \cap B) = \min(\mu_A(v), \mu_B(v)) \quad (2.40)$$

3. Gabungan dari  $A$  dan  $B$  ( $A \cup B$ ) dimana

$$\mu(A \cup B) = \max(\mu_A(v), \mu_B(v)) \quad (2.41)$$

## 2.12 Teori Keanggotaan *Fuzzy*

Fungsi keanggotaan menyatakan suatu himpunan dalam semesta pembicaraan yang mewakili *interval* nilai logika  $[0,1]$  untuk setiap kumpulan objek dalam semesta.

Fungsi keanggotaan *fuzzy* yang sering digunakan adalah sebagai berikut (Widyantara, 2001, Rahmat, dan Nugroho 2019) :

a) Fungsi keanggotaan segitiga

Fungsi keanggotaan segitiga mempunyai parameter a,b,c dengan formulasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{segitiga} (x; a, b, c) &= \max \left[ \min \left( \frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right] = \\ &\begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \end{aligned} \quad (2.42)$$

b) Fungsi keanggotaan trapesium

Fungsi keanggotaan trapesium mempunyai parameter a,b,c,d dengan formulasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{trapesium} (x; a, b, c, d) &= \max \left[ \min \left( \min \left( \frac{x-a}{b-a}, 1 \right), \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right] \\ &\begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \end{aligned} \quad (2.43)$$

c) Fungsi keanggotaan gaussian

Fungsi gaussian mempunyai parameter  $\sigma, c$  dengan formulasi sebagai berikut :

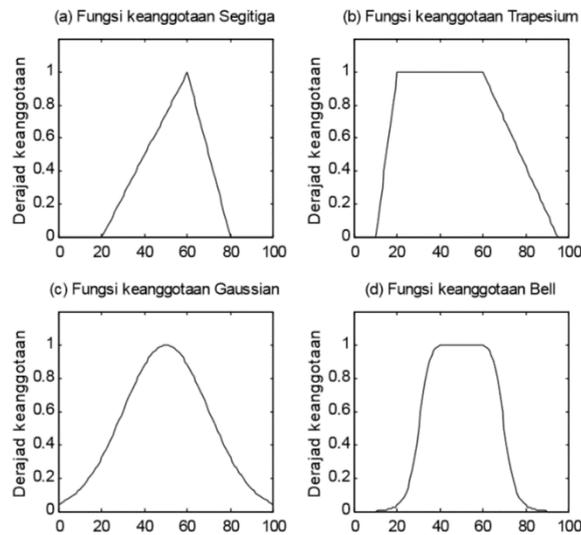
$$\text{Gaussian} (x; \sigma; c) = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-c}{\sigma} \right)^2} \quad (2.44)$$

d) Fungsi keanggotaan bell

Fungsi keanggotaan bell mempunyai parameter a,b,c dengan formulasi sebagai berikut :

$$\text{Bell} (x; a; b; c) = \frac{1}{\left( 1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b} \right)} \quad (2.45)$$

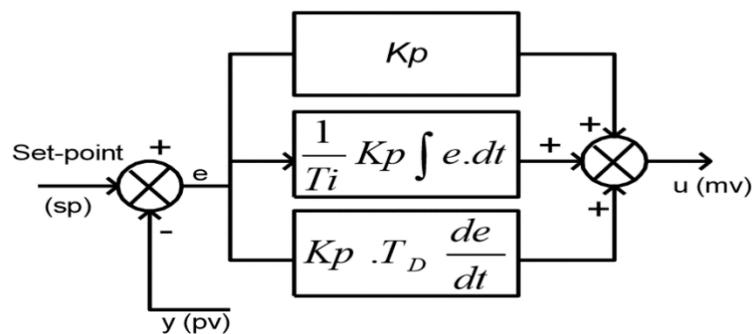
Dengan nilai  $b$  adalah positif. Jika  $b$  bernilai negatif maka akan menjadi fungsi keanggotaan bell terbalik. Contoh grafik dari fungsi keanggotaan dari empat fungsi diatas adalah sebagai berikut :



**Gambar 2. 10** Jenis fungsi keanggotaan *fuzzy*

### 2.13 Pengendali PID

Pengendali PID merupakan kontroler yang banyak digunakan dalam industri (Ogata, 2010). Aksi kontrol PID ini bertujuan untuk menggabungkan kelebihan kelebihan komponen dasar kontrol PID dimana kontrol proporsional berfungsi untuk mempercepat respon, kontrol integral berfungsi untuk menghilangkan *error steady*, dan kontrol *derivative* berfungsi untuk memperbaiki sekaligus mempercepat respon transien (Setiawan, 2008).



**Gambar 2. 11** Sistem pengendali PID

Pengendali PID akan secara otomatis menyesuaikan keluaran kendali berdasarkan perbedaan antara *setpoint* (SP) dan variabel proses yang terukur (PV), sebagai *error* pengendalian  $e(t)$  (Rahmat, dan Nugroho 2019).

## 2.14 Pengendali *Fuzzy* PID

Proses untuk menentukan nilai  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  pada pengendali PID dapat diatur secara manual ataupun secara otomatis yaitu dengan menggunakan algoritma sistem cerdas, salah satu algoritma sistem cerdas yang mudah digunakan adalah sistem *fuzzy*. Nilai  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  ditentukan dengan proses pada pengendali PID menggunakan sistem *fuzzy* membutuhkan penyesuaian berdasarkan pembacaan *error*  $e(t)$  dan *delta\_error*  $\Delta e(t)$ . Pembacaan *error* dan *delta\_error* digunakan sebagai masukan untuk menentukan perubahan nilai dari  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ . Jika *error* terkonvergen ke arah nol, maka nilai  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  dapat dipertahankan. Tetapi jika *error* masih jauh dari konvergen ke arah nol, maka proses penentuan mengikuti aturan (*base*) yang telah dibuat (Rahmat, dan Nugroho 2019).

Proses penalaan nilai  $K_p, T_i, T_d$  pada pengendali PID menggunakan sistem *fuzzy* membutuhkan mekanisme penyesuaian nilai  $K_p, T_i,$  dan  $T_d$ , berdasarkan pembacaan *error*  $e(t)$  dan *delta\_error*  $\Delta e(t)$ . Pembacaan *error* dan *delta error* digunakan untuk memutuskan apakah perlu dilakukan perubahan nilai  $K_p, T_i,$  dan  $T_d$  atau tidak. Jika *error* sudah konvergen ke arah nol, maka nilai  $K_p, T_i,$  dan  $T_d$  yang sudah ada dipertahankan. Namun jika masih jauh dari konvergen ke arah nol maka perlu dilakukan proses penalaan mengikuti aturan (*rule*) yang sudah dibuat (Rahmat, dan Nugroho 2019).

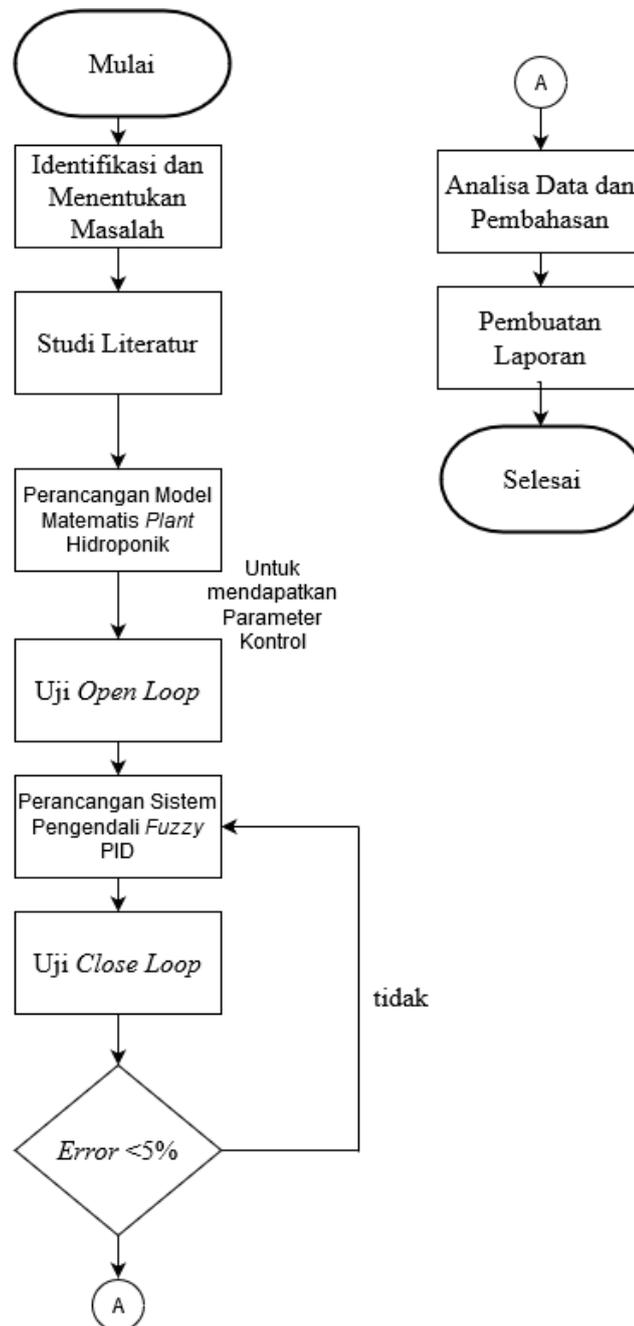
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan adalah dalam bentuk diagram alir (*flowchart*), yaitu sebagai berikut :



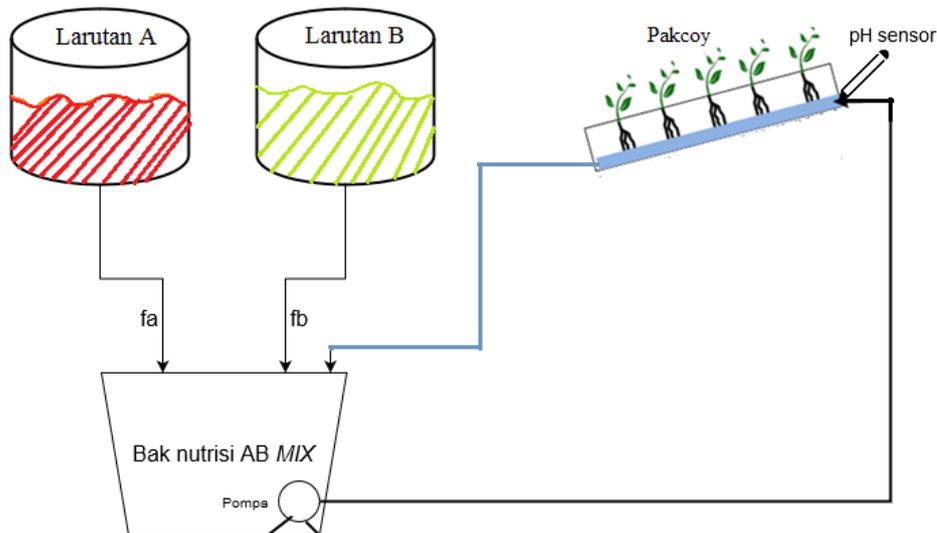
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

### 3.2 Identifikasi dan Menentukan Masalah

Pada tahap ini dilakukan analisis masalah yang sering dihadapi pada bidang pertanian, khususnya lahan yang sempit. Masalah disini adalah sedikitnya lahan pertanian. Lahan yang sempit sangat sering terjadi karena banyak gedung gedung tinggi dan sedikitnya tanah yang luas. Hidroponik menjadi objek penting dalam bidang pertanian karena merupakan alternatif tanah yang sempit yaitu dengan mengefisiensikan tanah disekitar dengan cara *nutrient film technique* (NFT) yang berguna untuk bercocok tanam tanpa menggunakan tanah yang luas dan tanaman yang digunakan disini adalah Pakcoy.

### 3.3 Studi Literatur

Studi literatur yaitu untuk melakukan pencarian referensi dan literatur baik jurnal maupun *handbook* yang bertujuan untuk meningkatkan pemahaman tentang latar belakang ilmu yang digunakan dan berkaitan dengan penelitian ini seperti hidroponik jenis *nutrient film technique* (NFT), EC dan pH yang mempengaruhi tumbuh kembang tanaman hidroponik, serta *fuzzy* PID kontroler sebagai fungsi utama pengontrol pH yang digunakan dalam penelitian ini. Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan model *plant* seperti Gambar 3.2 berikut ini :



**Gambar 3. 2** Skema *plant* hidroponik NFT

Pada skema *plant* hidroponik tersebut terdapat dua larutan yang dikendalikan yaitu larutan A yang berisi  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  untuk membuat larutan pH yang bernilai dibawah 7 atau asam dan larutan B yang berisi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  untuk membuat

larutan titrasi dengan larutan A agar menjadi larutan AB *mix* dan larutan B yaitu bersifat basa. *Valve* yang digunakan yaitu untuk mengatur pH agar stabil seperti yang dilansir dari bab 2 bahwa tanaman Pakcoy membutuhkan pH 6.5-7. Terdapat sensor yang digunakan untuk mengetahui pH dari proses statik dari kedua larutan, kemudian pH akan dimasukkan ke jaringan syaraf tiruan untuk mendapatkan *electrical conductivity*(EC).

### 3.4 Penurunan *Plant* Hidroponik

Dengan menggunakan larutan  $KH_2PO_4$  dan  $NH_4NO_3$  dengan data sebelumnya pemodelan menggunakan model dinamik untuk mencari  $M_a, M_b$ , dan sedangkan pada model statik untuk mencari  $H^+$  yang berguna untuk mendapatkan pH. Untuk lebih detilnya di dalam (Zuhar, dan Cordova 2019).

Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan model matematis pada *gain valve* sebagai berikut :

$$Gain\ valve\ dari\ perbandingan\ flow\ max/mA = \frac{14}{20-4} = 0.875 \quad (3.1),$$

#### 3.4.1 Pemodelan Dinamik dengan Reaksi *Invariant*

Pada *plant*, aliran *flow* yang terjadi adalah 2 aliran *input* yaitu aliran  $f_a$  yang mengandung larutan *potassium dihydrogen phosphate* ( $KH_2PO_4$ ) dan aliran  $f_b$  yang mengandung *ammonium nitrate* ( $NH_4NO_3$ ) serta 1 aliran *output* produk.

Pada bab 2 diterangkan untuk mendapatkan model proses pencampuran basa dalam penelitian ini, digunakan skema model wiener (hammerstein) yang diterjemahkan oleh Gustafsson dan Mc. Avoy menjadi reaksi *invariant*. Reaksi ini penggabungan dari persamaan dinamika kesetimbangan massa, muatan (elektronetralitas) dan aljabar linier (polinomial dalam  $H_3O^+$ ). Pemodelan reaksi kimia dilakukan dengan konsep dari reaksi *invariant* (Gustafsson, dan Waller 1995) sehingga melibatkan semua aliran *input* ( $i=2$ ) maka didapat sebagai berikut :

$$M_{ai} = [H_3O^+]_i - [OH^-]_i - [H_2PO_4^-]_i - 2[HPO_4^{2-}]_i \quad (3.2)$$

$$M_{bi} = [HPO_4^{2-}]_i + [H_2PO_4^-]_i - [H_3PO_4]_i \quad (3.3)$$

Dengan keterangan :

- $M_a$  : jumlah konsentrasi relasi ion hidrogen (Molar)
- $M_b$  : jumlah konsentrasi ion *phosphate* (Molar)
- $a$  : relasi ion hidrogen pada reaksi *invariant*

- b : relasi ion *phosphate* pada reaksi *invariant*  
 1 : aliran buffer (*potassium phosphate*)  
 2 besar : konstanta  
 2 kecil : aliran asam (*ammonium nitrate*)  
 3 : aliran *output*

Dengan nilai-nilai di atas diperoleh harga persamaan reaksi *invariant* untuk *input*  $H_2PO_4$  adalah sebagai berikut :

$$M_{a1} = [H_3O^+] - [OH^-] - [H_2PO_4^-] - 2[HPO_4^{2-}] = -0.00997515 \text{ Molar} \quad (3.4)$$

$$M_{b1} = [HPO_4^{2-}] + [H_2PO_4^-] + [H_3PO_4] = 0.010025225 \text{ Molar} \quad (3.5)$$

Sedangkan persamaan reaksi *invariant* untuk *input*  $NH_4(l)$  adalah sebagai berikut :

$$M_{a2} = [H_3O^+] - [OH^-] - [H_2PO_4^-] - 2[HPO_4^{2-}] = -0.000079 \text{ Molar} \quad (3.6)$$

$$M_{b2} = [HPO_4^{2-}] + [H_2PO_4^-] + [H_3PO_4] = 0 \text{ Molar} \quad (3.7)$$

Pemodelan sistem reaksi *invariant* dapat digunakan untuk memodelkan proses dinamik. Seperti yang diketahui bahwa reaksi pada proses pencampuran asam-basa merupakan proses dengan model non-linear. Untuk proses pencampuran pada *plant*, merupakan proses yang dinamik dan non-linear, dengan melibatkan laju aliran *input* dan *output*. Untuk bisa memodelkan proses dinamik tersebut, maka reaksi *invariant* dikombinasikan dengan persamaan *mass/material balance*, sebagai berikut :

$$V \frac{dMa}{dt} = fa(Ma_1 - Ma) + fb(Ma_2 - Ma) - (fa + fb)Ma \quad (3.8)$$

$$V \frac{dMb}{dt} = fa(Mb_1 - Mb) + fb(Mb_2 - Mb) - (fa + fb)Mb \quad (3.9)$$

Dengan keterangan :

- V : volume tangki (L)  
 fa : aliran asam fosfat (L/s)  
 fb : aliran ammonia (L/s)

Dengan memasukkan nilai-nilai persamaan reaksi *invariant* di atas, maka dapat diperoleh bentuk harga persamaan model matematis dinamik sebagai berikut:

$$6 \frac{dMa}{dt} = fa(-0.00997515 - Ma) + fb(0.000079 - Ma) - (fa + fb)Ma \quad (3.10)$$

$$6 \frac{dMb}{dt} = fa(-0.010025225 - Mb) + fb(0 - Mb) - (fa + fb)Mb \quad (3.11)$$

Nilai Ma dan Mb dari persamaan-persamaan *mass balance* di atas, merupakan nilai konsentrasi asam (za) dan konsentrasi basa (zb) pada saat proses

berlangsung yang digunakan untuk mencari harga pH melalui persamaan model statik, sedangkan untuk pemodelan statik berdasarkan (Zuhar, dan Cordova 2019) sebagai berikut :

### 3.4.2 Pemodelan Statik

Setelah dilakukan pemodelan secara dinamik, dilakukan juga pemodelan statik. Dengan melihat persamaan reaksi kimia, ketetapan disosiasi, dan reaksi *invariant*, maka dapat diketahui hubungan konsentrasi ion hidrogen  $[H^+]$  dari persamaan (3.2) dan (3.3) pada sebelumnya. Jika :  $Ma_i = z_1, Mb_i = z_2$ .

Maka bisa didapatkan persamaan reaksi *invariant* dari persamaan (3.8) dan (3.9) menjadi :

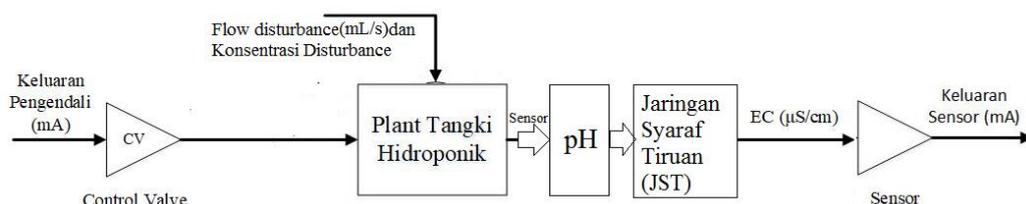
$$0 = -[H_3O^+]^4 10^{-11,8} + [H_3O^+]^3 (z_1 \cdot 10^{-11,8} - 10^{-14}) + [H_3O^+]^2 (z_1 \cdot 10^{-14} + z_2 10^{-14} - 10^{-7,2} \cdot 10^{-14}) + [H_3O^+] (z_1 \cdot 10^{-7,2} \cdot 10^{-14} + (10^{-14})^2) + 10^{-7,2} \cdot (10^{-14})^2 \quad (3.12)$$

Nilai  $z_1$  dan  $z_2$  diperoleh dari penyelesaian persamaan reaksi *invariant* diatas. Konsentrasi ion hidrogen  $[H^+]$  dari penyelesain persamaan (3.9) dan (3.10) dapat digunakan untuk mengetahui proses statik dari *plant*. Proses statik *plant* didefinisikan sebagai :

$$pH = -\log[H^+] \quad (3.13)$$

### 3.5 Uji Open Loop

Simulasi *open loop* dilakukan untuk melihat respon sistem ketika tanpa kendali logika *fuzzy* PID. Uji *open loop* dilakukan juga untuk melihat respon transien dari *plant* yang akan diuji. Dimana pada simulasi ini mendapat *input* berupa nilai *flow* nutrisi hidroponik yang akan masuk kedalam pemodelan *plant* yang selanjutnya akan dikalkulasi dan didapat nilai *output* berupa EC. Berikut blok diagram *open loop* pada matlab simulink pada Gambar 3.3 berikut ini :

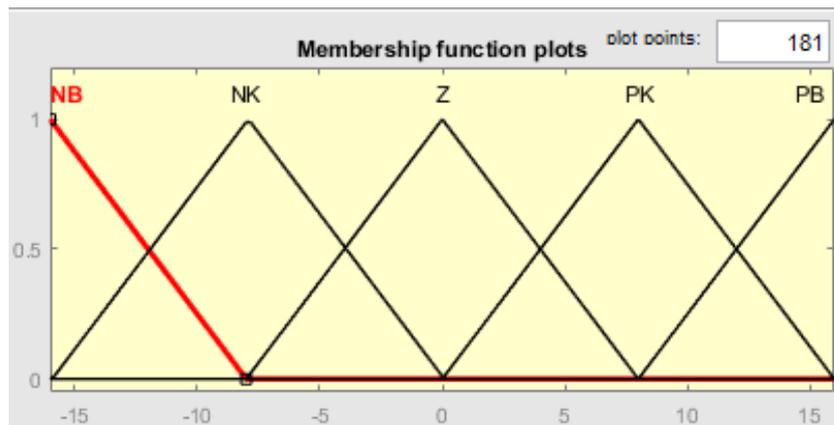


Gambar 3. 3 Blok diagram *open loop*

### 3.6 Perancangan Sistem Pengendali Fuzzy PID

Untuk mendapatkan respon pengendalian yang stabil dan optimal maka dibutuhkan penentuan parameter tuning PID berupa  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dengan menggunakan metode *trial and error* sebagai keluaran dari sistem *fuzzy*.  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $k_d$  didapat *tuning manual* sebesar 0,1 ,0.01 dan 0. Logika *fuzzy* berfungsi untuk menentukan nilai pengendali PID atau biasa yang disebut *fuzzy PID*. *Input* yang diberikan berupa *error* dan *delta error*. Dalam tugas akhir ini hanya menggunakan 1 *input* berupa *error* sebagai masukan dan nantinya nilai  $K_p$  akan menjadi hasil keluaran dari proses sistem *fuzzy* ini dikarenakan dalam kontrol PID,  $K_p$  akan sebanding dengan besaran *error* sehingga besaran keluaran  $K_p$  dapat diatur dengan menggunakan *membership function* dengan *rule base* yang dibuat.

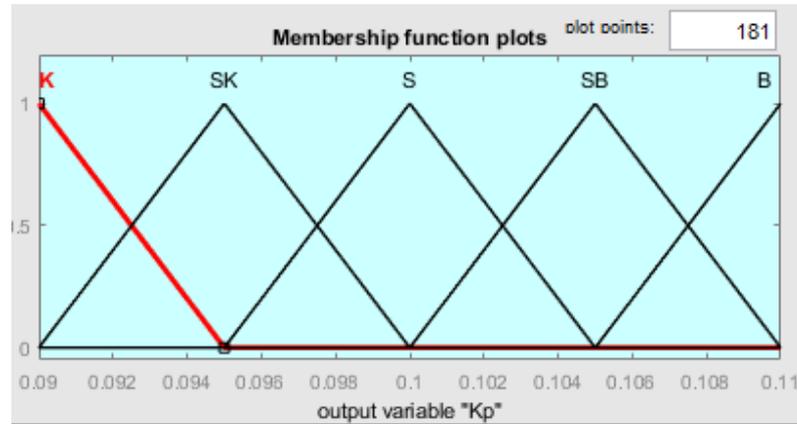
Berikut merupakan desain logika *fuzzy* untuk sistem pengendali yang digunakan dengan *error range* -16 sampai 16,dan dengan lima *input variable error*.



Gambar 3. 4 *Input variable error (lima rules)*

Pada bagian keluaran berupa parameter  $K_p$ , dimana merupakan tahapan selanjutnya berupa pemetaan nilai *crisp* keluaran. Data pada proses pengendalian berbentuk *crisp* dengan mengalami proses fuzzifikasi sehingga nantinya nilai *crisp* akan dipetakan ke dalam nilai *fuzzy* yang bersesuaian dengan rentang Kerja setiap variabel masukan. Rentang yang digunakan dalam membership ini memiliki nilai dari 0,09 sampai dengan 0,11. Dalam perancangan logika *fuzzy* terdapat sebuah *rule base* sebagai aturan untuk menghubungkan antara masukan dan keluaran. Dimana nantinya dalam *rule base* ini yang akan memproses data masukan dari *fuzzy* yang berupa *error* untuk menentukan keluaran dari sistem *fuzzy* yang berupa nilai  $K_p$ .

Didapat *Membership Function pada fuzzy* pada Gambar 3.5 berikut ini :



**Gambar 3. 5** *Membership function Kp*

Dalam *rule base fuzzy* digunakan untuk membuat sebuah aturan antara masukan dengan keluaran. Parameter yang digunakan dalam *rule base* ini yaitu NB= Negatif Besar, NK= Negatif Kecil, Z = Zero, PK = Positif Kecil, PB = Positif Besar, K= Kecil, SK = Sedikit Kecil, S = Steady, SB = Sedikit Besar, B = Besar. Didapat di dalam *rule base fuzzy* untuk *error* yaitu terdiri dari NB, NK, Z, PK, PB dan di dalam *rule base* di dalam KP yaitu B, SB, S, SK, dan K.

Dari *rule base* ini kemudian dimasukkan pada sistem *rule base fuzzy* pada Matlab sebagai aturan dalam penentuan nilai parameter PID dengan desain basis aturan logika *fuzzy* pada *FIS editor* sesuai dengan parameter yang berhubungan antara masukan dan keluaran *fuzzy*. Didapat *rule base* di dalam *fuzzy* yaitu pertama berisi pernyataan *if error is NB then Kp is K (1)*, kedua berisi *if error is NK then Kp is SK (1)*, ketiga berisi *if error is Z then Kp is S (1)*, keempat berisi *if error is PK then Kp is SB (1)*, kelima berisi *if error is PB then Kp is B (1)*.

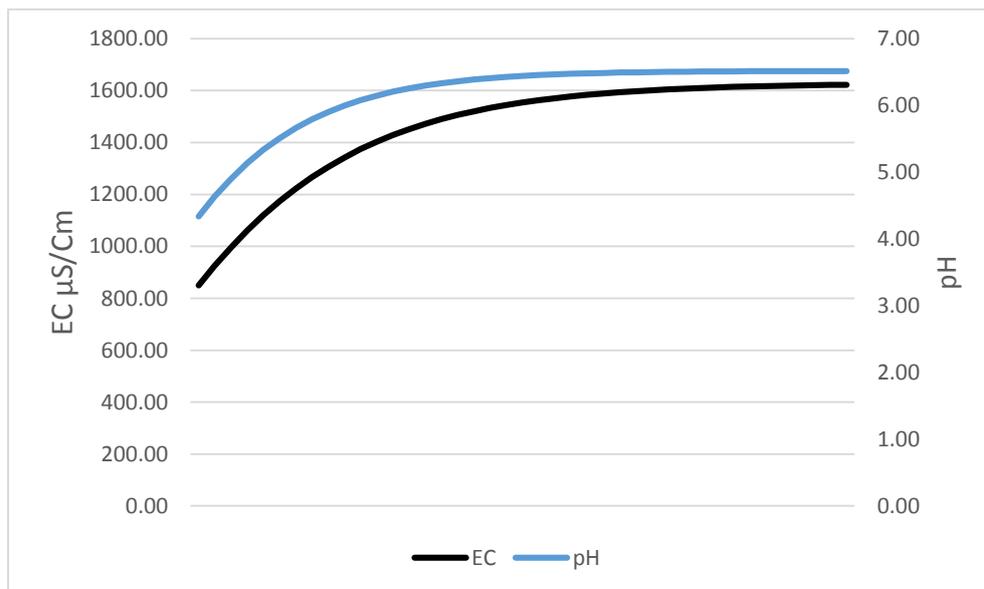
### 3.7 Pemodelan EC Berbasis pH Menggunakan Jaringan Sistem Tiruan

Model EC dalam tugas akhir ini didapatkan dengan mengkorelasikan terhadap data pH yang telah dilakukan (Gama, dan Cordova 2018) menggunakan metode Jaringan syaraf tiruan, data eksperimen tersebut sebagai berikut :

**Tabel 3. 1** EC dan pH Sebelum *Training*

pH	EC	pH	EC	pH	EC
4.34	849.23	6.30	1471.80	6.50031	1601.66
4.64	925.66	6.33	1489.92	6.50329	1604.9
4.90	996.23	6.36278	1506.02	6.50577	1607.76
5.14	1061.00	6.38797	1520.31	6.50784	1610.27
5.34	1120.17	6.40917	1532.99	6.50956	1612.48
5.51	1173.99	6.42699	1544.22	6.51099	1614.43
5.66	1222.78	6.44194	1554.17	6.51217	1616.15
5.79	1266.87	6.45449	1562.98	6.51316	1617.65
5.90	1306.59	6.465	1570.76	6.51398	1618.98
6.00	1342.29	6.4738	1577.64	6.51466	1620.15
6.08	1374.31	6.48116	1583.71	6.51523	1621.17
6.15	1402.98	6.48731	1589.08	6.5157	1622.07
6.21	1428.59	6.49244	1593.81	6.51597	1622.63
6.26	1451.44	6.49673	1597.98		

Berdasarkan Tabel 3.1 didapat grafik EC dan pH sebagai berikut :



**Gambar 3. 6** Grafik EC dan pH sebelum *training*

Di dalam *close loop* dan *open loop* telah digunakan jaringan sistem tiruan (JST). Model yang Ini menggunakan *neural network* yaitu model *open* dan *closed loop*. Model *open loop* merupakan simulasi *open loop* pada simulink matlab yang telah dikerjakan. Model *closed loop* merupakan model referensi yang telah ditambahkan kontroler PID dengan parameter performansi manual. Nilai-nilai pada parameter pelatihan menggunakan *neural network* ditunjukkan Tabel 3.2.

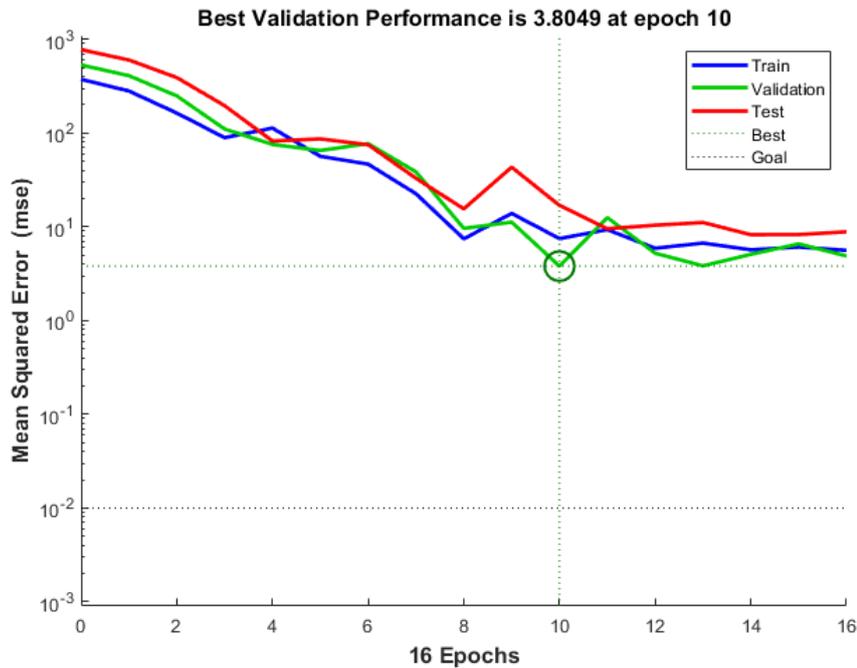
**Tabel 3. 2** Parameter Pelatihan ANN

Parameter	Nilai
<i>Performance goal</i>	$1e^{-2}$
<i>Sampling interval</i> (detik)	1
<i>Training sample</i>	41
<i>Maximum training epochs</i>	30
<i>Training function</i>	Marq (levenberg-Marquardt)
<i>Model plant</i>	<i>Closed loop system</i>

Struktur dari *neural network* terdiri dari *input*, *hidden layer*, dan *output*. Fungsi aktivasi dari *training* tersebut yaitu tansig dan linear. Performansi yang diharapkan diset menjadi 0. *Interval sampling* atau periode *sampling* ( $T_s$ ) dalam satuan detik yaitu 1. *Input* minimum dari kontroler yaitu 4 sedangkan *input* maksimum yaitu 20 sesuai spesifikasi dari *control valve*. Iterasi untuk melatih data pelatihan maksimal sebanyak 30 *epochs*. Beberapa nilai tersebut dapat dilihat pada bagian editor dengan fungsi *newff* yang bertujuan untuk membuat *neural network feed forward* dengan parameter yang berhubungan dengan algoritma *training*. Algoritma pelatihan yang digunakan untuk meminimalkan *error* yaitu levenberg-marquardt karena sifatnya yang konvergen dan *robustness*. Algoritma Levenberg–Marquardt yaitu salah satu algoritma yang digunakan di tugas akhir ini untuk memperkirakan hasil berikutnya berdasarkan data-data yang sudah ada sebelumnya.

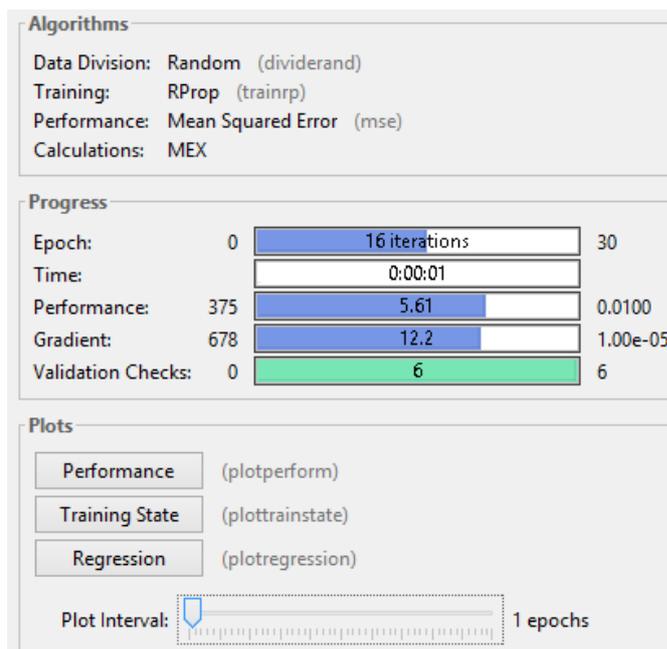
Didapat pada pemodelan statik di dapat pH kemudian di masukkan ke *neural network* dan didapat 3 *layer*, 1 *process input*, dan 1 *process output* yang digunakan dalam pemodelan EC.

Didapat *best performance* sebesar 3.804 saat *epoch* di 10. Adapun *error MSE (mean squarred error)* dari performansi yang terjadi saat dilakukan uji model sistem yaitu MSE (*mean squarred error*) training pada Gambar 3.7 berikut :



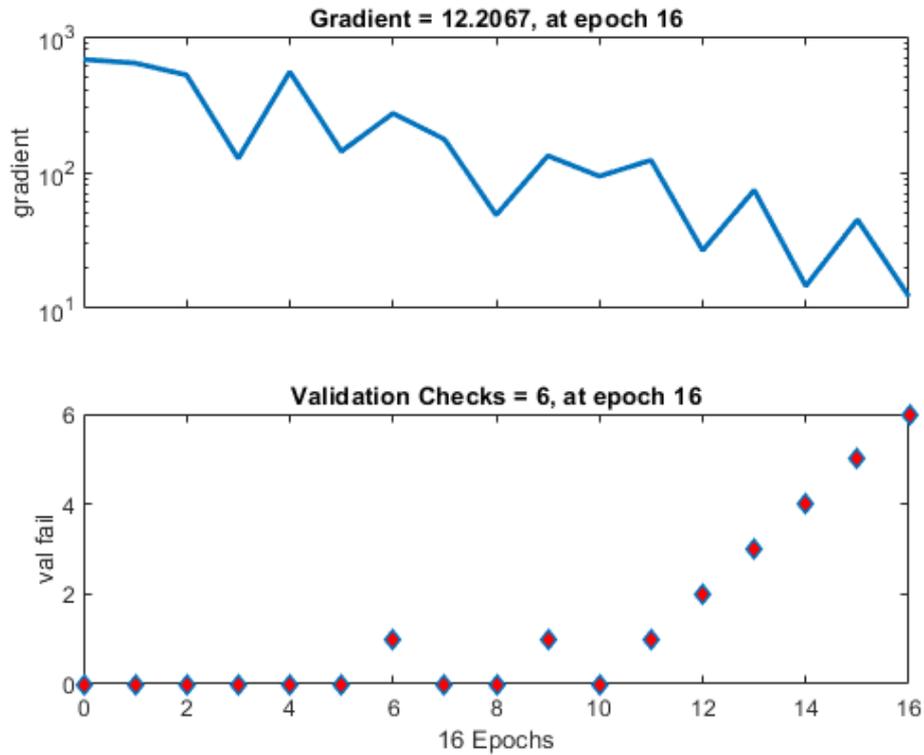
**Gambar 3. 7** Best validation performance dan MSE

Didapat *neural network training tool* yang digunakan yaitu sebagai berikut:



**Gambar 3. 8** Data di dalam *neural network training tool*

Di dalam *neural network training state* yaitu didapat gambar grafik sebagai berikut :



**Gambar 3. 9** Grafik di dalam *neural network training state*

Didapatkan *gradient* sebesar 12.20 di *epoch* 16 dan *validation* di 6 saat *epoch* 16. *Neural network* digunakan untuk mendapatkan *Electrical Conductivity (EC)* dengan pemodelan seperti diatas.

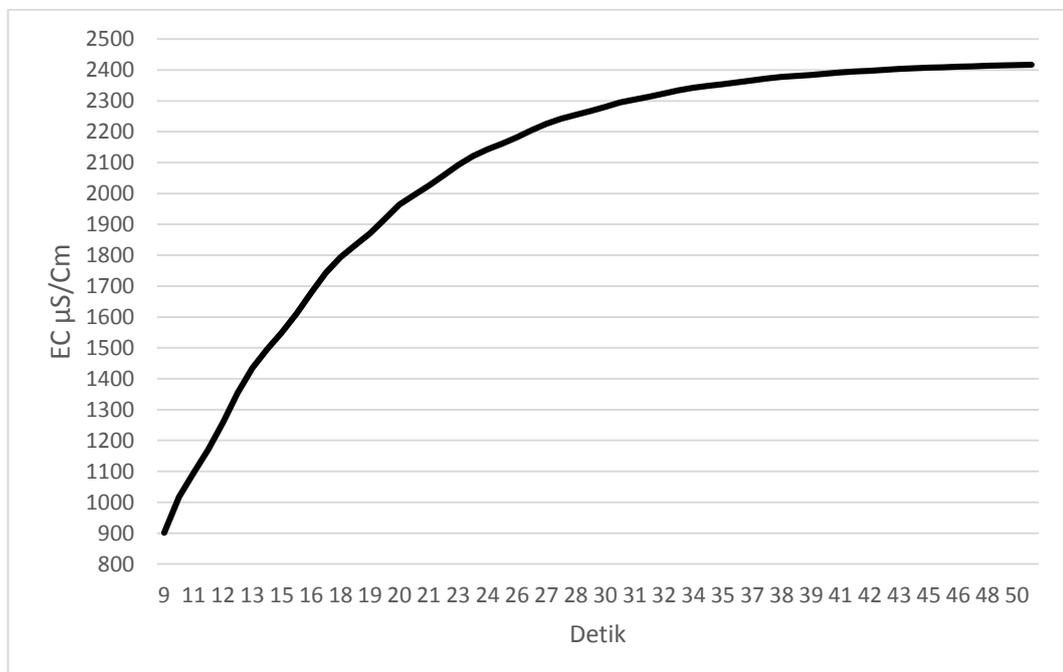
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Simulasi *Open Loop*

Simulasi *open loop* ini menggunakan masukan berupa keluaran sistem pengendali dengan rentang sebesar 4 sampai 20 mA. Pada uji *open loop* pada simulink matlab r2019a yang disebutkan dilampiran didapatkan grafik dengan rentang sampai 50 detik yaitu sebagai berikut :



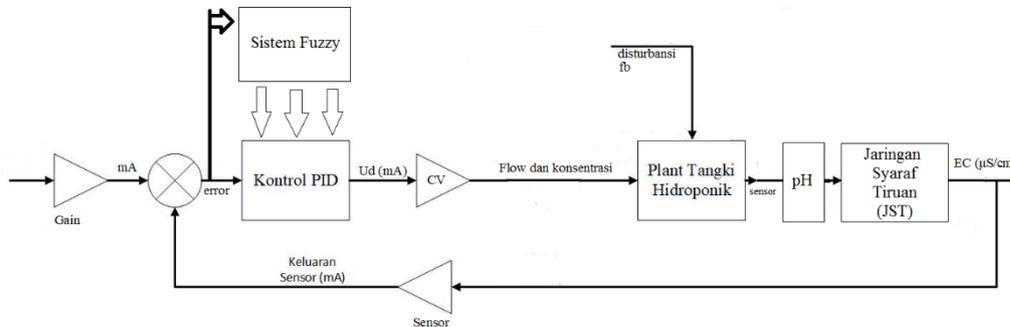
**Gambar 4. 1** Grafik EC pada *open loop*

Berdasarkan Gambar 4.1, hasil keluaran *plant* pada simulasi *open loop* ini sebesar 2416.76  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ . Hasil ini dapat dikatakan sudah konstan tetapi masih belum dapat mencapai *set point* sehingga dibutuhkan sebuah sistem pengendali untuk mengendalikan hasil keluaran agar dapat mencapai hasil sesuai yang diinginkan yaitu 2000  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ .

#### 4.2 Uji *Close Loop*

Pada Gambar 4.2 terdapat blok tambahan EC terhadap pH. Model tersebut diperoleh dari sub bab 3.7 uji *close loop* digunakan untuk melihat respon keluaran

dimana menggunakan sistem kendali berupa *fuzzy* PID dengan masukan pada *fuzzy logic controller*, pemodelan dari *close loop* dengan blok diagram yaitu sebagai berikut :



**Gambar 4. 2** Blok diagram *close loop* dengan *fuzzy* PID

Dengan kontrol *fuzzy* PID didapat kan pH yang dimasukkan ke dalam jaringan syaraf tiruan kemudian EC didapatkan yaitu dengan satuan  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ .

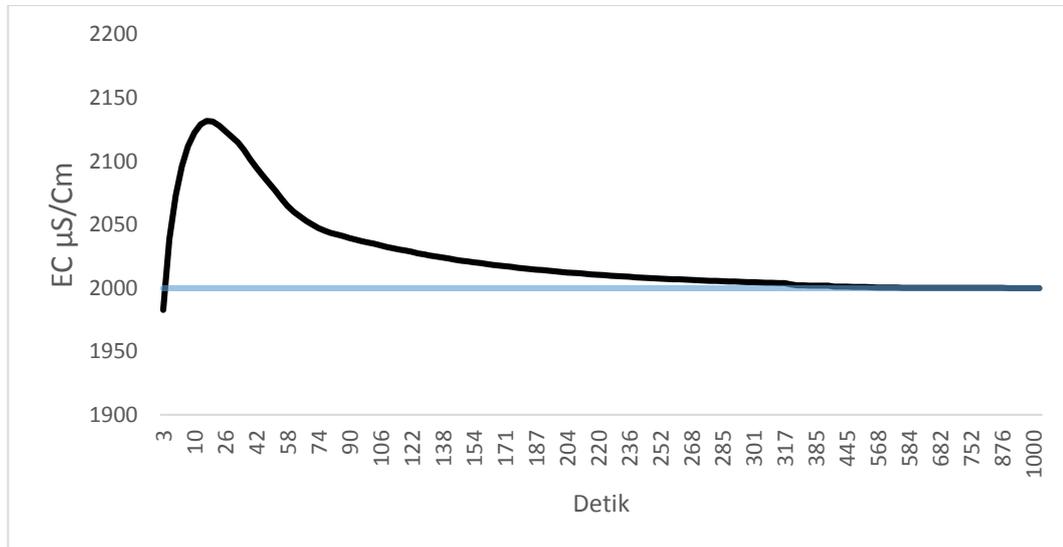
### 4.3 Hasil Pemodelan

Setelah melakukan pemodelan sistem, dengan menggunakan software matlab r2019a. Terdapat dua tahapan simulasi, yaitu simulasi sistem *open loop* dan *close loop*. Simulasi *open loop* untuk melihat hasil tanpa kontroler, sedangkan simulasi *close loop* digunakan untuk mengetahui respon sistem dengan menggunakan sebuah kontroler yang telah dirancang.

### 4.4 Hasil Simulasi *Close Loop Setpoint Tetap*

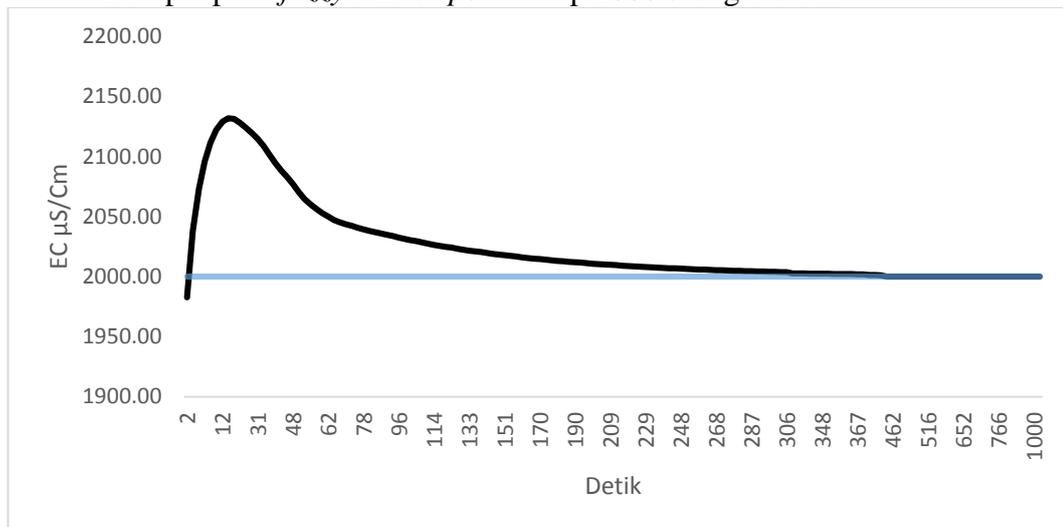
Setelah mendapatkan hasil uji *open loop*, *plant* dimasukkan ke dalam sistem *close loop* dengan memasukkan pengendali. Dengan menggunakan *setpoint* 2000 untuk EC.

Diperoleh hasil seperti Gambar 4.3 berikut dengan parameter  $K_p = 0.1$ ,  $K_i = 0.01$ , dan  $K_d = 0$ , dengan rentang yaitu 1000 detik menggunakan PID :



**Gambar 4. 3** Hasil uji PID *setpoint* tetap 2000(μS/Cm)

Didapat pada *fuzzy* PID *setpoint* tetap 2000 sebagai berikut :

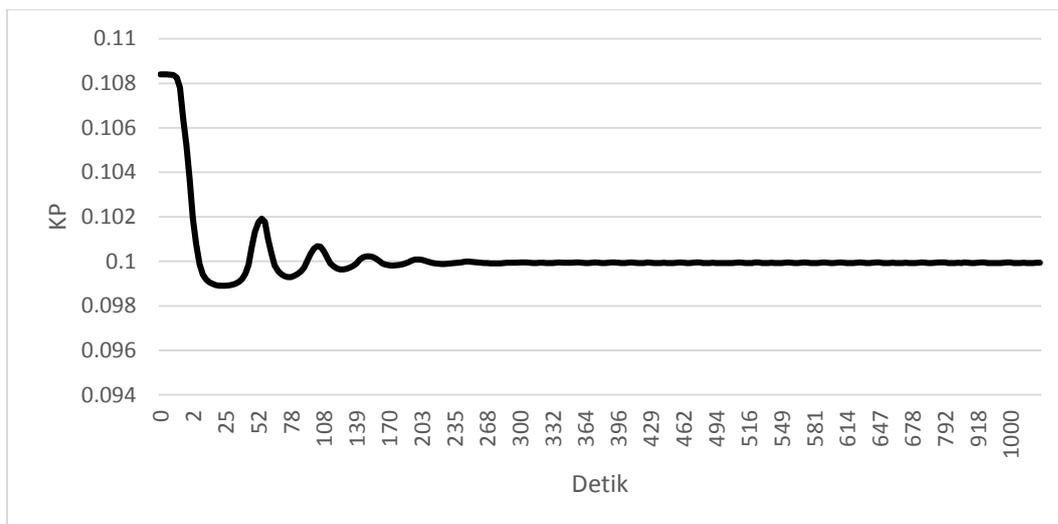


**Gambar 4. 4** Grafik EC *close loop fuzzy* PID *setpoint* tetap(2000 μS/Cm)

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, dapat dilihat bahwa pada hasil simulasi *close loop setpoint* tetap, masing-masing respon pada sistem pengendali PID dan sistem pengendali *fuzzy* PID sudah konstan dan sudah dapat mencapai *setpoint*. Didapat EC pada PID sebesar 2000.008 μS/Cm pada saat stabil dan di *setpoint* yang diinginkan, dan *fuzzy* PID sebesar 2000.007 μS/Cm. Berdasarkan karakteristik responnya, sistem pengendali *fuzzy* PID memiliki semua keunggulan yaitu *rise time* yang lebih cepat, *settling time* yang lebih cepat dari sistem

pengendali PID, sedangkan *overshoot*, *IAE*, dan *error steady state* yang lebih rendah dari PID. PID sendiri performansinya tidak lebih unggul dari *fuzzy* PID.

Sistem kerja *fuzzy* pada sistem pengendali *fuzzy* PID untuk mengubah rentang  $K_p$  pada simulasi *close loop set point* tetap agar mendapat nilai terbaik dengan memasukkan *error* pada *plant* berdasarkan *rule base* yang telah dibuat. Pada Gambar 4.4 didapat  $K_p$  untuk *close loop setpoint* tetap 2000  $\mu\text{S}/\text{Cm}$  ditunjukkan pada Gambar 4.5, didapat 0.0999 dan dibulatkan menjadi 0.1.



**Gambar 4. 5** Respon  $K_p$  simulasi *close loop setpoint* tetap(2000  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ )

Nilai-nilai perbandingan karakteristik dari sistem pengendali PID dan *fuzzy* PID dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1** Perbandingan Karakteristik Respon *Close Loop Setpoint* Tetap dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan *fuzzy* PID

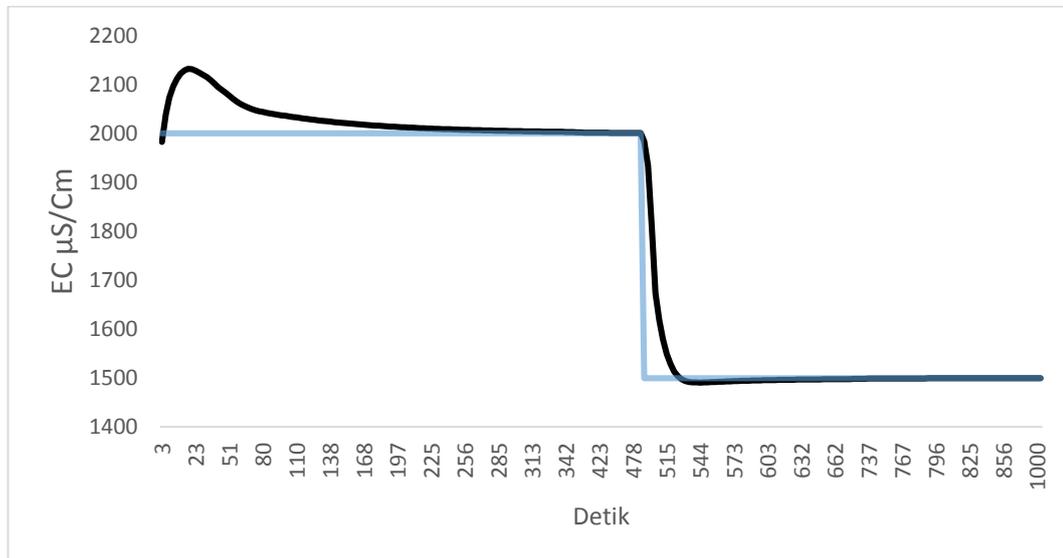
Karakteristik Respon	PID	<i>Fuzzy</i> PID
<i>Rise time</i> (s)	1.88	1.63
Settling time (s)	183.61	166.49
<i>Maximum overshoot</i> (%)	6.594	6.593
<i>IAE</i>	109.63	99.91
<i>Error steady state</i> (%)	0.399	0.396

#### 4.5 Hasil Simulasi *Close Loop* Perubahan *Setpoint*

Pada simulasi *close loop* digunakan software matlab Simulink r2019a. Pada simulasi perubahan *setpoint*. Simulasi ini menggunakan dua sistem pengendali

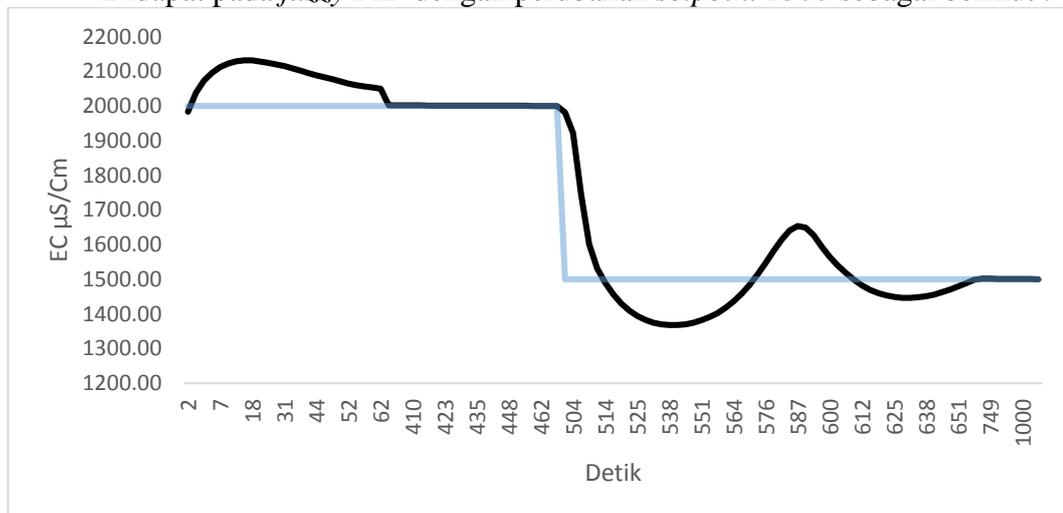
yaitu sistem pengendali PID dan sistem pengendali *fuzzy* PID. dengan rentang waktu yang sama yaitu 1000 detik. *Set point initial value* 2000 dan *final value* 1500.

Hasil simulasi *close loop* perubahan *setpoint* 1500 adalah sebagai berikut :



**Gambar 4. 6** Hasil uji *close loop* PID perubahan *setpoint*(1500  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ )

Didapat pada *fuzzy* PID dengan perubahan *setpoint* 1500 sebagai berikut :

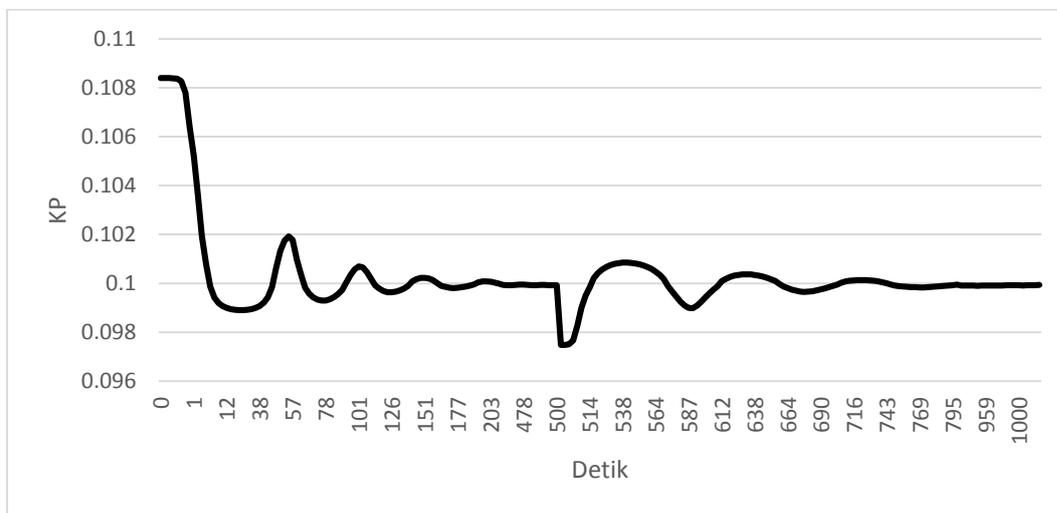


**Gambar 4. 7** Hasil uji *close loop fuzzy* PID perubahan *setpoint*(1500 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ )

Berdasarkan Gambar 4.6 dan Gambar 4.7, dapat dilihat bahwa pada hasil simulasi *close loop* perubahan *setpoint*, masing-masing respon pada sistem pengendali PID dan sistem pengendali *fuzzy* PID sudah konstan dan sudah dapat mencapai *setpoint*. Didapat EC pada PID sebesar 1499.93 $\mu\text{S}/\text{Cm}$  pada saat stabil dan di *setpoint* yang diinginkan, dan *fuzzy* PID sebesar 1499.41  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ .

Berdasarkan karakteristik responnya, sistem pengendali *fuzzy* PID hampir memiliki semua keunggulan yaitu *rise time* yang lebih cepat, sedangkan *overshoot*, *IAE*, dan *error steady state* yang lebih rendah dari PID. Namun PID hanya unggul pada *settling time* dari *fuzzy* PID.

Sistem kerja *fuzzy* pada sistem pengendali *fuzzy* PID untuk mengubah rentang *Kp* pada simulasi *close loop* perubahan *setpoint* agar mendapat nilai terbaik dengan memasukkan *error* pada *plant* berdasarkan *rule base* yang telah dibuat. Pada Gambar 4.7 didapat *Kp* untuk *close loop* perubahan *set point*  $1500\mu\text{S}/\text{Cm}$  ditunjukkan pada Gambar 4.8, didapat 0.0999 dan dibulatkan menjadi 0.1.



**Gambar 4. 8** Respon *Kp* simulasi *close loop* perubahan *setpoint*( $1500\mu\text{S}/\text{Cm}$ )

Nilai-nilai perbandingan karakteristik dari sistem pengendali PID dan *fuzzy* PID dapat dilihat pada Tabel 4.2.

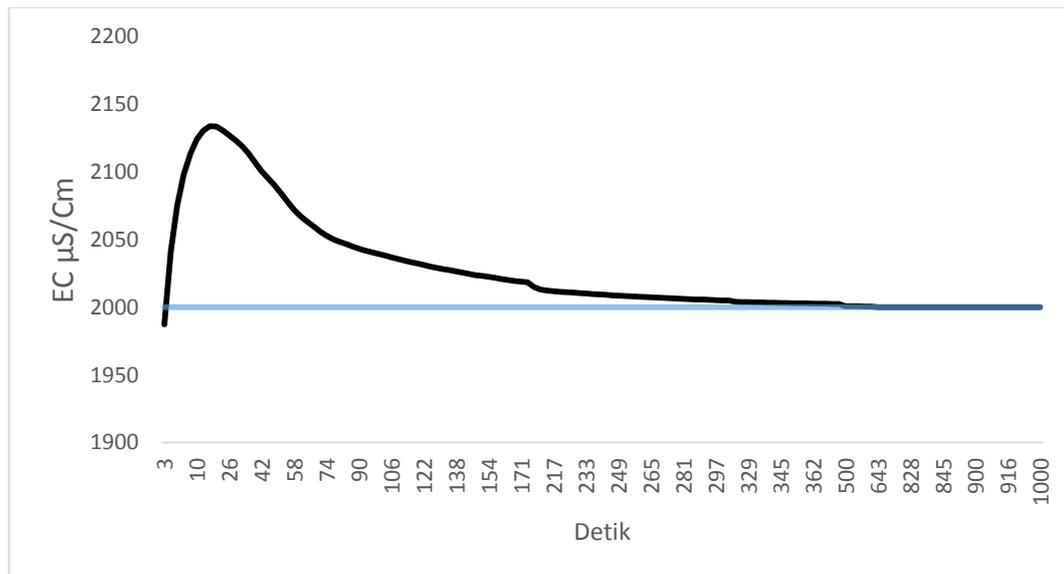
**Tabel 4. 2** Perbandingan Karakteristik Respon *Close Loop* Perubahan *Setpoint* dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan *fuzzy* PID

Karakteristik Respon	PID	<i>Fuzzy</i> PID
<i>Rise time</i> (s)	0.38	0.25
<i>Settling time</i> (s)	521.20	733.94
<i>Maximum overshoot</i> (%)	42.13	42.14
<i>IAE</i>	153.31	99.93
<i>Error steady state</i> (%)	12.147	12.145

#### 4.5.1 Hasil Simulasi *Close Loop* Perubahan *Disturbance* Sebesar +10 Persen

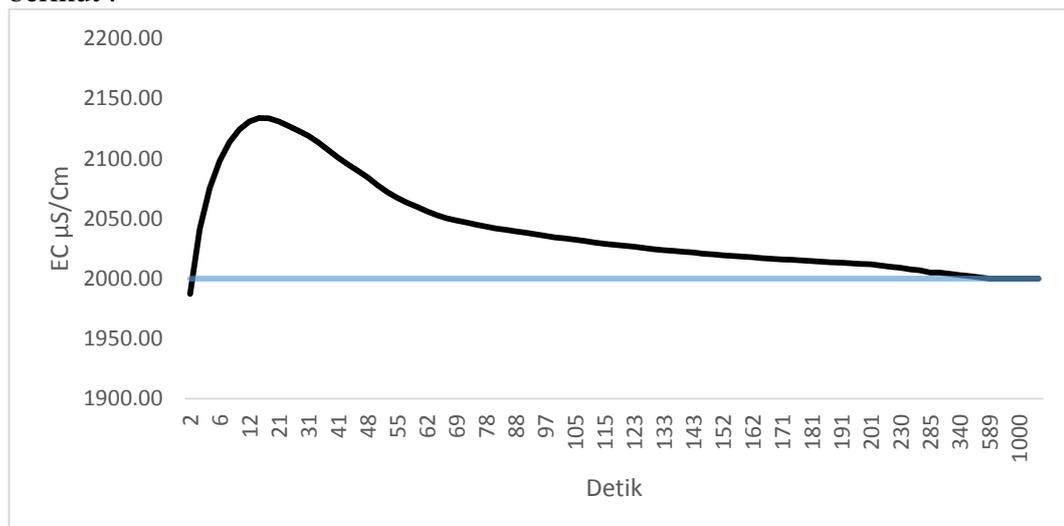
Pada simulasi *close loop* digunakan software matlab simulink r2019a. Pada simulasi perubahan *disturbance*, diberikan masukkan gangguan sebesar 8.8 mL/s. Simulasi ini menggunakan dua sistem pengendali yaitu sistem pengendali PID dan sistem pengendali *fuzzy* PID.

Hasil simulasi *close loop* perubahan *disturbance* sebesar 10% adalah sebagai berikut :



**Gambar 4. 9** Hasil uji *close loop* PID perubahan *disturbance* sebesar +10%

Didapat pada *fuzzy* PID dengan perubahan *disturbance* sebesar 10% sebagai berikut :

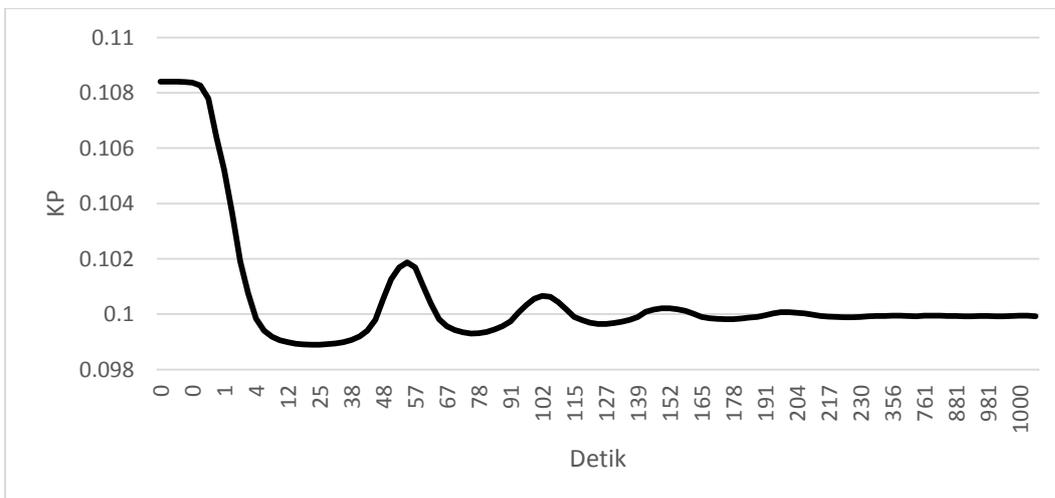


**Gambar 4. 10** Hasil uji *close loop* fuzzy PID perubahan *disturbance* sebesar +10%

Berdasarkan Gambar 4.9 dan Gambar 4.10, dapat dilihat bahwa pada hasil simulasi *close loop* perubahan *disturbance* sebesar 10 persen, masing-masing respon pada sistem pengendali PID dan sistem pengendali *fuzzy* PID sudah konstan dan sudah dapat mencapai *setpoint*. Didapat EC pada PID sebesar  $2000.007 \mu\text{S}/\text{Cm}$  pada saat stabil dan di *setpoint* yang diinginkan, dan *fuzzyPID* sebesar  $2000.007 \mu\text{S}/\text{Cm}$ . Berdasarkan karakteristik responnya, sistem pengendali *fuzzy* PID memiliki semua keunggulan yaitu *rise time* yang lebih cepat, *settling Time* yang lebih cepat dari sistem pengendali PID, sedangkan *overshoot*, IAE, dan *error steady state* yang lebih rendah dari PID. PID sendiri performansinya lebih unggul dari *fuzzy* PID.

Sistem kerja *fuzzy* pada sistem pengendali *fuzzy* PID untuk mengubah rentang  $K_p$  pada simulasi *close loop* perubahan *disturbance* 10 persen agar mendapat nilai terbaik dengan memasukkan *error* pada *plant* berdasarkan *rule base* yang telah dibuat.

Pada Gambar 4.10 didapat  $K_p$  untuk *close loop disturbance* +10% ditunjukkan pada Gambar 4.11, didapat 0.0999 dan dibulatkan menjadi 0.1.



**Gambar 4. 11** Respon  $K_p$  simulasi *close loop disturbance* +10%

Nilai-nilai perbandingan karakteristik dari sistem pengendali PID dan *fuzzy* PID dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4. 3** Perbandingan Karakteristik Respon *Close Loop* Perubahan *Disturbance* 10 Persen dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan *fuzzy* PID

Karakteristik Respon	PID	<i>Fuzzy</i> PID
<i>Rise time (s)</i>	1.84	1.58
<i>Settling time (s)</i>	193.14	177.80
<i>Maximum overshoot(%)</i>	6.69	6.69
IAE	116.07	99.91
<i>Error steady state(%)</i>	0.354	0.353

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari tugas akhir ini untuk memperoleh hasil perancangan sistem pengendalian *electrical conductivity* (EC) berbasis pH pada sistem hidroponik NFT (*nutrient film technique*) pada tanaman Pakcoy yaitu sebagai berikut :

- Didapat *settling time*, dan *error steady state* pada PID sebesar 183,61 detik, dan 0,399% pada *setpoint* sebesar 2000 $\mu$ S/Cm, sedangkan untuk *fuzzy* PID didapat sebesar 166,49 detik, dan 0.396%.
- Didapatkan hasil karakteristik respon yang lebih unggul pada sistem pengendali *fuzzy* PID, *fuzzy* PID memiliki hampir semua keunggulan yaitu *rise time*, *settling time* yang lebih cepat, *overshoot*, IAE, dan *error steady state* yang lebih rendah daripada PID, kecuali untuk *settling time* pada saat perubahan *setpoint* 1500  $\mu$ S/Cm.
- Pada hasil dan analisa didapat perancangan pengendali yang paling baik dan bagus yaitu *fuzzy* PID di dalam kategori *setpoint* tetap 2000  $\mu$ S/Cm, *setpoint* berubah 1500  $\mu$ S/Cm dan perubahan *disturbance* sebesar +10% .

#### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah dapat dilakukan perbandingan banyak dan bentuk *membership function* yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Akhmadi, Umar, & Sanyoto. (2016). *mengenal, membuat & menggunakan larutan nutrisi. in jago bertanam hidroponik untuk pemula*. Jakarta : Penebar Swadya.
- Azmi, & Ishak, S. &. (2016). sistem penghitung pH air pada tambak ikan berbasis mikrokontroller. *jurnal Ilmiah SAINTIKOM* , 102.
- Barbosa, G.L., Gadelha, F., Proctor, N., Weissinger, L., Wohlleb, G., & Halden., R. (2015). In *Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods*. *Int. J. Environ. Res. public health*. doi:68796891; doi:10.3390/ijerph120606879.
- Cahayahati, Syafii, Darmana, I., & Zulwisli. (2013). Pengembangan Sistem Proteksi Digital Arus Lebih Berbasis Logika Fuzzy Sebagai Pengaman PLTMH. *Jurnal Nasional Teknik Elektro (JNTE)*, 2(2), 1-7.
- El-kazzaz. (2017). Soiless Agriculture a New and Advanced Method for Agriculture Developmen : an Introduction. *Research Article, Agri Res&Tech*, 3(2).
- Gama, W., & Cordova, H. (2018). Perancangan Sistem Pengendali Konduktivitas Larutan Berbasis Sensor pH pada Continuous Stirred tank Reactor (CSTR. *1*.
- Gustafsson, S. B., & Waller, K. V. (1995). "Modelling of pH for control," *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 34(3), 820-827.
- Hariyadi, Cordova, A. D., & Hendra. (2010). Perancangan Kontrol pH Hidroponik Sistem NTF Berbasis Fuzzy Logic. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Fisika (SNFT 10)*.
- Hartus, T. (2008). *Berkebun Hidroponik Secara Murah*. Jakarta: Penebar Swadaya.

- Henson, M., & D.E.Seborg. (1992). "Non linear adaptive control of a pH neutralization process,". 151-156.
- Ibrahim, Rauf, M. N., Solahudin, M., & Widodo, S. (2015). Control System for Nutrient Solution of Nutrient Film Technique Using Fuzzy Logic. *TELKOMNIKA*, 13(4), 1281-1288.
- Kakakid. (2020, januari 11). Retrieved from <https://bungabunga.co.id/budidaya-pakcoy/>
- Lee, C. C. (1990). Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller – Part 11. *IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics*, 20(2).
- Naeeni, A. (2004). Advanced Multi-Agent Fuzzy Reinforcement Learning. *Master Thesis Computer Engineering Computer Science Department, Dalarna University*.
- Ni.Nyoman, P.C.Binaraesa, Sutan, S. M., & A.M Ahmad. (2016). “Nilai EC (Electrical Conductivity) Berdasarkan Umur Tanaman Selada Daun Hijau (*Lactuca sativa* L.) Dengan Sistem Hidroponik NFT (Nutrients Film Technique). *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist*.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering fifth edition*. New York: PrenticeHall,Inc.
- Pambudi, & Setyo, W. (2011). Rancang Bangun 3 Wheels Omni-Directional Mobile Robot Menggunakan Sensor Position Sensitive Device (PSD) Serta Sensor Vision Dengan Metode Kendali Fuzzy Logic Controller (FLC) Untuk Menghindari Halangan.
- Pamuji, Agung, F., & Soediby. (2015). Desain Kontrol Multi –Input DC–DC Converter Sistem Hibrid Turbin Angin Dan Sel Surya Menggunakan Kontrol Fuzzy Logic Untuk Tegangan Rendah. *Jurnal Nasional Teknik Elektro (JNTE)*, 4(2), 220-226.
- Pancawati, Dian, Andik, & Yulianto. (2016). Implementasi Fuzzy Logic Controller untuk Mengatur pH Nutrisi pada Sistem Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT). *Jurnal Teknik Elektro*.
- Putra, Maha, & TaufanapriDykka. (2018). Pengendalian pH dan EC pada Larutan Nutrisi Hidroponik Tomat Ceri.

- Rahmat, D. b., & Nugroho, B. (2019). *Pemrograman fuzzy dan jaringan syaraf tiruan untuk sistem kendali cerdas*. Surabaya: indomedia pustaka.
- Salisbury, F., & Ross, C. (1994). *Fisiología Vegetal*. 759.
- Setiawan. (2008). *Kontrol PID untuk proses industri*. Jakarta: Elekmedia.
- Silva, J., & uchida., R. (2000). "Essential Nutrients for Plant Growth :,". *Plant Nutr. Manag. Hawaii's Soils, Approaches Trop. Subtrop. Agric.*, pp.31-55.
- Su, L., Liao, X., & Huang, Z. (2019, april). "A theoretical study on resistance of electrolytic solution: Measurement of electrolytic conductivity,". *Results Phys.*, 13.
- Suprijadi, N.Nuraini, & Yusuf, M. (2009). Sistem Kontrol Nutrisi Hidroponik dengan menggunakan Logika Fuzzy. *1*(1), 49-56.
- Sutrino, & Djanu. (2019, Desember 28). Retrieved from <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/89886/BUDIDAYA-TANAMAN-PAKCOY-HIDROPONIK/>
- Wahab, F., Sumardiono, A. T., R, A., & Mulayari, A. F. (2017). Desain dan Purwarupa Fuzzy Logic Control untuk Pengendalian Suhu Ruangan. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 1, 2. doi:<https://doi.org/10.31544/jtera.v2.i1.2017.1-8>
- Widyantara, H. (2001). Pendeteksian Dan Pengamanan Dini Pada Kebakaran Berbasis Personal Computer ( Pc ) Dengan Fuzzy Logic Detection And Early Fire Safety Based On Personal Computer ( Pc ) Using Fuzzy Logic. 27-36.
- Wikipedia. (2020). Retrieved 1 1, 2020, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Conductivity\\_\(electrolytic\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Conductivity_(electrolytic))
- Yeo, Y. K., & Kwon, T.-i. (1999). A Neural PID Controller for the pH Neutralization Process *Ind. Eng. Chem.* 38, 978-987.
- Yulianto, Andik, & Handoyo., H. P. (2012). Penerapan Behavior-Based Control dan Fuzzy Logic Controller pada Sistem Navigasi Robot Soccer. *Civil and Electrical Engineering Journal*, 7, 16-23.
- Zuhar, A. M., & Cordova, H. (2019). PERANCANGAN PENGENDALIAN PROSES PENETRANLAN DERAJAT KEASAMAN pH PADA LARUTAN NUTRISI SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN PENGENDALI PID . 84.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### Kodingan untuk Model statik matlab Simulink

```
function Output = FR01_StatikpH(input)

y=input(:);
xa=y(1,:);
xb=y(2,:);

% a1=1;
% a2=(0.4-xa);
% a3=((0.4*0.0127)-(0.4*xa)-(0.4*xb)-(10^(-14 )));
% a4=(-0.4*0.0127*xa)-(2*0.4*0.0127*xb)-(0.4*10^(-14));
% a5=(10^-28)+((10^-7.2)*(10^-28));
a1=-10^-11.8;
a2=((xa*10^-11.8)-(10^-14));
a3=(xa*10^-14)+((xb*10^-14)-((10^-7.2)*(10^-14)));
a4=(xa*(10^-7.2)*(10^-14))+10^-28;
a5=(10^-7.2)*(10^-28);
p=[a1 a2 a3 a4 a5];
r=roots(p);

    for i=1:4
        if r(i,1)>0
            H=r(i,1);
        end;
    end

Hp=max(H);
Output=-log10(Hp);
funcout=Output;
```

### Codingan di dalam *Fuzzy* dalam file .fis

```
[System]
Name='Zaldy'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=1
NumOutputs=1
NumRules=5
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
```

```

[Input1]
Name='error'
Range=[-16 16]
NumMFs=5
MF1='NB': 'trimf', [-24 -16 -8]
MF2='NK': 'trimf', [-15.9153439153439 -7.91534391534392
0.0846560846560838]
MF3='Z': 'trimf', [-8 0 8]
MF4='PK': 'trimf', [0 8 16]
MF5='PB': 'trimf', [8 16 24]
[Output1]
Name='Kp'
Range=[0.09 0.11]
NumMFs=5
MF1='K': 'trimf', [0.085 0.09 0.095]
MF2='SK': 'trimf', [0.09 0.095 0.1]
MF3='S': 'trimf', [0.095 0.1 0.105]
MF4='SB': 'trimf', [0.1 0.105 0.11]
MF5='B': 'trimf', [0.105 0.11 0.115]
[Rules]
1, 1 (1) : 1
2, 2 (1) : 1
3, 3 (1) : 1
4, 4 (1) : 1
5, 5 (1) : 1

```

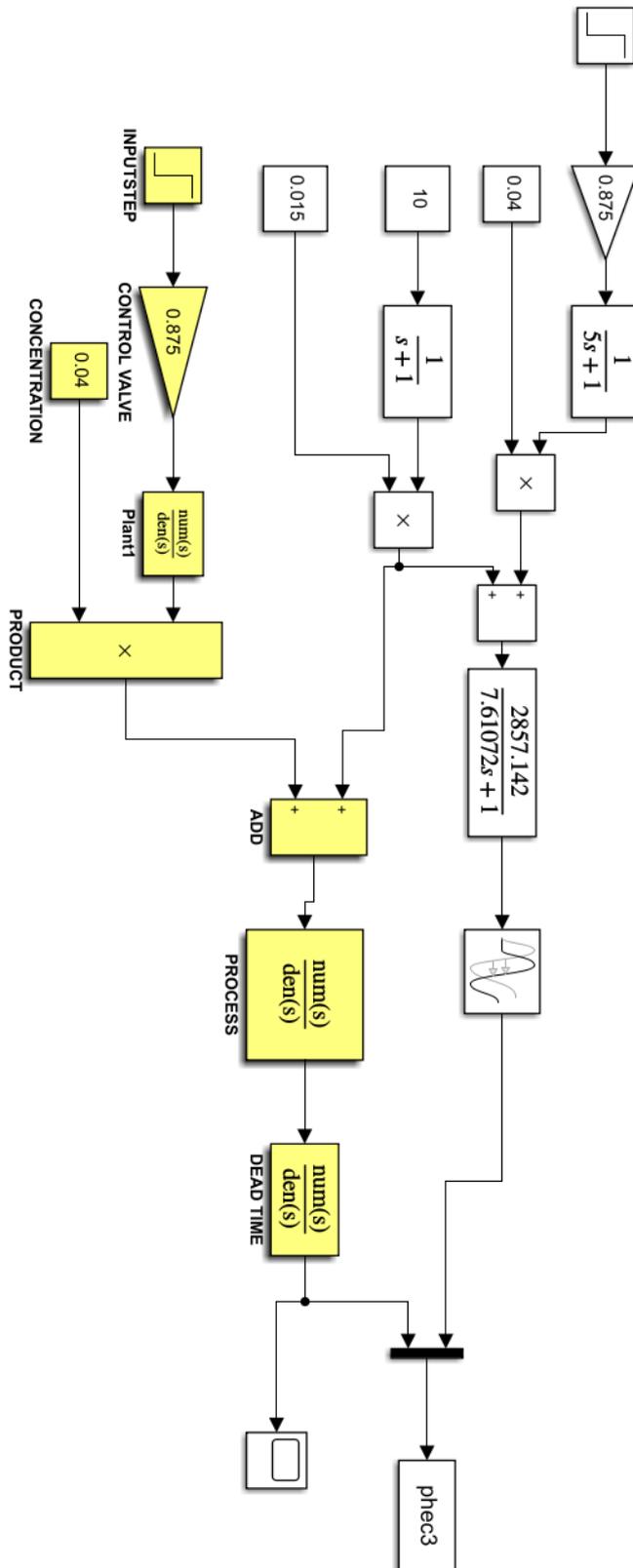
### **Codingan Membuat *Neural network* dalam matlab**

```

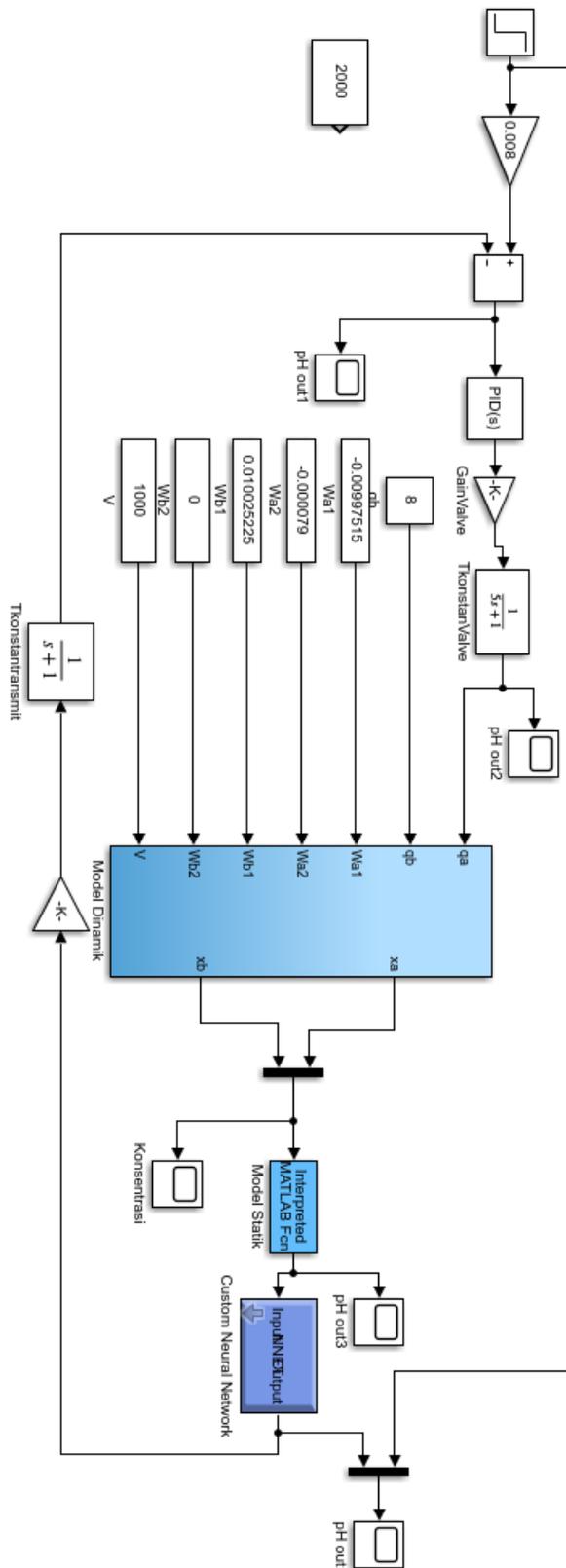
eu=xlsread('phec_1');
p=eu(:,1);
t=eu(:,2);
% p=[4 5.5 6 6.5 7 7.5];
% t=[1000 1200 1400 1600 1800 2000];
net=newff(p,t,[3,1],{'tansig','purelin'},'trainrp');
net.trainParam.show = 50;
net.trainParam.epochs = 30;
net.trainParam.goal = 1e-2;
[net,tr]=train(net,p,t);
gensim(net);

```

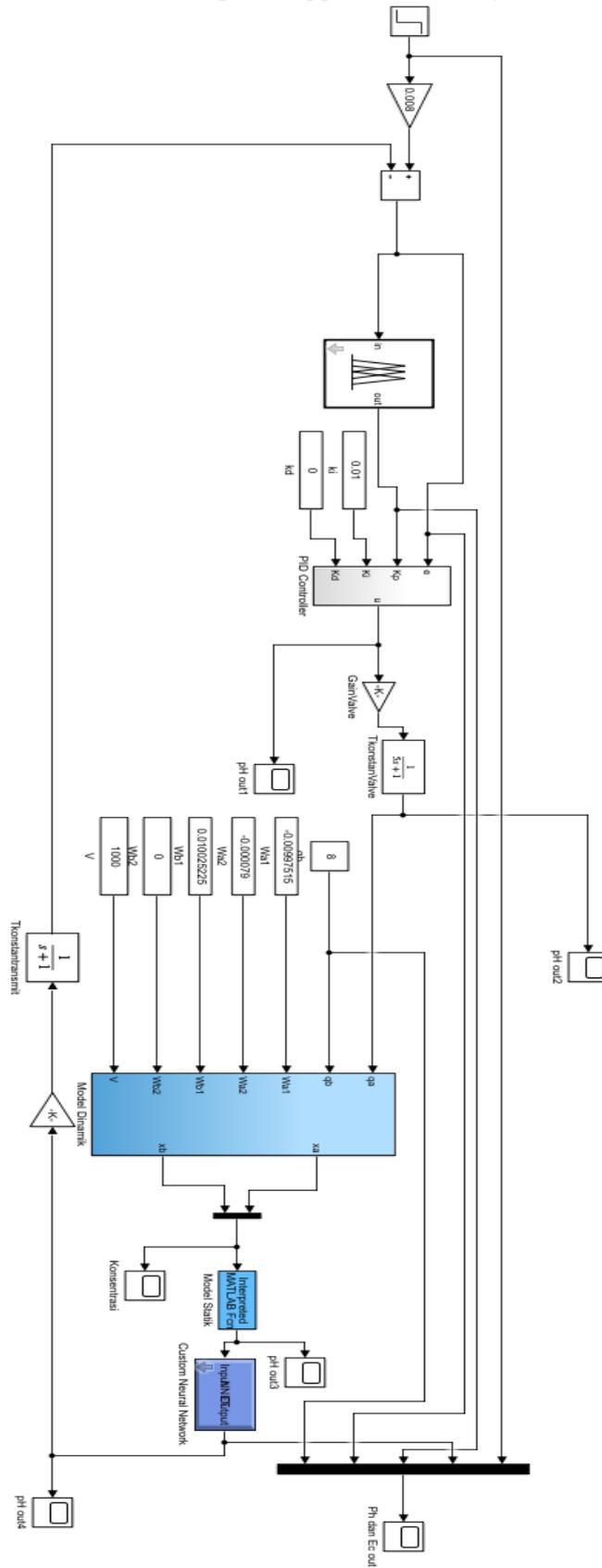
Simulasi *Open Loop* Simulink Untuk mendapatkan *Neural network*



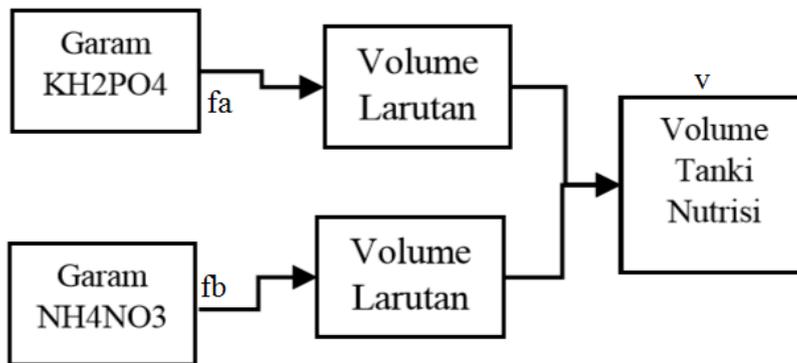
Simulasi *Close Loop* Menggunakan Pengendali PID



## Simulasi *Close Loop* Menggunakan *Fuzzy PID*



Peletakakan  $V$ ,  $f_a$ , dan  $f_b$



## BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Rizaldy Muslim Sutarto. Lahir di kota Surabaya pada tanggal 1 Nopember 1997. Anak dari ayah yang bernama Sutarto Erwin dan ibu bernama Soehartatik. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Pada tahun 2009, penulis telah menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di SDN Dr Sutomo V/327. Pada tahun 2013, telah menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 12 Surabaya. Pada tahun 2016, telah menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 6 Surabaya. Dan Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Pada bulan Juni 2020, penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *ELECTRICAL CONDUCTIVITY* (EC) BERBASIS pH PADA SISTEM HIDROPONIK NFT ( *NUTRIENT FILM TECHNIQUE*) TANAMAN PAKCOY” Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, serta membrikan kritik dan saran maka dapat menghubungi penulis melalui e-mail : [zaldymuslims@gmail.com](mailto:zaldymuslims@gmail.com)