



TUGAS AKHIR - TF 181801

**PERANCANGAN PENGENDALIAN pH PADA TANAMAN  
PAKCOY SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE*  
(NFT) DENGAN METODE *FUZZY-PID***

IMROATUL MUFIDAH  
NRP. 02311640000010

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

Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020





TUGAS AKHIR - TF 181801

**PERANCANGAN PENGENDALIAN pH PADA TANAMAN  
PAKCOY SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE*  
(NFT) DENGAN METODE *FUZZY-PID***

IMROATUL MUFIDAH  
NRP. 023164000010

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**

***pH CONTROL DESIGN IN PAKCOY PLANT NUTRIENT FILM  
TECHNIQUE (NFT) HYDROPONIC SYSTEM USING FUZZY-  
PID METHOD***

IMROATUL MUFIDAH  
NRP. 02311640000010

*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 : Imroatul Mufidah  
NRP : 0231164000010  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “**PERNCANGAN PENGENDALIAN pH PADA TANAMAN PAKCOY SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT) DENGAN METODE *FUZZY-PID***” 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, 5 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,



Imroatul Mufidah  
NRP. 0231164000010

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**PERANCANGAN PENGENDALIAN pH PADA TANAMAN PAKCOY  
SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT)  
DENGAN METODE *FUZZY-PID***

Oleh:

**Imroatul Mufidah**

**NRP. 02311640000010**

Surabaya, 5 Agustus 2020

Menyetujui,

Pembimbing 1



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

**NIP. 19690530 199412 1 001**

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FTIRS-ITS



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

**NIP. 19711113 199512 1 002**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN PENGENDALIAN pH PADA TANAMAN PAKCOY SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT) DENGAN METODE *FUZZY-PID*

#### TUGAS AKHIR






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

Oleh:

**Imroatul Mufidah**

**NRP. 0231164000010**

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. Ir. Matradji, M.Kom.  (Penguji I)
4. Ir. Harsono, M.T., Ph.D.  (Penguji II)
5. Iwan Cony Setiadi, S.T., M.T.  (Penguji III)

**SURABAYA**

**2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**PERANCANGAN PENGENDALIAN pH PADA TANAMAN PAKCOY  
SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT)  
DENGAN METODE *FUZZY-PID***

**Nama** : Imroatul Mufidah  
**NRP** : 0231164000010  
**Departemen** : Teknik Fisika FTIRS - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Hendra Cordova, S.T., M.T

**ABSTRAK**

Telah dilakukan perancangan *plant* pengendalian pH pada tanaman Pakcoy sistem hidroponik NFT dengan metode *fuzzy-PID*. Pemodelan pH dilakukan dengan metode reaksi *invariant* yang terdiri dari pemodelan statik dan dinamik. Pemodelan dinamik memperoleh nilai konsentrasi yang kemudian nilai tersebut digunakan pada pemodelan statik untuk memperoleh nilai pH. Setelah dilakukan pemodelan kemudian dilanjutkan dengan pengendalian nilai pH agar tetap berada di sekitar nilai *setpoint* dengan sistem kontrol metode *fuzzy-PID*. Masukan pada kontrol logika *fuzzy* berupa nilai *error* dan keuaran berupa nilai  $K_p$  yang kemudian akan menjadi masukan pada sistem kontrol PID dengan parameter lainnya yaitu  $K_i$  sebesar 0,015 dan  $K_d$  yang bernilai 0,025. Karakteristik respon kontroler yang di tuning dengan *fuzzy-PID* adalah *rise time* sebesar 0.0554 detik, *settling time* sebesar 76.59 detik, *overshoot* sebesar 30.73% , *peak time* sebesar 4.57 detik, serta *error steady state* sebesar 0.0228%.

**Kata Kunci:** Kontrol *fuzzy-PID*, pH, Sistem Hidroponik, Karakteristik respon

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

***pH CONTROL DESIGN IN PAKCOY PLANT NUTRIENT FILM  
TECHNIQUE (NFT) HYDROPONIC SYSTEM USING FUZZY-  
PID METHOD***

***Name*** : Imroatul Mufidah  
***NRP*** : 02311640000010  
***Department*** : *Engineering Physics FTIRS - ITS*  
***Supervisors*** : **Hendra Cordova, S.T., M.T**

**ABSTRACT**

*A pH control plant has been designed on the Pakcoy NFT hydroponic system using the fuzzy-PID method. pH modeling is done by invariant reaction methods which consist of static and dynamic modeling. Dynamic modeling obtains concentration values which are then used in static modeling to obtain pH values. After modeling it is then continued with controlling the pH value so that it stays around the setpoint value with the control system fuzzy-PID method. Input to fuzzy logic control in the form of error value and output in the form of Kp value which will then be input to the PID control system with other parameters namely Ki of 0.015 and Kd of 0.025 value. The response characteristics of the controller tuned with fuzzy-PID are rise time of 0.0554 seconds, settling time of 76.59 seconds, overshoot of 30.73%, peak time of 4.57 seconds, and error steady state of 0.0228%.*

***Keywords:*** *Fuzzy-PID Control, pH, Hydroponic system, Response characteristics*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini yang berjudul:

**“PERANCANGAN PENGENDALIAN pH PADA TANAMAN PAKCOY  
SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT)  
DENGAN METODE *FUZZY-PID*”**

Banyak sekali hal-hal yang belum dimengerti oleh penulis terutama pada saat pertama kali memahami konsep dan penyusun 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 – FTIRS – ITS.
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. Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc. selaku dosen wali.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Fisika FTIRS – ITS yang telah memberi dukungan dan ilmunya kepada penulis .
6. Kedua orang tua (Ir. Husen dan Siti Ruwaidah) dan keluarga yang telah memberikan dukungan, doa dan perhatiannya yang luar biasa.
7. M. Asrori Anwar selaku keponakan yang selalu pengertian untuk tidak mengganggu ketika saya sedang mengerjakan tugas akhir.
8. Sahabat-sahabat saya yang selalu memberikan semangat serta support.
9. Teman-teman mahasiswa ITS dan khususnya teman-teman di departemen Teknik Fisika angkatan 2016 terima kasih atas bantuannya dan dukungannya.

10. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu sehingga dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak kemudahan yang diperoleh

Sebagai upaya peningkatan kualitas yang tidak pernah selesai. Demikian pula dengan laporan kerja praktek ini yang nantinya memerlukan masukan dari pembaca seluruhnya untuk itu saran-saran yang dapat menjadikan lebih baik harapan

Surabaya, 5 Agustus 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	v
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN .....	ix
LEMBAR PENGESAHAN .....	xi
ABSTRAK .....	xiii
ABSTRACT.....	xv
KATA PENGANTAR .....	xvii
DAFTAR ISI.....	xix
DAFTAR GAMBAR .....	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxiii
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 Tanaman Pakcoy .....	9
2.3 Teori Asam-Basa .....	9
2.4 Derajat Keasaman (pH) .....	10
2.5 Persamaan <i>Nernst</i> .....	11
2.6 Sistem Kontrol.....	12

2.7	Logika <i>Fuzzy</i> .....	13
2.8	Pengendali PID .....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		17
3.1	Diagram Alir .....	17
3.2	Pemodelan Statik dan Dinamik Titrasi <i>Pottasium Dihydrogen Phospate</i> ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) dan <i>Ammonium Nitrate</i> ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ).....	18
3.3	Perancangan Model Matematis <i>Plant</i> Hidroponik.....	26
3.4	Simulasi Sistem.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Simulasi Sistem <i>Open loop</i> .....	31
4.2	Simulasi Sistem <i>Close loop</i> .....	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		45
5.1	Kesimpulan .....	45
5.2	Saran .....	45
DAFTAR PUSTAKA.....		47
LAMPIRAN .....		49
BIODATA PENULIS.....		55

## 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 <i>drip system</i> .....	6
<b>Gambar 2. 4</b> Hidroponik dengan <i>water culture system</i> .....	7
<b>Gambar 2. 5</b> Hidroponik dengan EBB dan <i>water flow system</i> .....	7
<b>Gambar 2. 6</b> Hidroponik dengan <i>aeroponics system</i> .....	8
<b>Gambar 2. 7</b> Tanaman Pakcoy.....	9
<b>Gambar 2. 8</b> Diagram blok sistem <i>open loop</i> .....	12
<b>Gambar 2. 9</b> Diagram blok sistem <i>close loop</i> .....	13
<b>Gambar 2. 10</b> Struktur dasar pengendali <i>fuzzy</i> .....	14
<b>Gambar 2. 11</b> Diagram blok <i>control PID</i> .....	15
<b>Gambar 2. 12</b> Sinyal respon sistem kendali PID .....	15
<b>Gambar 3. 1</b> <i>Flowchart</i> atau diagram alir penelitian.....	17
<b>Gambar 3. 2</b> Desain <i>plant</i> hidroponik NFT .....	18
<b>Gambar 3. 3</b> Diagram blok <i>open loop</i> .....	26
<b>Gambar 3. 4</b> Desain logika <i>fuzzy</i> .....	27
<b>Gambar 3. 5</b> <i>Membership function</i> masukan <i>error</i> .....	27
<b>Gambar 3. 6</b> <i>Membership function</i> keluaran <i>Kp</i> .....	28
<b>Gambar 3. 7</b> <i>Rule base</i> sistem logika <i>fuzzy</i> .....	28
<b>Gambar 3. 8</b> Diagram blok <i>close loop</i> .....	29
<b>Gambar 4. 1</b> Grafik hasil uji <i>open loop</i> .....	32
<b>Gambar 4. 2</b> Hasil uji <i>close loop tuning</i> PID manual.....	33
<b>Gambar 4. 3</b> Hasil uji <i>close loop fuzzy</i> -PID .....	33
<b>Gambar 4. 4</b> Nilai <i>Kp</i> keluaran dari <i>fuzzy logic controller</i> .....	34
<b>Gambar 4. 5</b> Hasil uji <i>close loop</i> PID dengan gangguan +10% .....	35
<b>Gambar 4. 6</b> Grafik perubahan nilai <i>flow qb</i> dalam mL/s .....	35
<b>Gambar 4. 7</b> Hasil uji <i>close loop fuzzy</i> -PID dengan gangguan +10% .....	36
<b>Gambar 4. 8</b> Grafik perubahan nilai <i>flow qb</i> dalam mL/s .....	36
<b>Gambar 4. 9</b> Grafik nilai <i>Kp</i> sistem <i>fuzzy</i> -PID dengan gangguan +10% .....	37

<b>Gambar 4. 10</b> Hasil uji <i>close loop</i> PID dengan gangguan -10%.....	38
<b>Gambar 4. 11</b> Grafik perubahan nilai <i>flow</i> qb dalam mL/s.....	38
<b>Gambar 4. 12</b> Hasil uji <i>close loop fuzzy</i> -PID dengan gangguan -10% .....	39
<b>Gambar 4. 13</b> Grafik perubahan nilai <i>flow</i> qb dalam mL/s.....	39
<b>Gambar 4. 14</b> Grafik nilai Kp sistem <i>fuzzy</i> -PID dengan gangguan -10%.....	40
<b>Gambar 4. 15</b> Grafik hasil uji perubahan <i>setpoint</i> sistem PID .....	41
<b>Gambar 4. 16</b> Grafik hasil uji perubahan <i>setpoint</i> sistem <i>fuzzy</i> -PID .....	41
<b>Gambar 4. 17</b> Grafik nilai Kp sistem <i>fuzzy</i> dengan perubahan <i>setpoint</i> .....	42

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4. 1</b> Respon Karakteristik PID dan <i>Fuzzy</i> -PID.....	34
<b>Tabel 4. 2</b> Respon Karakteristik PID dan <i>Fuzzy</i> -PID dengan Gangguan +10% ..	37
<b>Tabel 4. 3</b> Respon Karakteristik PID dan <i>Fuzzy</i> -PID dengan Gangguan -10% ...	40
<b>Tabel 4. 4</b> Respon Karakteristik PID dan <i>Fuzzy</i> -PID dengan Perubahan <i>Setpoint</i> .....	42

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tumbuhan merupakan makhluk hidup yang memiliki peranan penting bagi makhluk hidup lainnya juga bagi lingkungan. Tumbuhan merupakan penghasil oksigen terbesar bagi kelangsungan hidup makhluk hidup, dan lingkungan. Tumbuhan dapat menghasilkan oksigen dengan mengambil karbon dioksida di udara dengan proses fotosintesis. Selain dapat membuat makanannya sendiri, tumbuhan juga sebagai sumber makanan bagi manusia dan hewan. Namun perkembangan industri saat ini semakin maju dengan pesat, perkembangan tersebut banyak yang menggeser lahan pertanian dan perkebunan lebih-lebih di daerah perkotaan, akibatnya lahan pertanian dan perkebunan semakin sempit. Di sisi lain kebutuhan akan hasil pertanian semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk. Mengingat di era sekarang lahan pertanian yang semakin hari semakin berkurang dan semakin sempit seiring bertambahnya jumlah penduduk, maka dari itu dilakukan budidaya tanaman dengan teknik hidroponik. (Mai Saroh, 2016)

Hidroponik adalah teknik budidaya dengan memanfaatkan air tanpa menggunakan media tanah. Salah satu keuntungan budidaya secara hidroponik adalah lebih mudah dalam pemberian nutrisi sehingga bisa lebih efisien. Keberhasilan budidaya secara hidroponik selain ditentukan oleh media yang digunakan juga ditentukan oleh larutan nutrisi yang diberikan, karena tanaman tidak mendapatkan unsur hara dari media tumbuhnya. Oleh karena itu tanaman harus mendapatkan hara melalui larutan nutrisi yang diberikan secara terus menerus. Larutan nutrisi yang digunakan pada hidroponik harus sesuai dengan kebutuhan tanaman, yaitu mengandung unsur hara makro dan mikro (Teuku Omaranda Muhadiansyah, 2016). Media tanam yang dibutuhkan dalam hidroponik adalah media tanam yang dapat menyimpan dan membantu penyerapan nutrisi ke tanaman. Pemberian nutrisi yang tepat pada sistem hidroponik akan memberikan hasil yang optimal bagi pertumbuhan tanaman. *Nutrient film technique* (NFT) termasuk cara

baru bercocok tanam secara hidroponik. Pada sistem ini, sebagian akar tanaman terendam dalam air yang sudah mengandung nutrisi dan sebagian berada di atas permukaan air yang bersirkulasi selama 24 jam secara terus-menerus. Lapisan air ini sangat tipis, sekitar 3 mm, sehingga mirip *film*. Beragam tanaman dapat diusahakan dengan sistem ini. Salah satu kelebihan sistem ini adalah memungkinkan tanaman berproduksi sepanjang tahun (Fatantia Husnaeni, 2018).

Perubahan sedikit pada konsentrasi ion  $H^+$  dan  $OH^-$  dapat merubah nilai pH secara signifikan. Pemilihan sistem pengendalian penetralan pH pada tugas akhir ini yang menggunakan metode *fuzzy*-PID dapat menghasilkan respon yang optimum dibanding metode lainnya. Masing-masing proses tersebut akan mempengaruhi respon sistem yang dikendalikan. Pemodelan pH pada tugas akhir ini dilakukan dengan mempertimbangkan konsentrasi dan laju reaksi dari proses titrasi asam basa.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perumusan masalah adalah bagaimana hasil dari perancangan pengendalian pH pada tanaman Pakcoy sistem hidroponik NFT dengan metode *fuzzy*-PID?

## 1.3 Tujuan

Tujuan yang dilakukan penelitian ini adalah mengetahui hasil dari perancangan pengendalian pH pada tanaman Pakcoy sistem hidroponik NFT dengan metode *fuzzy*-PID.

## 1.4 Lingkup Kajian

Lingkup kajian pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a) Jenis tanaman yang digunakan adalah Pakcoy.
- b) Jenis hidroponik yang digunakan adalah hidroponik NFT.
- c) Variabel yang dikontrol adalah pH.
- d) Sistem pengendalian menggunakan metode *fuzzy*-PID.

## **1.5 Sistematika Laporan**

Sistematika penulisan laporan penelitian tugas akhir ini berisikan tentang penjelasan ringkas dari masing-masing bagian yang terdapat pada laporan dengan rincian sebagai berikut:

### **BAB I Pendahuluan**

Bab I ini menjelaskan tentang latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, lingkup kajian, serta sistematika laporan.

### **BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori**

Bab II berisi tentang konsep dan prinsip dasar yang diperlukan untuk memecahkan masalah. Teori yang digunakan mengenai pemodelan dengan menggunakan reaksi *invariant*, hidroponik, larutan nutrisi, dan perhitungan lainnya.

### **BAB III Metodologi Penelitian**

Bab III yaitu 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), pemodelan dengan menggunakan reaksi invarian (pemodelan dinamik dan pemodelan statik), pengendalian dengan metode *fuzzy*-PID, pengolahan data (menganalisis data atau pembahasan, kesimpulan).

### **BAB IV Hasil dan Pembahasan**

Bab IV menjelaskan tentang hasil pengolahan data yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan yang dicapai dari penelitian tugas akhir ini.

### **BAB V Kesimpulan dan Saran**

Bab V menjelaskan tentang penarikan kesimpulan dari hasil penelitian tugas akhir sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai serta saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II

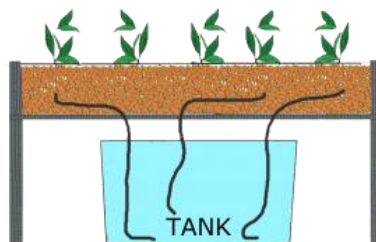
### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Hidroponik

Hidroponik adalah cara bercocok tanam tanpa menggunakan media tanah, budidaya tanaman ini lebih mengutamakan media air yang telah dicampur dengan nutrisi. Kata hidroponik berasal dari kata Yunani yaitu *hydro* yang artinya air dan *ponos* yang berarti daya. Sehingga secara bahasa diartikan sebagai budidaya tanaman dengan memanfaatkan air tanpa menggunakan tanah menjadi media tanam (*soiless*) (Anonim, 2020). Ada banyak metode dan teknik yang dapat digunakan dalam hidroponik antara lain metode *nuntrient film technique* (NFT), *drip system*, *water culture* dan sebagainya. Beberapa jenis hidroponik yang digunakan antara lain:

a) *Wick System*

Sistem ini dapat mudah dipahami dengan ilustrasi sumbu kompor. Sumbu atau media lain yang dapat mengalirkan air digunakan untuk menaikkan air yang berisi nutrisi ke bagian media tanam. Air akan resap ke dalam media tanam yang disediakan dan diletakkan di bagian atas penampungan air. *Wick System* pada pertanian hidroponik jenis ini mengandaikan tidak adanya elemen yang bergerak secara dinamis dan cepat untuk mensuplai nutrisi kepada tanaman (Setiyadi, 2015).

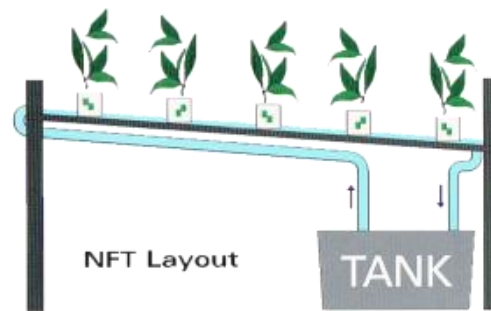


**Gambar 2. 1** Hidroponik dengan *wick system*

b) *Nutrient Film Technique* (NFT)

NFT merupakan jenis hidroponik yang tidak menggunakan media tanam apapun. Nutrisi diperoleh langsung dari air. Akar tanaman langsung bersentuhan dengan air tanpa campuran media tanam lainnya. Struktur tempat penanaman terdiri

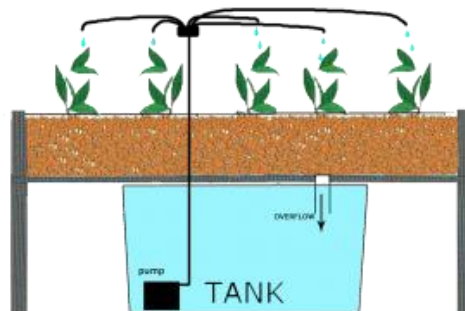
dari bak penampungan air lalu tempayan penanaman. Tempayan penanaman air akan diletakkan miring agar air dapat kembali mengalir ke dalam bak. Sistem ini membutuhkan pemompaan air dari bak penampungan menuju ke bagian atas tempayan tanaman secara terus menerus. Air akan dicampuri dengan sumber nutrisi tanaman (Setiyadi, 2015).



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

c) Sistem Penetasan Air (*Drip System*)

Sistem penetasan hanya akan memberikan air dalam bentuk tetesan yang berkala, sedikit berbeda dengan sistem hidroponik NFT. Terdapat mesin yang mengambil air dari tanki air nutrisi dan meneteskannya ke masing-masing media tanam dalam pot (Setiyadi, 2015).

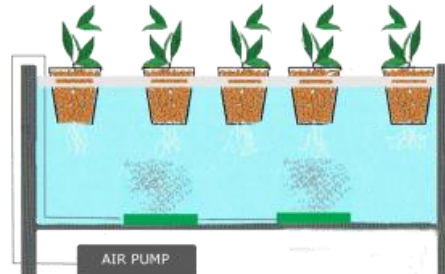


**Gambar 2. 3** Hidroponik dengan *drip system*

d) Sistem Kultur Air (*Water Culture System*)

Sistem kultur air menempatkan tempayan tanaman sebagai alat yang mengapung dalam tanaman. Tempayan (pot) tanaman akan dibuat dari jenis yang mudah mengapung, seperti *styrofoam*. Pot tersebut akan mengambang di permukaan air nutrisi. Motode ini turut dibantu dengan adanya sistem atau mesin

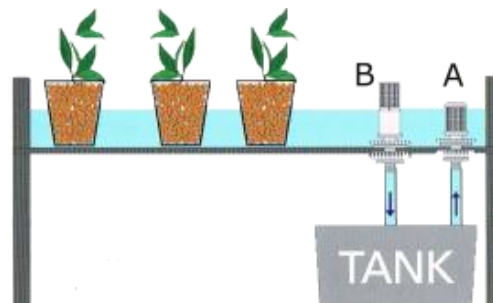
untuk menciptakan gelembung udara. Gelembung udara ini akan memperkaya asupan oksigen bagi tanaman (Setiyadi, 2015).



**Gambar 2. 4** Hidroponik dengan *water culture system*

e) EBB dan *Water Flow System*

Metode ini dikenal dengan sistem pengairan sementara. Sistem ini akan menggunakan alat khusus yang diatur secara ketat berdasarkan waktu. Pada periode tertentu, mesin akan mengairi pot media tanam. Pada periode tertentu pula air akan berkurang atau mengering. Pengaturan ketat mesin pengairan dan mesin waktu menjadi penentu sistem tanaman hidroponik ini (Setiyadi, 2015).

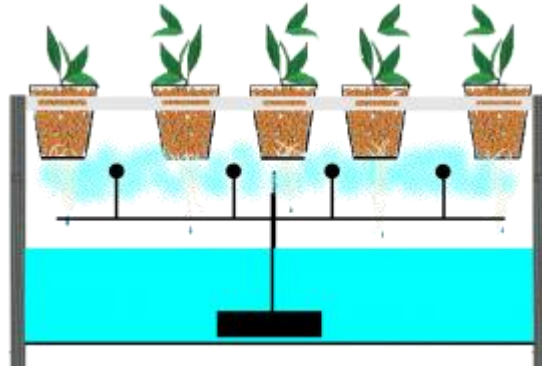


**Gambar 2. 5** Hidroponik dengan EBB dan *water flow system*

f) *Aeroponics System*

Metode ini dinilai sebagai metode paling canggih dalam pendekatan cocok tanam hidroponik. Sistem ini dikenal dapat memberikan hasil lebih cepat dibandingkan dengan kelima cara lainnya. Tantangan pada sistem ini adalah kecanggihan alat. Kelima sistem sebelumnya mengandaikan adanya aliran air. Sistem Aeroponik langsung menyemprotkan air nutrisi ke akar tanaman. Air yang disemprotkan dalam bentuk yang halus atau cenderung seperti uap air. Dengan cara

ini, akar tanaman akan lebih mudah memperoleh nutrisi sekaligus oksigen yang dibutuhkan untuk perkembangannya (Setiyadi, 2015).



**Gambar 2. 6** Hidroponik dengan *aeroponics system*

Jenis hidroponik yang digunakan adalah hidroponik NFT (*nutrient film technique*). NFT merupakan teknik pemberian nutrisi secara terus menerus yang dialirkan mengenai tanaman menggunakan pipa PVC dan menggunakan pompa dengan teknik resirkulasi. Konsep dasar Hidroponik sistem NFT ini adalah suatu metode budidaya tanaman dengan akar tanaman tumbuh pada lapisan nutrisi hidroponik yang dangkal dan tersirkulasi sehingga tanaman dapat memperoleh cukup air, nutrisi dan oksigen. Tanaman tumbuh dalam lapisan *polyethylene* dengan akar tanaman terendam dalam air yang berisi larutan nutrisi yang disirkulasikan secara terus menerus dengan pompa. Daerah perakaran dalam larutan nutrisi dapat berkembang dan tumbuh dalam larutan nutrisi yang dangkal sehingga bagian atas akar tanaman berada di permukaan antara larutan nutrisi dan *styrofoam*, adanya bagian akar dalam udara ini memungkinkan oksigen masih bisa terpenuhi dan mencukupi untuk pertumbuhan secara normal.

Sistem kontrol hidroponik bertujuan untuk mengatur pertumbuhan dari tanaman yang ditanam agar dapat tumbuh optimal sehingga didapat hasil yang maksimal. Hasil yang diharapkan dapat berupa buah dari tanaman berbuah ataupun daun dari tanaman jenis sayuran. Parameter yang dikontrol dapat berupa tingkat pencahayaan untuk membantu proses fotosintesis, konsentrasi kandungan nutrisi, kelembaban, suhu, atau pengaturan nilai pH nutrisi agar penyerapan nutrisi oleh akar bisa optimal.



## 2.2 Tanaman Pakcoy

Pakcoy (*Brassica rapa L*) merupakan sayuran yang tampilannya sangat mirip dengan sawi. Jika sawi batangnya lebih ramping dan memanjang, Pakcoy memiliki batang yang lebih besar dan pendek, serta struktur daunnya lebar. Tanaman yang terkenal dengan sebutan sawi daging ini memiliki rahasia ajaib yang masih jarang diketahui masyarakat antara lain yaitu kandungan vitamin A tinggi mampu menjaga kornea mata agar selalu sehat. Kandungan vitamin E pada Pakcoy berfungsi sebagai antioksidan di dalam sel, kandungan vitamin K yang sangat tinggi berguna dalam membantu proses pembekuan darah, mencegah penyakit jantung dan stroke (Jurustani, 2016).



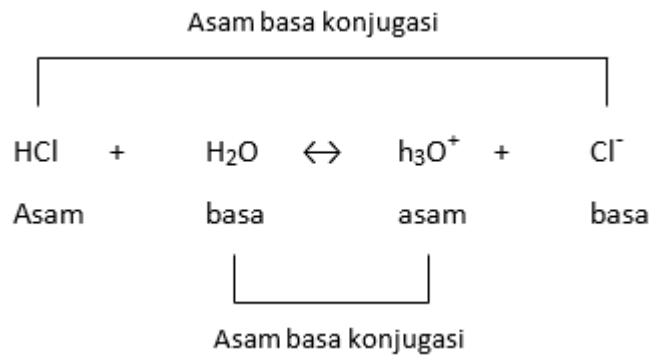
**Gambar 2. 7** Tanaman Pakcoy

## 2.3 Teori Asam-Basa

Teori asam basa yang banyak digunakan dalam menghitung dan menentukan derajat keasaman/kebasaan adalah teori asam-basa *Arrhenius* dan teori asam-basa *Bronsted Lowry*. Teori *Arrhenius* menyatakan bahwa asam adalah senyawa yang jika dilarutkan dalam air terionisasi menghasilkan ion  $H^+$ . Dan basa adalah senyawa yang jika dilarutkan dalam air menghasilkan ion  $OH^-$ . Contoh reaksinya adalah sebagai berikut:



Teori yang kedua yaitu teori *Bronsted Lowry* yang menyatakan bahwa asam adalah zat yang dalam reaksi bertindak sebagai donor proton (pemberi ion  $\text{H}^+$ ) dan basa adalah zat yang dalam reaksi bertindak akseptor proton (penerima ion  $\text{H}^+$ ). Contoh reaksinya sebagai berikut:



Pada reaksi di atas,  $\text{HCl}$  diubah menjadi  $\text{Cl}^-$ , jadi  $\text{HCl}$  sebagai donor proton karena memberikan ion  $\text{H}^+$ .  $\text{H}_2\text{O}$  diubah menjadi  $\text{H}_3\text{O}^+$ , jadi  $\text{H}_2\text{O}$  sebagai akseptor proton karena menerima ion  $\text{H}^+$  (Melati, 2019).

#### 2.4 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau pH digunakan untuk menyatakan keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan atau benda. pH normal memiliki nilai 7 sementara sifat asam ditunjukkan dengan nilai  $\text{pH} < 7$  sedangkan nilai  $\text{pH} > 7$  menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa. pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi. Umumnya indikator sederhana yang digunakan adalah kertas lakmus yang berubah menjadi merah bila keasamannya tinggi dan biru bila kebasaannya tinggi. Definisi yang formal tentang pH adalah negatif logaritma dari aktivitas ion Hidrogen (Haris, 2017).

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad (2.3)$$

pH larutan nutrisi hidroponik yaitu suatu derajat keasaman yang digunakan untuk mengungkapkan suatu larutan nutrisi hidroponik itu bersifat asam atau bersifat basa. Skala pH bukanlah skala yang absolut melainkan mempunyai sifat relatif terhadap sekumpulan larutan standar yang pH nya ditentukan berdasarkan persetujuan Internasional (SI). Pada tanaman membutuhkan nutrisi dengan pH netral atau mempunyai skala dalam rentang angka 6.0-6.5, bila pH kurang atau lebih dari rentangan angka tersebut, bisa dipastikan tanaman yang anda tanam tidak dapat tumbuh dan berproduksi dengan maksimal. Untuk mengukur suatu larutan nutrisi pada tanaman hidroponik dibutuhkan alat bernama pH meter. Dalam pH meter terdapat 14 angka dimulai angka 0-14. Bila pH meter menunjukkan angka dibawah angka 7 berarti larutan tersebut asam, dan bila pH meter menunjukkan angka lebih dari angka 7 sampai dengan angka 14 berarti larutan tersebut bersifat basa. Untuk tanaman hidroponik derajat pH sangatlah penting bagi pertumbuhan dan produksi yang diperoleh, untuk itu pH dalam larutan nutrisi harus ber-pH netral, dan pada media tanam pH memiliki skala pada rentang angka 6.0-6.5 karena agar akar tanaman dapat menyerap larutan nutrisi (Admin, 2014).

## 2.5 Persamaan *Nernst*

Persamaan *Nernst* dirumuskan oleh *Walther Hermann Nernst* seorang kimiawan Jerman yang menerapkan asas-asas termodinamika listrik. Persamaan *Nernst* adalah persamaan yang melibatkan potensial sel dengan konsentrasi suatu reaksi. Reaksi oksidasi reduksi banyak yang dapat dilangsungkan pada kondisi tertentu untuk membangkitkan listrik. Dasarnya bahwa reaksi oksidasi itu harus berlangsung spontan di dalam larutan air jika bahan pengoksidasi dan pereduksi tidak sama (Melisa, A'yunina, & Rahmagusviana, 2018). Persamaan *Nernst* (Imo, 2013) dirumuskan sebagai berikut:

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln Q \quad (2.4)$$

$$E = E^{\circ} - \frac{0.0592}{nF} \log Q \quad (\text{pada } 25^{\circ}\text{C}) \quad (2.5)$$

dengan :

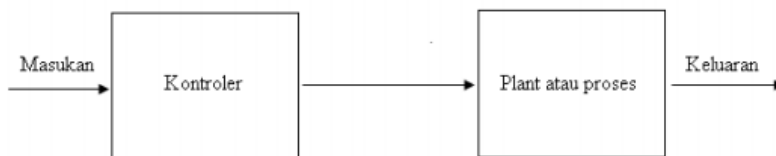
- $E$  : potensial elektroda yang ingin diketahui  
 $E^\circ$  : potensial elektroda pada keadaan standar  
 $R$  : tetapan gas ( $8.314472 \text{ J/K mol}^{-1}$ )  
 $T$  : temperatur (K)  
 $n$  : jumlah mol electron yang terlibat reaksi  
 $F$  : tetapan *Farraday* ( $96500 \text{ Coulomb}$ )  
 $Q$  : [oksidan]/[reduktan]

## 2.6 Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah proses pengaturan atau pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (variabel, parameter) sehingga berada pada harga (*range*) tertentu. Sistem kontrol merupakan sebuah sistem yang terdiri atas satu atau beberapa peralatan yang berfungsi untuk mengendalikan sistem lain yang berhubungan dengan sebuah proses. Terdapat dua jenis sistem kontrol yaitu sistem lup terbuka dan lup tertutup.

### a) Sistem kontrol lup terbuka (*open loop control system*)

Sistem kontrol lup terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak terpengaruh pada aksi pengontrolan, jadi pada sistem kontrol lup terbuka, keluaran tidak diumpanbalikkan, untuk dibandingkan dengan masukan. Gambar 2.8 menunjukkan hubungan masukan keluaran untuk sistem kontrol lup terbuka (Ogata, 2010).

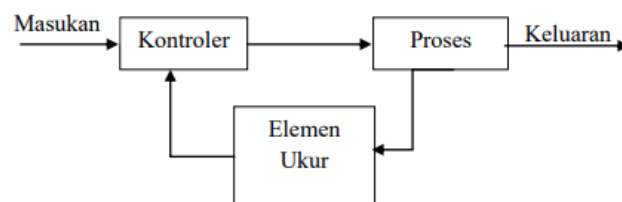


**Gambar 2. 8** Diagram blok sistem *open loop*

### b) Sistem kontrol lup tertutup (*closed loop control system*)

Sistem kontrol lup tertutup adalah sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Jadi sistem kontrol lup tertutup adalah sistem kontrol berumpan balik. Sinyal kesalahan penggerak, yang

merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik, diumpankan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan. Dengan kata lain, istilah “lup tertutup” berarti menggunakan aksi umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem. Gambar 2.9 menunjukkan hubungan masukan keluaran dari sistem kontrol lup tertutup (Ogata, 2010).



**Gambar 2. 9** Diagram blok sistem *close loop*

## 2.7 Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*artificial intelligent*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. Algoritma ini digunakan dalam berbagai aplikasi pemrosesan data yang tidak dapat direpresentasikan dalam bentuk biner. Logika *fuzzy* menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. *Fuzzy* secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar yang artinya suatu nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan.

Logika *fuzzy* merupakan suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran antara benar atau salah. Dalam teori logika *fuzzy* suatu nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan. Namun seberapa besar kebenaran dan kesalahan tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Logika *fuzzy* memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 (nol) hingga 1 (satu) dan logika *fuzzy* menunjukkan sejauh mana suatu nilai benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah. Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output dan mempunyai nilai kontiniu. *Fuzzy* dinyatakan dalam derajat keanggotaan dan derajat kebenaran. Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan

sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama. Gambar di bawah menunjukkan struktur dasar pengendalian *fuzzy* (Ernie, 2017).

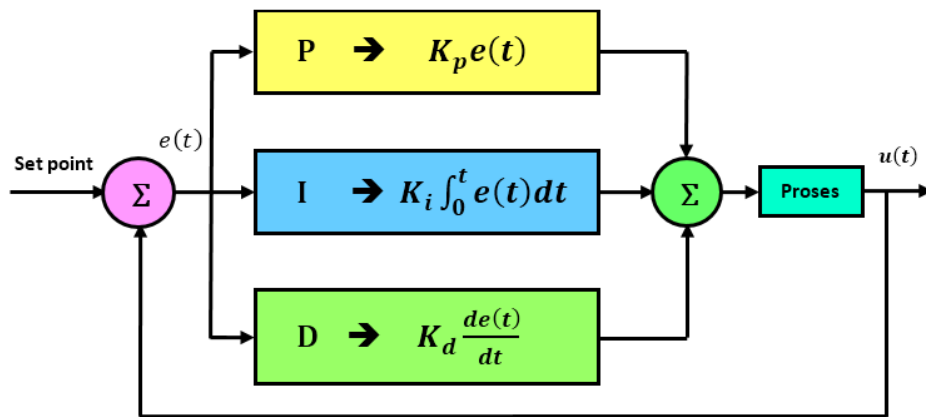


**Gambar 2. 10** Struktur dasar pengendali *fuzzy*

Metode *fuzzy* mamdani merupakan salah satu bagian dari *fuzzy inference system* yang berguna untuk penarikan kesimpulan atau suatu keputusan terbaik dalam permasalahan yang tidak pasti. Metode *fuzzy* mamdani diperkenalkan oleh *Ebrahim Mamdani* pada tahun 1975. Metode *fuzzy* mamdani dalam prosesnya menggunakan kaedah-kaedah linguistik dan memiliki algoritma *fuzzy* yang dapat dianalisis secara matematika, sehingga lebih mudah dipahami. Kelebihan pada metode *fuzzy* mamdani adalah lebih spesifik, artinya dalam prosesnya metode *fuzzy* mamdani lebih memperhatikan kondisi yang akan terjadi untuk setiap daerah *fuzzy*, sehingga menghasilkan hasil keputusan yang lebih akurat. Dibandingkan dengan metode lain dari *fuzzy inference system*, yaitu metode sugeno, metode tersebut tidak melalui proses komposisi aturan dan defuzzifikasi dengan metode *centroid*. Proses tersebut berguna untuk mengetahui nilai output dari pusat daerah *fuzzy*. Selain itu, Metode *fuzzy* mamdani lebih memperhatikan kondisi setiap daerah *fuzzy* nya, sehingga menghasilkan hasil yang lebih akurat (Febriany, 2016).

## 2.8 Pengendali PID

Kontrol *Proportional, Integral, Derivative* (PID) adalah sistem pengendali yang merupakan gabungan antara aksi kendali proporsional ditambah aksi kendali integral ditambah aksi kendali derivatif atau turunan (Ogata, Teknik Kontrol Automatik, 1996). Gambar 2.11 menunjukkan blok diagram kontrol PID yang umum digunakan di industri. Kontrol Proportional (P), Integral (I), dan Derivatif (D) dapat digunakan bersamaan secara paralel ataupun digunakan terpisah dengan tidak menggunakan salah satu komponen P, I atau D.

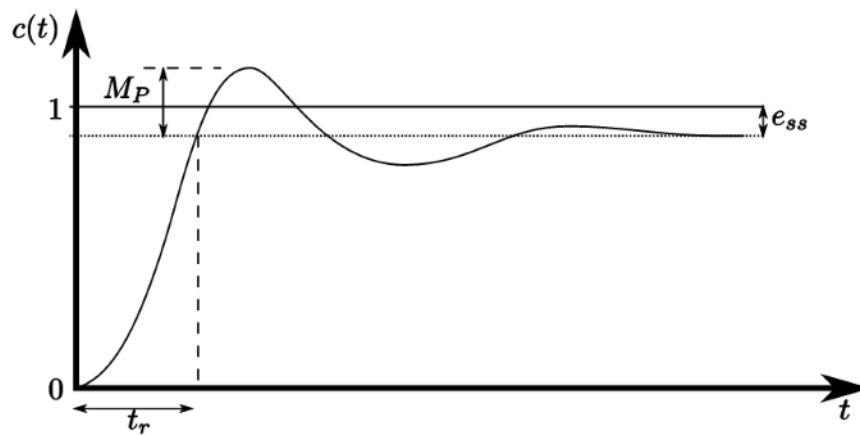


**Gambar 2. 11** Diagram blok kontrol PID

Persamaan nilai keluaran dari kontrol PID, dirumuskan sebagai:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) menjelaskan bahwa nilai keluaran  $u(t)$ , merupakan jumlah dari *gain proportional* ( $K_p$ ), *gain integral* ( $K_i$ ), dan *gain derivative* ( $K_d$ ) yang masing-masing dipengaruhi oleh *error* ( $e$ ) dalam selang waktu ( $t$ ) tertentu. Respon sistem kendali PID dapat dilustrasikan pada gambar 2.12.



**Gambar 2. 12** Sinyal respon sistem kendali PID

Aksi kendali PID memiliki karakter mampu mengurangi *rise time* ( $t_r$ ), mengurangi *maksimum overshoot* ( $M_p$ ), dan menghilangkan kesalahan keadaan tunak atau *error steady state* ( $e_{ss}$ ) (Suyadhi, 2015).

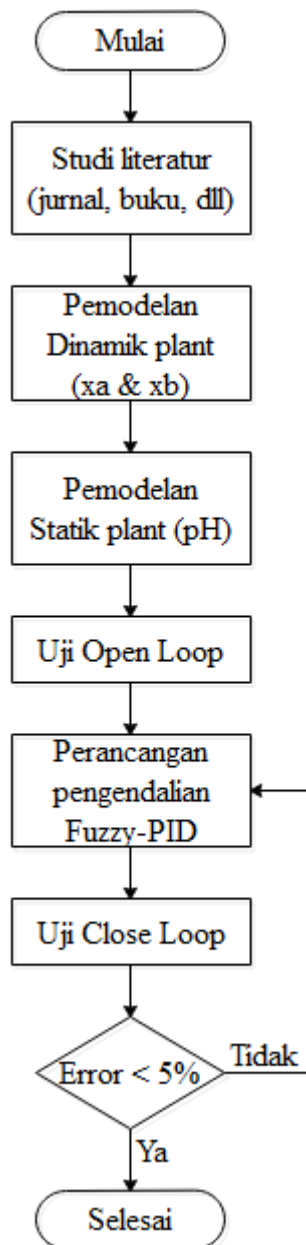
*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

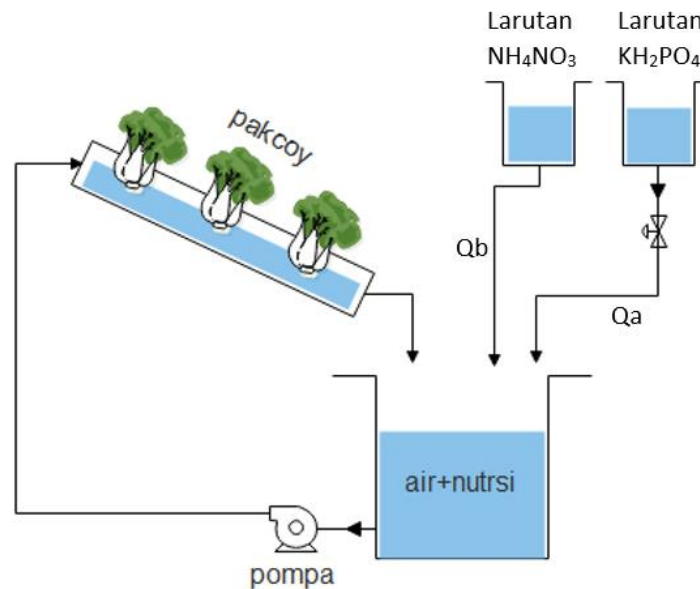
### 3.1 Diagram Alir

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



**Gambar 3. 1** Flowchart atau diagram alir penelitian

Desain *plant* sistem hidroponik dapat dilihat pada gambar 3.2.



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

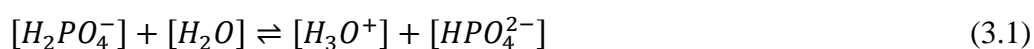
Pada gambar 3.2 yaitu *plant* hidroponik, terdapat 2 tangki larutan nutrisi yaitu tangki dengan larutan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dan tangki dengan larutan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dimana yang akan dikendalikan adalah tangki yang berisi larutan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  yang mempunyai sifat asam lemah.  $Q_a$  merupakan laju aliran dari tangki larutan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dan  $Q_b$  merupakan laju aliran dari tangki larutan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . *Valve* digunakan untuk mengatur pH agar dapat mencapai pH yang dibutuhkan oleh tanaman Pakcoy.

### 3.2 Pemodelan Statik dan Dinamik Titrasi *Pottasium Dihydrogen Phospate* ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) dan *Ammonium Nitrate* ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )

#### a) Pembuatan larutan $\text{KH}_2\text{PO}_4$

Dari penelitian sebelumnya (Zuhar, 2020), diperoleh hasil perhitungan yang kemudian digunakan dalam penelitian ini. Padatan garam *pottasium dihydrogen phospate* yang dilarutkan air, akan terjadi persamaan reaksi kimia diasosiasi asam dan hidrolisis sebagai berikut:

#### a) Reaksi disosiasi asam

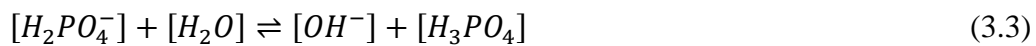


Pada reaksi di atas, larutan  $H_2PO_4^-$  bereaksi dengan air dengan melepaskan satu ion hidrogen dan membentuk basa konjugasi  $HPO_4^{2-}$ . Dengan nilai  $K_a$  larutan  $H_2PO_4^-$  dari reaksi disosiasi asam di atas adalah.

$$K_{a2} = \frac{[H_3O^+][HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = 10^{-7,21} \quad (3.2)$$

Reaksi ini menaikkan konsentrasi ion hidrogen yang berimbas menaikkan pH.

b) Reaksi hidrolisis



Pada reaksi di atas, larutan  $HPO_4^{2-}$  bereaksi dengan air dengan mengambil ion hidrogen membentuk asam konjugasi  $H_3PO_4$ . Dengan nilai  $K_b$  larutan  $H_3PO_4$  dari reaksi hidrolisis di atas adalah.

$$K_{b1} = \frac{K_w}{K_{a1}} = \frac{[OH^-][H_3PO_4]}{[HPO_4^{2-}]} = 10^{-11,88} \quad (3.4)$$

$K_{a1}$  merupakan tetapan ionisasi asam untuk larutan  $H_3PO_4$  yang bernilai sebesar  $10^{-2,12}$ . Reaksi ini bertujuan untuk menaikkan konsentrasi ion hidroksida yang berimbas menurunkan nilai pH.

Kesetimbangan massa yang terbentuk adalah:

$$[KH_2PO_4] = [HPO_4^{2-}] + [H_2PO_4^-] + [H_3PO_4] \quad (3.5)$$

Kesetimbangan muatan yang terbentuk adalah:

$$[K^+][H_3O^+] = 2[HPO_4^{2-}] + [H_2PO_4^-] + [OH^-] \quad (3.6)$$

Disederhanakan menjadi :

$$[H_3O^+] - [OH^-] = [HPO_4^{2-}] - [H_3PO_4] \quad (3.7)$$

Konsentrasi ion *hydrogen* dan ion hidroksida dapat disederhanakan dengan persamaan (3.8), sebagai berikut :

$$K_w = [H_3O^+][OH^-] = 10^{-14} \quad (3.8)$$

Konsentrasi  $HPO_4^{2-}$  dapat dihitung, sebagai berikut :

$$[HPO_4^{2-}][H_3O^+] = K_{a2}[H_2PO_4^-] \quad (3.9)$$

Pada aliran input qa *plant* tangki nutrisi, garam  $KH_2PO_4$  dengan massa 1,36 gram yang dilarutkan ke dalam 1000 ml air sehingga didapatkan larutan  $KH_2PO_4$  dengan konsentrasi 0,01 Molar. Konsentrasi  $H_2PO_4^-$  sama dengan konsentrasi garam yaitu 0,01 Molar. Konsentrasi  $H_3O^+$  yang terbentuk sama dengan konsentrasi  $HPO_4^{2-}$  yang muncul dari reaksi disosiasi asam, sehingga didapatkan persamaan (3.10), sebagai berikut:

$$[HPO_4^{2-}] = \sqrt{K_{a2}[H_2PO_4^-]} \quad (3.10)$$

$$[HPO_4^{2-}] = \sqrt{10^{-7.21} \times 0,01 \text{ M}} \quad (3.11)$$

$$[HPO_4^{2-}] = 2,48 \times 10^{-5} \text{ Molar} \quad (3.12)$$

Konsentrasi  $H_3PO_4$  dapat dihitung dengan persamaan (3.4), sebagai berikut :

$$[OH^-][H_3PO_4] = K_{b1}[H_2PO_4^-] \quad (3.13)$$

Konsentrasi  $H_3O^+$  yang terbentuk sama dengan konsentrasi  $H_3PO_4$  yang muncul dari reaksi disosiasi asam, sehingga didapatkan persamaan (3.14), sebagai berikut:

$$[H_3PO_4] = \sqrt{K_{b1}[H_2PO_4^-]} \quad (3.14)$$

$$[H_3PO_4] = \sqrt{10^{-11.88} \times 0,01 \text{ M}} \quad (3.15)$$

$$[H_3PO_4] = 1,148 \times 10^{-7} \text{ Molar} \quad (3.16)$$

Untuk mendapatkan ion hidrogen relatif terhadap ion hidrosida menggunakan persamaan (3.14), sehingga perhitungannya sebagai berikut :

$$[H_3O^+] - [OH^-] = [HPO_4^{2-}] - [H_3PO_4] \quad (3.17)$$

$$[H_3O^+] - [OH^-] = 2,48 \times 10^{-5} - 1,148 \times 10^{-7} M \quad (3.18)$$

$$[H_3O^+] = 0,000024685 M \quad (3.19)$$

**b) Pembuatan larutan  $NH_4NO_3$**

Persamaan reaksi kimia yang terjadi ketika padatan garam *ammonium nitrate* dilarutkan di dalam air digambarkan sebagai berikut:

Reaksi diasosiasi asam:



Nilai  $K_{an}$  dari reaksi diatas adalah sebagai berikut :

$$K_{an} = \frac{[H_3O^+][NH_3]}{[NH_4^+]} = 10^{-9,25} \quad (3.21)$$

Kesetimbangan massa yang terbentuk adalah sebagai berikut :

$$[NH_4NO_3] = [NH_4^+] + [NH_3] \quad (3.22)$$

Kesetimbangan muatan yang terbentuk adalah sebagai berikut :

$$[NO_3^-] + [OH^-] = [NH_4^+][H_3O^+] \quad (3.23)$$

$NO_3^-$  merupakan salah satu unsur mikro dalam larutan AB mix, namun unsur tersebut dianggap tidak mempengaruhi nilai pH pada larutan AB mix. Maka, konsentrasi  $NO_3^-$  dapat disetarakan dengan konsentrasi  $NH_4NO_3$ . Persamaan (3.23), dapat disederhanakan sebagai berikut :

$$[H_3O^+] - [OH^-] = [NH_3] \quad (3.24)$$

Pada aliran input qb *plant* tangki nutrisi, garam  $NH_4NO_3$  dengan massa 0,8 gram yang dilarutkan ke dalam 1000 ml air, sehingga didapatkan larutan  $NH_4NO_3$  dengan konsentrasi 0,1 Molar. Konsentrasi  $NO_3^-$  sama dengan konsentrasi garam yaitu 0,1 Molar. Konsentrasi  $[H_3O^+]$  yang terbentuk sama dengan konsentrasi  $[NH_3]$  yang muncul dari reaksi diasosiasi asam, sehingga didapatkan persamaan (3.25), sebagai berikut:

$$[NH_3] = \sqrt{K_{an}[NH_4^+]} \quad (3.25)$$

$$[NH_3] = \sqrt{10^{-9,25} \times 0,1 M} \quad (3.26)$$

$$[NH_3] = 7,4989 \times 10^{-6} M \quad (3.27)$$

Untuk mendapatkan ion hidrogen relatif terhadap ion hidrosida menggunakan persamaan (3.7), sehingga perhitungannya sebagai berikut :

$$[H_3O^+] - [OH^-] = [NH_3] \quad (3.28)$$

$$[OH^-] = 7,4989 \times 10^{-6} M \quad (3.29)$$

### c) **Pemodelan Dinamik**

Tujuan dari pemodelan matematis *plant* ini adalah untuk mendapatkan perubahan konsentrasi menurut reaksi *invariant* yang terdapat pada *plant* tangki nutrisi. Aliran *flow* yang terjadi pada *plant* tangki nutrisi melibatkan 2 aliran input, yaitu aliran  $q_a$  yang mengandung larutan *pottasium dihydrogen phospate* ( $KH_2PO_4$ ) dan aliran  $q_b$  yang mengandung *ammonium nitrate* ( $NH_4NO_3$ ) serta 1 aliran output produk. Pengendalian yang dirancang bukanlah pengendalian pH berdasarkan aliran output tetapi pengendalian pH campuran yang berada di dalam *plant* tangki nutrisi yang dikendalikan berdasarkan aliran input  $KH_2PO_4$ . Reaksi *invariant* menggabungkan persamaan dinamika kesetimbangan masa, muatan (elektronetralitas) dan aljabar linier (polinomial dalam bentuk  $H_3O^+$ ).

Pemodelan kesetimbangan reaksi kimia dilakukan dengan konsep dari reaksi *invariant* (Gustafsson and Waller). Pada sistem ini, dua reaksi *invariant* yang melibatkan semua aliran input ( $i=2$ ) adalah:

$$W_{ai} = [H_3O^+]_i - [OH^-]_i - [H_2PO_4^-]_i - 2[HPO_4^{2-}]_i \quad (3.30)$$

$$W_{bi} = [HPO_4^{2-}]_i + [H_2PO_4^-]_i + [H_3PO_4]_i \quad (3.31)$$

dengan:

$W_a$  : jumlah konsentrasi relasi ion hidrogen (Molar)

$W_b$  : jumlah konsentrasi ion *phosphate* (Molar)

$a$  : relasi ion hidrogen pada reaksi *invariant*

$b$  : relasi ion *phosphate* pada reaksi *invariant*

1 : aliran  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (*potassium phosphate*)

2 : aliran  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (*ammonium nitrate*)

Dengan memasukkan nilai-nilai dari perhitungan data yang telah diperoleh, maka diperoleh harga persamaan reaksi *invariant* untuk input  $\text{H}_2\text{PO}_4$  adalah sebagai berikut :

$$W_{ai} = [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-] - [\text{H}_2\text{PO}_4^-] - 2[\text{HPO}_4^{2-}] \quad (3.32)$$

$$W_{a1} = 0.000024685 - 0 - 0.01 - 2(2.48 \times 10^{-5}) \quad (3.33)$$

$$W_{a1} = -0.010024915 \text{ Molar} \quad (3.34)$$

$$W_{bi} = [\text{HPO}_4^{2-}] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{H}_3\text{PO}_4] \quad (3.35)$$

$$W_{b1} = 2.48 \times 10^{-5} + 0.01 + 1.148 \times 10^{-7} \quad (3.36)$$

$$W_{b1} = 0.0100249 \text{ Molar} \quad (3.37)$$

Sedangkan persamaan reaksi *invariant* untuk input  $\text{NH}_4$  (1) adalah sebagai berikut :

$$W_{ai} = [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-] - [\text{H}_2\text{PO}_4^-] - 2[\text{HPO}_4^{2-}] \quad (3.38)$$

$$W_{a2} = 0 - 7.4989 \times 10^{-6} - 0 - 0 \quad (3.39)$$

$$W_{a2} = -0.000074989 \text{ Molar} \quad (3.40)$$

$$W_{bi} = [\text{HPO}_4^{2-}] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{H}_3\text{PO}_4] \quad (3.41)$$

$$W_{b2} = 0 + 0 + 0 \quad (3.42)$$

$$W_{b2} = 0 \text{ Molar} \quad (3.43)$$

Pemodelan sistem dengan menggunakan reaksi *invariant* ini dapat digunakan untuk memodelkan proses dinamik. Seperti yang telah diketahui bahwa reaksi pada proses pencampuran asam-basa merupakan proses dengan model *non-linear*.. Sehingga untuk dapat memodelkan proses tersebut, maka reaksi *invariant* dikombinasikan dengan persamaan *mass/material balance*, sebagai berikut:

$$V \frac{dW_a}{dt} = qa(W_{a1} - W_a) + qb(W_{a2} - W_a) - (qa + qb)W_a \quad (3.44)$$

$$V \frac{dW_b}{dt} = qa(W_{b1} - W_b) + qb(W_{b2} - W_b) - (qa + qb)W_b \quad (3.45)$$

dengan :

$V$  : volume tangki nutrisi (mL)

$qa$  : aliran asam fosfat (mL/s)

$qb$  : aliran ammonia (mL/s)

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

$$1000 \frac{dW_a}{dt} = qa(-0.010024915 - W_a) + qb(-0.000074989 - W_a) - (qa + qb)W_a \quad (3.46)$$

$$1000 \frac{dW_b}{dt} = qa(0.0100249 - W_b) + qb(0 - W_b) - (qa + qb)W_b \quad (3.47)$$

Nilai  $W_a$  dan  $W_b$  dari persamaan- persamaan *mass balance* diatas, merupakan nilai konsentrasi asam ( $x_a$ ) dan konsentrasi basa ( $x_b$ ) pada saat proses berlangsung yang digunakan untuk mencari harga pH melalui persamaan model statik.

#### d) Pemodelan Statik

Pemodelan statik dilakukan setelah pemodelan dinamik, dengan melihat persamaan reaksi kimia, ketetapan diasosiasi, dan reaksi *invariant*, maka dapat diketahui hubungan konsentrasi ion hidrogen  $[H^+]$ .

Jika:  $W_{ai} = x_a$ ;  $W_{bi} = x_b$ ;  $[H_3O^+] = A$  ; dan  $[H_2PO_4^-] = P$

Maka bisa didapatkan persamaan reaksi *invariant* dari persamaan (3.30) dan (3.31) menjadi:

$$x_a = A - \frac{K_w}{A} - P - 2 \frac{K_{a2} \cdot P}{A} \quad (3.48)$$

$$x_b = \frac{K_{a2}}{A} + P + \frac{K_{b1} \cdot P}{K_w/A} \quad (3.49)$$

Jika persamaan (3.48) dan (3.49) di atas dieliminasi, maka menjadi:

$$x_a + x_b = A - \frac{K_w}{A} - \frac{K_{a2} \cdot P}{A} + \frac{K_{b1} \cdot P}{K_w/A} \quad (3.50)$$

$$x_a + x_b + \frac{K_w}{A} - A = P \left( \frac{K_{b1} \cdot A}{K_w} - \frac{K_{a2}}{A} \right) \quad (3.51)$$



$$P = \frac{x_a + x_b + \frac{K_w}{A} - A}{\frac{K_{b1} \cdot A}{K_w} - \frac{K_{a2}}{A}} \quad (3.52)$$

$$P = \frac{K_w^2 - K_w \cdot A^2 + x_a \cdot K_w \cdot A + x_b \cdot K_w \cdot A}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \quad (3.53)$$

Substitusi persamaan (3.53) ke salah satu persamaan *invariant*, sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$0 = x_a \cdot A + x_b \cdot A \left( \frac{K_w \cdot A}{K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2} \right) + \frac{K_w^2 \cdot A - K_w A^3 + K_{b1} \cdot K_w \cdot A^2 - K_{b1} A^4 + K_{a2} \cdot K_w^2 - K_{a2} K_w A^2}{K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2} \quad (3.54)$$

Persamaan (3.54) diubah ke dalam bentuk polinomial untuk mencari harga  $A$ :

$$0 = x_a \cdot A (K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2) + x_b \cdot A \cdot K_w \cdot A + K_w^2 \cdot A - K_w A^3 + K_{b1} \cdot K_w \cdot A^2 - K_{b1} A^4 + K_{a2} \cdot K_w^2 - K_{a2} K_w A^2 \quad (3.55)$$

$$0 = x_a \cdot A \cdot K_{a2} \cdot K_w + x_b \cdot K_w \cdot A^2 + x_a \cdot K_{b1} \cdot A^3 + x_b \cdot K_w \cdot A^2 + K_w^2 \cdot A - K_w A^3 + K_{b1} \cdot K_w \cdot A^2 - K_{b1} A^4 + K_{a2} \cdot K_w^2 - K_{a2} K_w A^2 \quad (3.56)$$

$$0 = -A^4 K_{b1} + A^3 (x_a \cdot K_{b1} - K_w) + A^2 (x_a \cdot K_w + x_b \cdot K_w - K_a K_w) + A (x_a \cdot K_{a2} \cdot K_w + K_w^2) + K_{a2} \cdot K_w^2 \quad (3.57)$$

Jika variabel  $A$  pada persamaan (3.57) dikembalikan ke variabel semula bahwa  $A = [H_3O^+]$ , maka:

$$0 = -[H_3O^+]^4 K_{b1} + [H_3O^+]^3 (W_a \cdot K_{b1} - K_w) + [H_3O^+]^2 (W_a \cdot K_w + W_b \cdot K_w - K_{a2} K_w) + [H_3O^+] (W_a \cdot K_{a2} \cdot K_w + K_w^2) + K_{a2} \cdot K_w^2 \quad (3.58)$$

Dengan memasukkan beberapa nilai konstanta yang telah diketahui, maka didapatkan persamaan (3.59):

$$0 = -[H_3O^+]^4 10^{-11,88} + [H_3O^+]^3 (W_a \cdot 10^{-11,88} - 10^{-14}) + [H_3O^+]^2 (W_a \cdot 10^{-14} + W_b 10^{-14} - 10^{-7,21} \cdot 10^{-14}) + [H_3O^+] (W_a \cdot 10^{-7,21} \cdot 10^{-14} + (10^{-14})^2) + 10^{-7,21} \cdot (10^{-14})^2 \quad (3.59)$$

### 3.3 Perancangan Model Matematis *Plant* Hidroponik

Model matematis pada *gain valve* yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

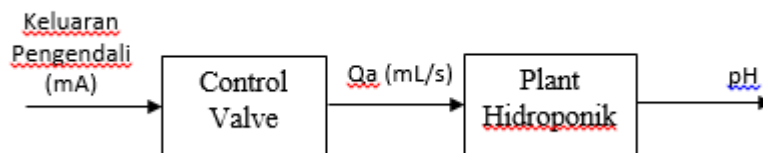
$$\text{Gain valve dengan perbandingan flow max/mA} = \frac{14}{20-4} = 0.875 \quad (3.59)$$

### 3.4 Simulasi Sistem

Simulasi sistem ini dibuat dengan menggunakan *software* MATLAB r2015a (M-File, Fis-File dan Simulink). Simulasi sistem dilakukan setelah memodelkan proses pada *plant* tangki nutrisi berupa model dinamik dan model statik. Simulasi sistem dibagi menjadi dua bagian yaitu untuk sistem terbuka (*open loop*) dan untuk sistem tertutup (*close loop*).

#### a. Sistem Terbuka (*Open Loop*)

Simulasi *open loop* dilakukan untuk melihat respon sistem ketika tanpa adanya pengendali logika *fuzzy*-PID. Uji *open loop* juga dilakukan untuk melihat respon transien dari *plant* yang akan diuji. Masukan pada simulasi ini berupa nilai arus dengan rentang 4-20 mA dan keluaran berupa pH. Diagram blok *open loop* dapat dilihat pada gambar 3.3 di bawah ini:



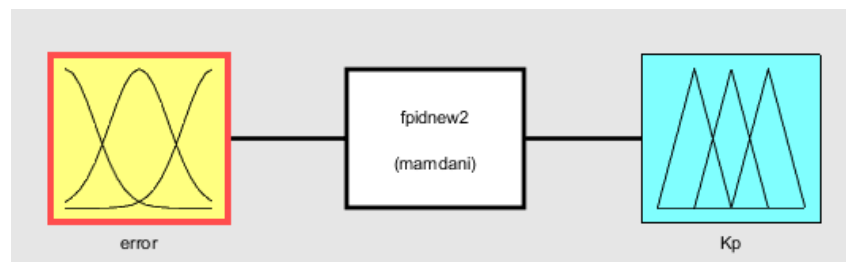
**Gambar 3. 3** Diagram blok *open loop*

#### b. Penentuan Parameter PID dan Logika *Fuzzy*

Penentuan parameter tuning PID berupa  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  dengan menggunakan metode eksperimen atau disebut juga dengan metode tuning manual dibutuhkan untuk mendapatkan respon pengendalian yang stabil dan optimal. Hasil yang diperoleh berupa  $K_p$  sebesar 0.25;  $K_i$  sebesar 0.015; dan  $K_d$  sebesar 0.025 yang nantinya nilai  $K_p$  akan digunakan sebagai bagian dari *membership function* sebagai

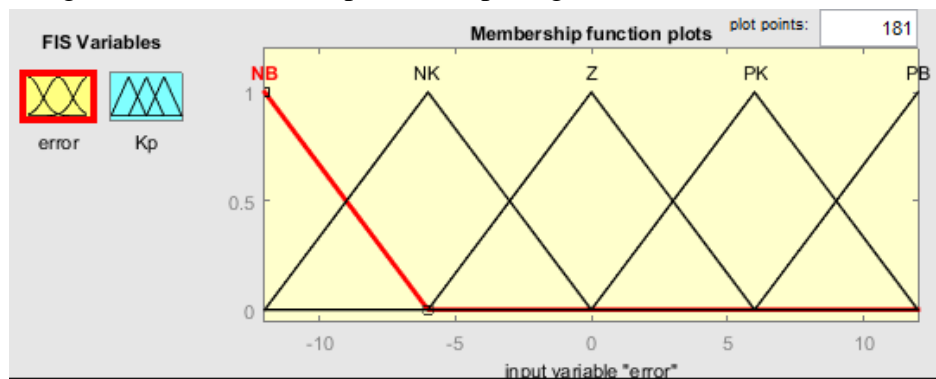
keluaran dari kontrol *fuzzy* sedangkan untuk nilai  $K_i$  dan  $K_d$  hasil tuning manual akan langsung menjadi masukan kontrol PID.

Masukan yang diberikan pada kontrol logika *fuzzy* berupa *error* dan nilai  $K_p$  menjadi keluaran yang berfungsi sebagai nilai pengendali pada kontrol PID, sehingga disebut kontrol *fuzzy*-PID. Nilai  $K_p$  akan sebanding dengan *error* sehingga besaran keluaran  $K_p$  dapat diatur dengan menggunakan *membership function* dengan *rule base* yang telah dibuat.



**Gambar 3. 4** Desain logika *fuzzy*

Pada bagian *error* digunakan 5 *membership function* yang berupa segitiga dengan rentang nilai -12 sampai 12 yang didapat dari *error* simulasi PID. Perancangan masukan *error* dapat dilihat pada gambar 3.5 di bawah ini:



**Gambar 3. 5** *Membership function* masukan *error*

Pada tahapan berikutnya berupa pemetaan nilai *crisp* keluaran, dimana pada tahapan ini terjadi proses fuzzifikasi yaitu dari data pada proses pengendalian berbentuk *crisp* dan nilai *crisp* tersebut akan dipetakan ke dalam nilai *fuzzy* yang bersesuaian dengan rentang kerja setiap variabel masukan. Pada bagian keluaran berupa parameter  $K_p$ , juga digunakan 5 *membership function* berupa segitiga dengan rentang nilai 0.225 sampai 0.275. Adapun perancangannya dapat dilihat pada gambar 3.7 di bawah ini:



**Gambar 3. 6** Membership function keluaran Kp

Terdapat *rule base* pada perancangan logika *fuzzy* yang digunakan sebagai aturan untuk menghubungkan antara masukan dan keluaran. *Rule base* ini akan memproses data masukan dari *fuzzy* yang berupa *error* untuk menentukan keluaran berupa nilai Kp dengan nilai terbaik dari sistem *fuzzy*. 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. Perancangannya adalah sebagai berikut:

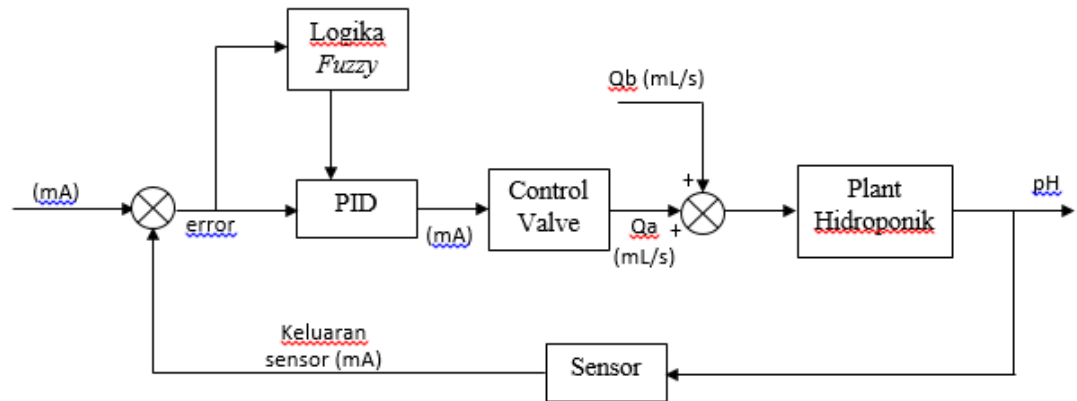
1. If (error is NB) then (Kp is K) (1)
2. If (error is NK) then (Kp is SK) (1)
3. If (error is Z) then (Kp is S) (1)
4. If (error is PK) then (Kp is SB) (1)
5. If (error is PB) then (Kp is B) (1)

**Gambar 3. 7** Rule base sistem logika *fuzzy*

### c. Sistem Tertutup (*Close Loop*)

Pada sistem *close loop* akan dimasukkan blok kontroler yang mendapatkan umpan balik dari respon sistem. Sistem kendali *fuzzy*-PID dengan masukan pada kontrol *fuzzy* berupa nilai *error* dari *setpoint* dan keluaran berupa nilai Kp yang kemudian nilai Kp tersebut menjadi masukan pada kontrol PID dengan nilai Ki dan Kd dibuat konstan yaitu 0.015 dan 0.025 yang selanjutnya akan diterima oleh *control valve* dan menghasilkan nilai *flow* qa dan juga terdapat gangguan berupa *flow* qb yang kemudian kedua *flow* tersebut diteruskan ke *plant* hidroponik untuk mendapatkan nilai pH. Dalam uji *close loop* dilakukan uji ubah gangguan berupa

*flow*  $q_b$  dengan menaikkan dan menurunkan gangguan sebesar 10%. Diagram *close loop* dapat dilihat pada gambar 3.8 di bawah ini:



**Gambar 3. 6** Diagram blok *close loop*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB IV**

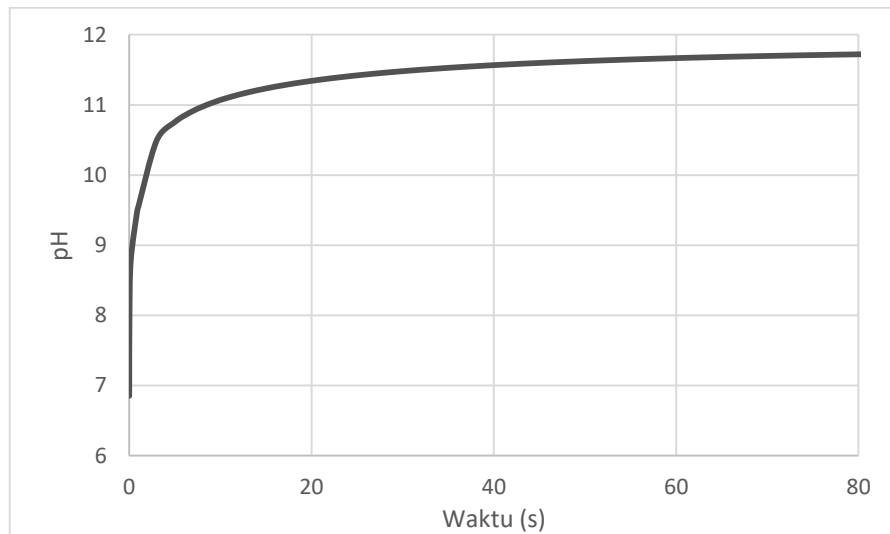
### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Setelah melakukan pemodelan sistem, langkah selanjutnya adalah merancang sistem pengendalian pH dengan menggunakan *software* MATLAB r2015a (Simulink, Fis-File dan M-File), yang kemudian akan dilakukan simulasi. Hasil dari simulasi tersebut akan dibuat analisa data.

Terdapat dua tahapan simulasi, yaitu simulasi sistem *open loop* dan *close loop*. Simulasi *open loop* digunakan untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi asam dan basa dengan pH pada saat proses sedang berlangsung. Simulasi *close loop* digunakan untuk mengetahui respon sistem dengan menggunakan sebuah kontroler yang telah dirancang.

#### **4.1 Simulasi Sistem *Open Loop***

Simulasi sistem *open loop* dilakukan untuk mengetahui hubungan laju konsentrasi asam  $KH_2PO_4$  terhadap pH. Model dinamik adalah pemodelan proses untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi larutan asam dan konsentrasi larutan basa dalam *plant* ketika sistem pengukuran pH berjalan terus-menerus. Pembuatan model dinamik berdasarkan persamaan (3.30) dan (3.31), sedangkan model statik adalah model *plant* pengukuran pH berdasarkan reaksi *invariant* persamaan (3.48) dan (3.49) yang diolah menjadi bentuk persamaan polinomial  $[H^+]$ . Konsentrasi  $[H^+]$  yang diketahui digunakan untuk mendapatkan nilai pH larutan berdasarkan persamaan (3.59).



**Gambar 4. 1** Grafik hasil uji *open loop*

Dari hasil uji *open loop* yaitu pada gambar 4.1 di atas, dapat diketahui bahwa nilai pH pada respon sistem jauh melebihi nilai pH yang dibutuhkan oleh tanaman Pakcoy, sehingga dapat berdampak buruk bagi tanaman. Untuk itu diperlukan adanya sistem kontrol pH untuk menjaga nilai pH agar tetap stabil sesuai dengan kebutuhan tanaman.

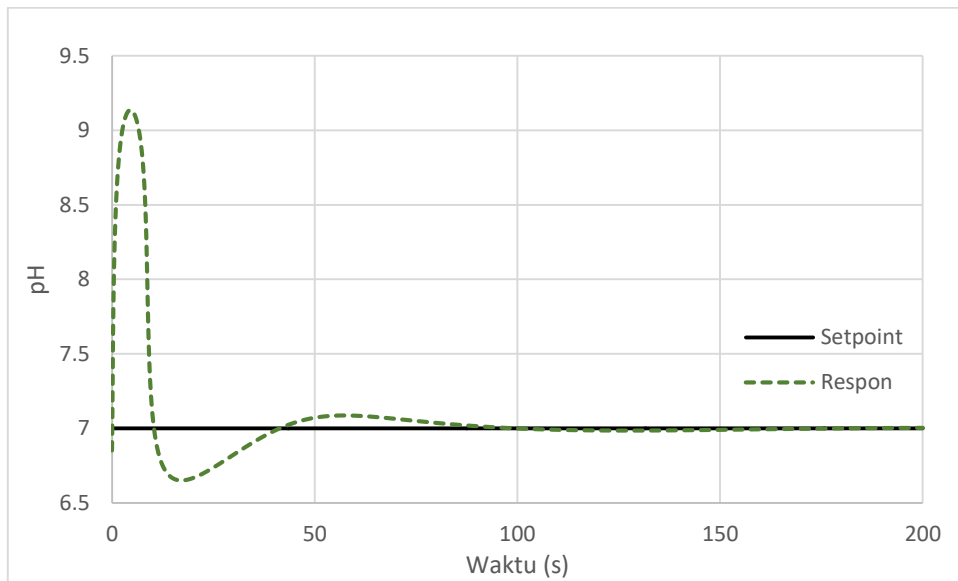
## 4.2 Simulasi Sistem *Close Loop*

Pada simulasi sistem *close loop* ini dilakukan dengan melakukan pengujian sistem pada set point pH 7. Setelah mendapatkan uji performansi *open loop*, *plant* dimasukkan ke dalam sistem *close loop* dengan memasukkan pengendali *fuzzy*-PID. Dengan menggunakan *setpoint* 7, rancangan *fuzzy*-PID secara eksperimental digunakan untuk mendapatkan *error* yang paling kecil.

### 4.2.1 Uji *Close Loop* dengan *Tuning* PID Manual

Pada simulai sistem *close loop* dilakukan pengujian sistem pada *setpoint* 7. Racangan PID dengan metode *tuning* manual atau eksperimen yang dimulai dengan uji  $K_p$  terlebih dahulu hingga mendapatkan respon yang cukup stabil dilanjutkan dengan penambahan  $K_i$  dan  $K_d$  hingga respon sistem *steady*. Adapun nilai parameter yang diperoleh yaitu  $K_p = 0.25$ ,  $T_i = 0.015$ , dan  $T_d = 0.025$ .



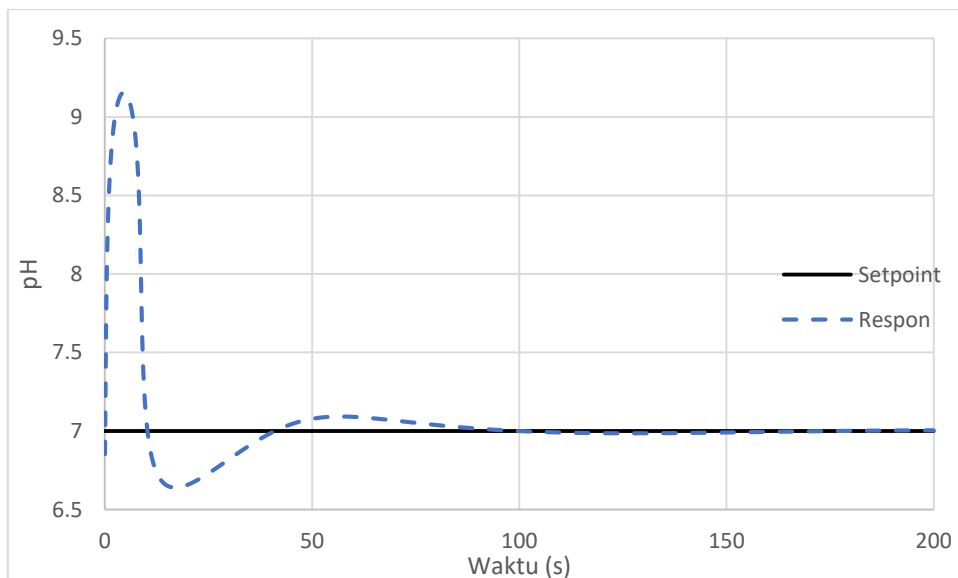


**Gambar 4. 2** Hasil uji *close loop tuning* PID manual

Pada gambar 4.2 di atas merupakan grafik hasil uji *close loop* dengan pengendali PID metode *tuning* eksperimen dimana nilai *overshoot* cukup tinggi selama beberapa detik dan mencapai keadaan *steady* kurang dari 100 detik.

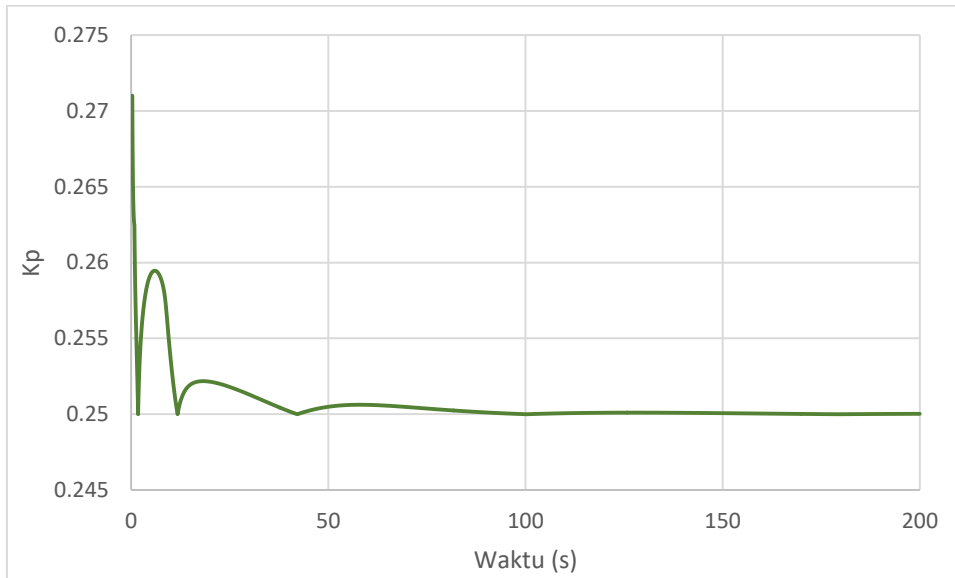
#### 4.2.2 Uji *Close loop Fuzzy-PID*

Pada simulai sistem *close loop* dilakukan pengujian sistem pada *setpoint* 7. Rancangan kontroler dengan metode *fuzzy-PID* memperoleh hasil seperti gambar 4.3 di bawah ini.



**Gambar 4. 3** Hasil uji *close loop fuzzy-PID*

Hasil uji *close loop* di atas, dapat dilihat bahwa nilai respon sistem melalui nilai *setpoint* dan berisolasi hingga stabil dengan nilai *setpoint*. Dari percobaan uji *close loop fuzzy-PID* juga didapatkan nilai  $K_p$  keluaran dari sistem *fuzzy* yang akan menjadi masukan kontrol PID adalah sebagai berikut:



**Gambar 4. 4** Nilai  $K_p$  keluaran dari *fuzzy logic controller*

Pada gambar 4.4, menunjukkan adanya perubahan nilai  $K_p$  ketika *setpoint* mengalami kenaikan dari 4 ke 7 sehingga dapat dikatakan sistem kontrol logika *fuzzy* berjalan dengan baik. Respon karakteristik yang diperoleh dari sistem PID metode tuning manual dan sistem *fuzzy-PID* adalah sebagai berikut:

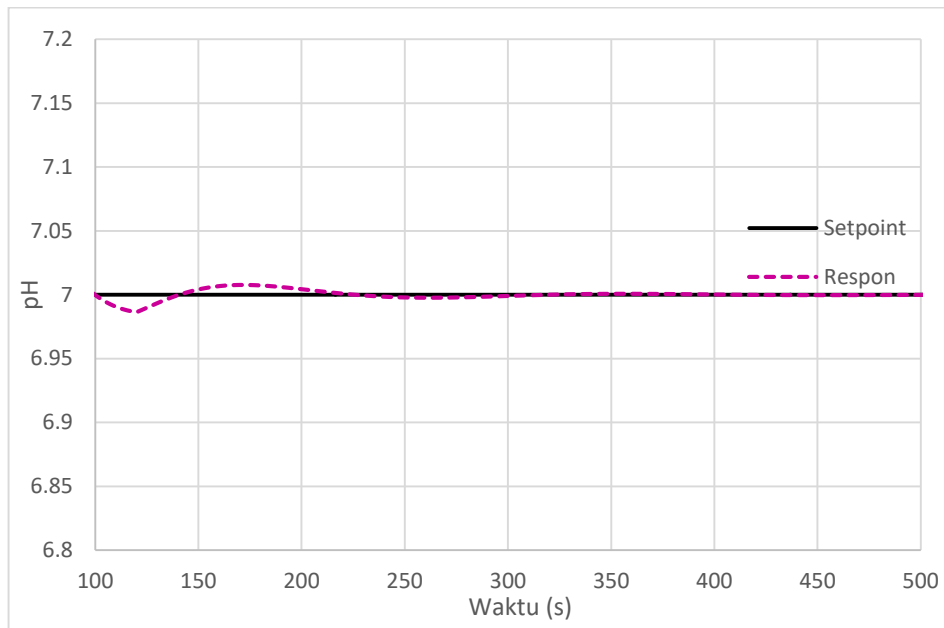
**Tabel 4. 1** Respon Karakteristik PID dan *Fuzzy-PID*

Respon Karakteristik	PID	<i>Fuzzy-PID</i>
<i>Rise time</i> (detik)	0.0558	0.0554
<i>Settling time</i> (detik)	76.4300	76.5903
<i>Overshoot</i> (%)	30.4600	30.7263
<i>Peak time</i> (detik)	4.5426	4.5668
<i>Error steady state</i> (%)	0.0195	0.0228

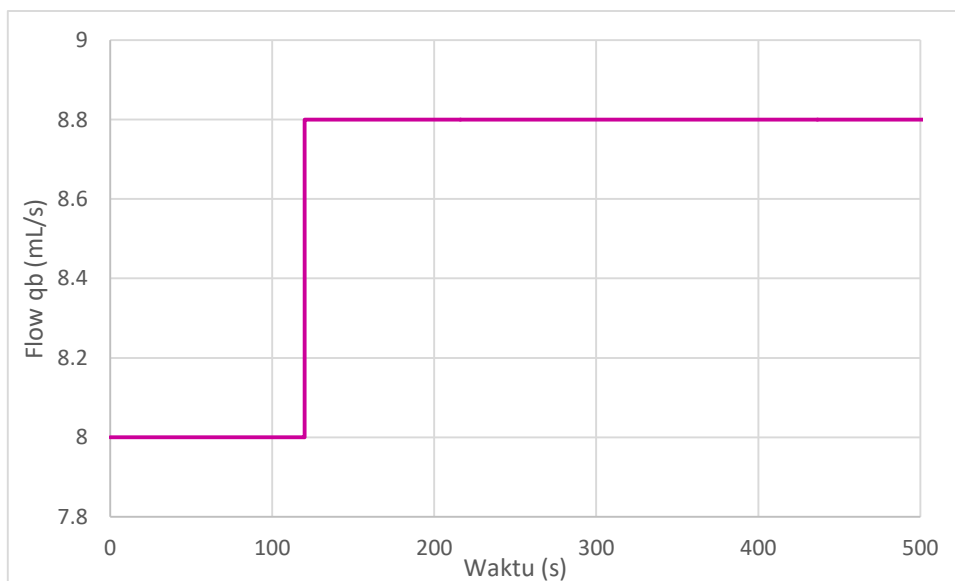
Repon karakteristik sistem dapat dilihat pada tabel di atas, dimana sistem *fuzzy-PID* memiliki kelebihan daripada sistem PID dengan tuning manual karena memiliki *rise time* yang lebih cepat daripada sistem PID yaitu sebesar 0.0554 detik.

### 4.2.3 Uji *Close loop* dengan Gangguan +10%

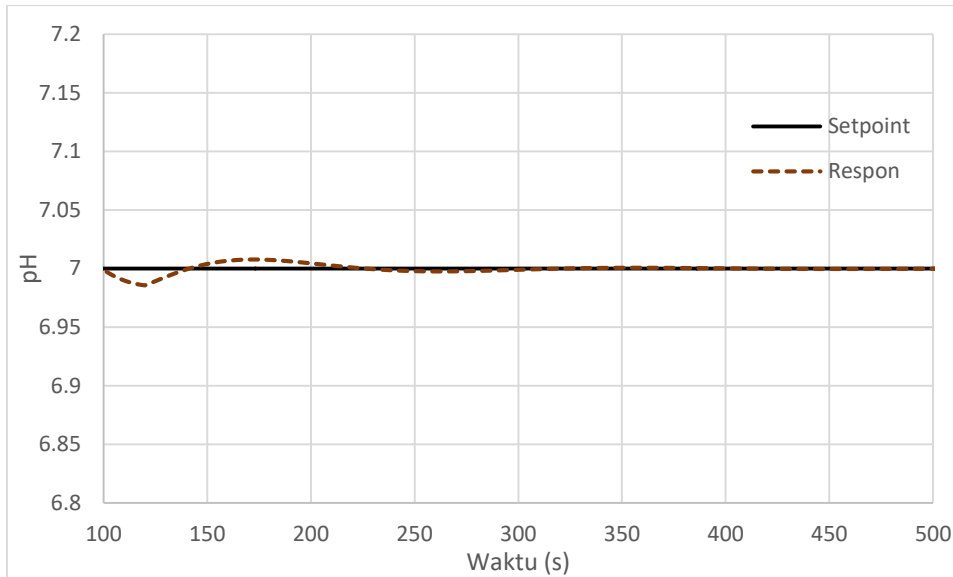
Pada simulasi sistem *close loop* dilakukan pengujian sistem pada *setpoint* 7. Rancangan PID dengan metode *tuning* manual memperoleh hasil seperti gambar 4.5, dengan diberi gangguan sebesar +10% pada  $q_b$ , sehingga nilai  $q_b = 8$  sampai 8.8 mL/s.



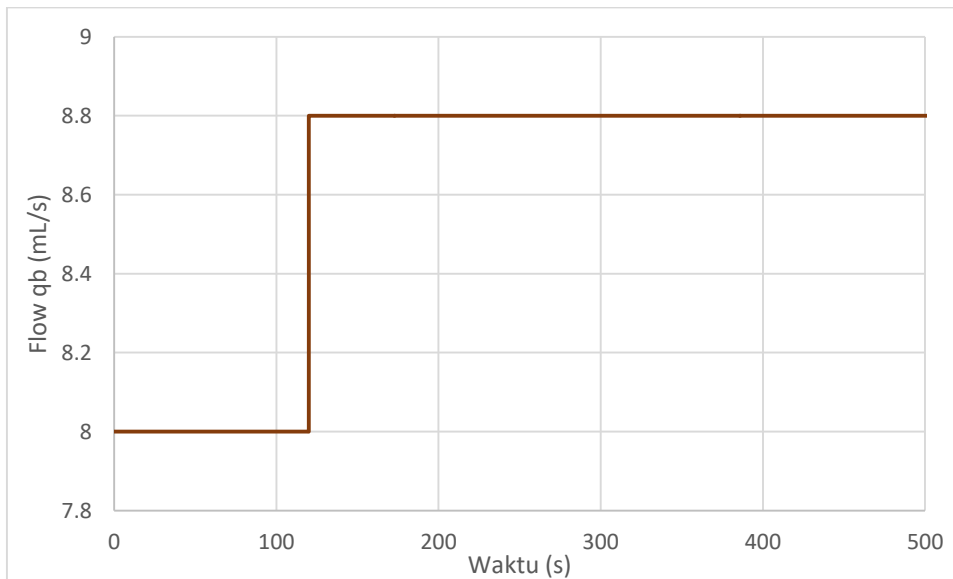
**Gambar 4. 5** Hasil uji *close loop* PID dengan gangguan +10%



**Gambar 4. 6** Grafik perubahan nilai *flow*  $q_b$  dalam mL/s

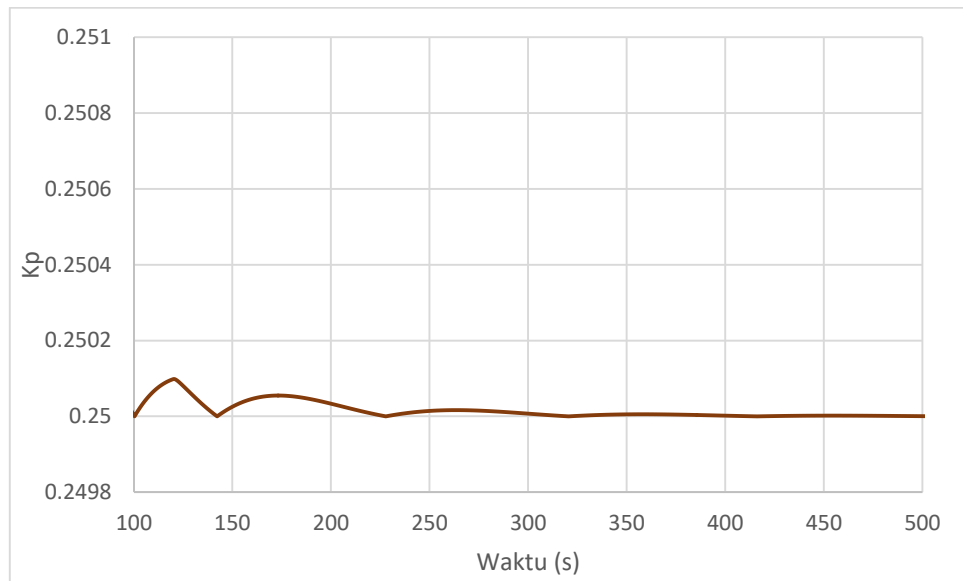


**Gambar 4. 7** Hasil uji *close loop fuzzy-PID* dengan gangguan +10%



**Gambar 4. 8** Grafik perubahan nilai *flow qb* dalam mL/s

Hasil uji *close loop* di atas, dapat dilihat bahwa saat nilai respon sistem melalui nilai *setpoint* dan berisolasi hingga stabil dengan nilai *setpoint*, juga saat diberikan gangguan +10% berupa *flow qb* dari 8 mL/s naik ke 8.8 mL/s pada detik ke-120, respon sistem juga mengalami sedikit osilasi mengikuti perubahan *flow qb* dan kemudian akan *steady* kembali.



**Gambar 4. 9** Grafik nilai Kp sistem *fuzzy*-PID dengan gangguan +10%

Grafik pada gambar 4.9 di atas merupakan nilai Kp yang merupakan keluaran dari sistem logika *fuzzy*, dapat dilihat pada detik ke-120 dimana diberi gangguan +10% nilai parameter Kp juga mengalami sedikit kenaikan dan kemudian akan kembali ke nilai Kp yang telah ditentukan yaitu 0.25. Adapun respon karakteristik sistem sebagai berikut:

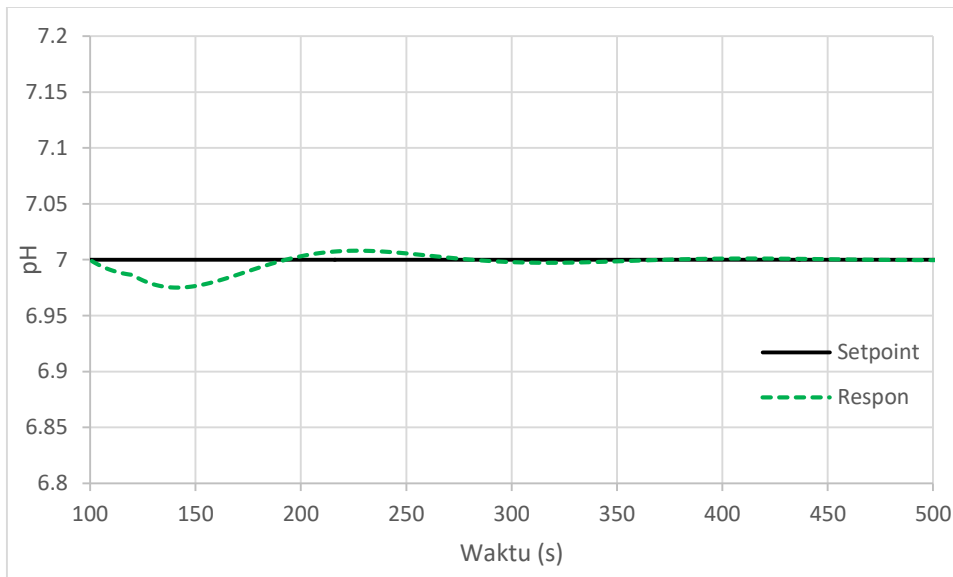
**Tabel 4. 2** Respon Karakteristik PID dan *Fuzzy*-PID dengan Gangguan +10%

Respon Karakteristik	PID	<i>Fuzzy</i> -PID
<i>Rise time</i> (detik)	0.0594	0.0618
<i>Settling time</i> (detik)	77.8383	77.9992
<i>Overshoot</i> (%)	30.5453	30.8229
<i>Peak time</i> (detik)	4.6962	4.5695
<i>Error steady state</i> (%)	0.0134	0.0118

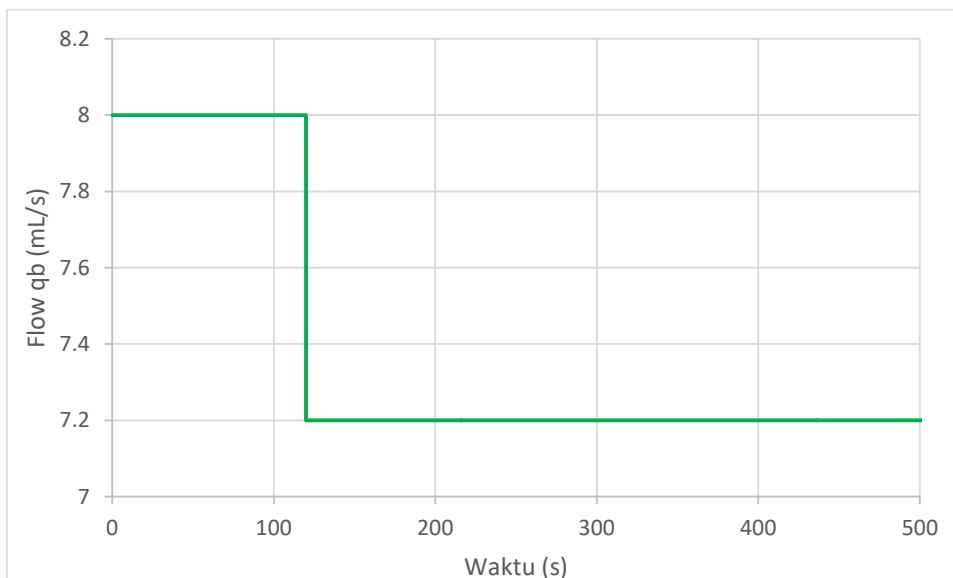
Repon karakteristik sistem dapat dilihat pada tabel di atas, dimana sistem *fuzzy*-PID memiliki kelebihan *peak time* yang lebih kecil daripada sistem PID yaitu sebesar 4.5695 detik, juga sistem *fuzzy*-PID memiliki *error* yang lebih kecil dari sistem PID yaitu 0.0118%.

#### 4.2.4 Uji *Close loop* dengan Gangguan -10%

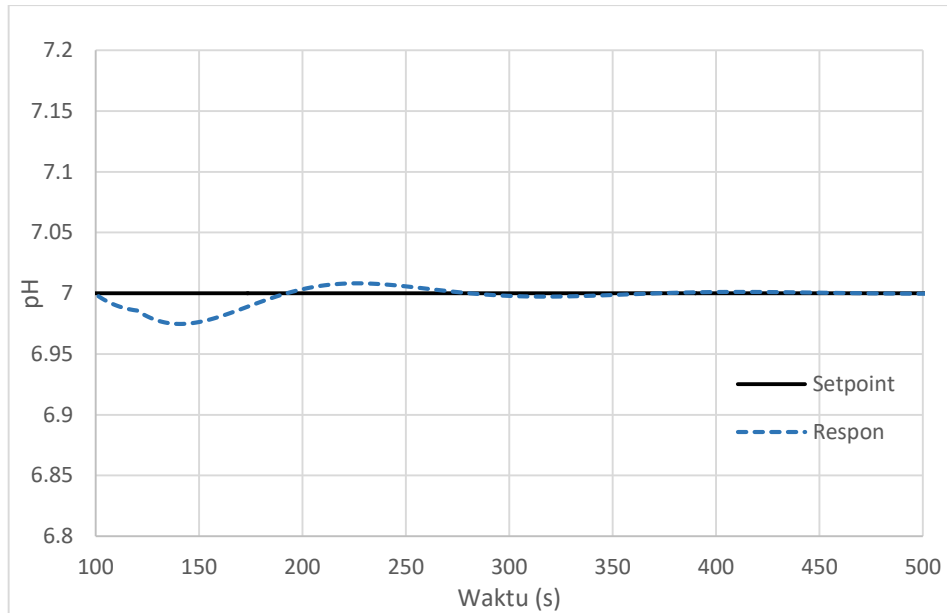
Pada simulasi sistem *close loop* dilakukan pengujian sistem pada *setpoint* 7. Rancangan PID dengan metode *tuning* manual memperoleh hasil seperti gambar 4.10, dengan diberi gangguan sebesar -10% pada  $q_b$ , sehingga nilai  $q_b = 8$  sampai 7.2 mL/s.



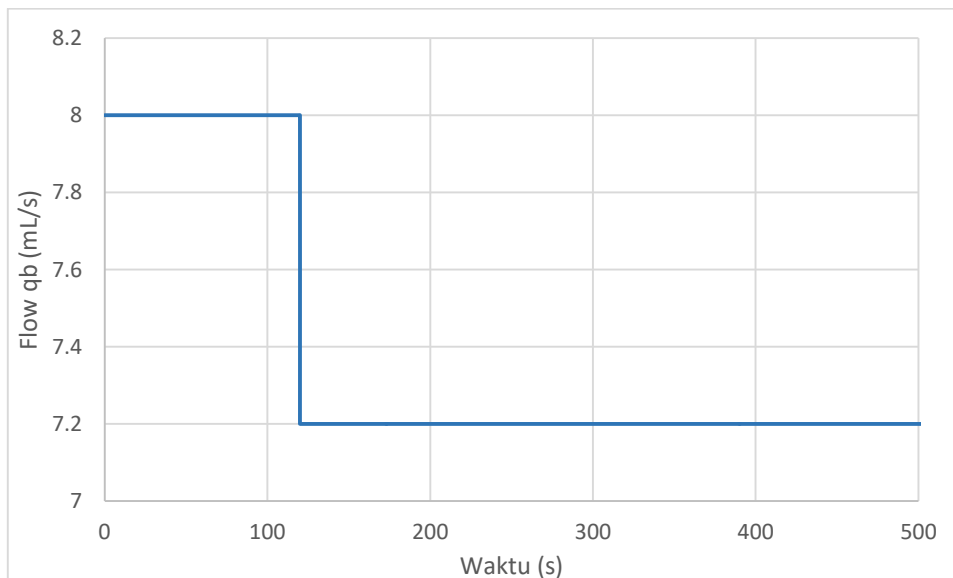
**Gambar 4. 10** Hasil uji *close loop* PID dengan gangguan -10%



**Gambar 4. 11** Grafik perubahan nilai *flow*  $q_b$  dalam mL/s

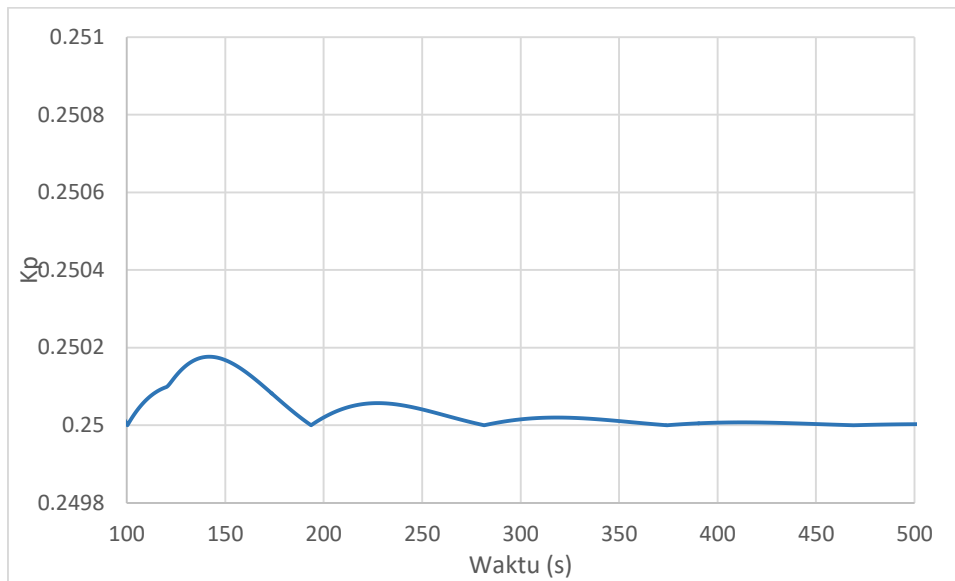


**Gambar 4. 12** Hasil uji *close loop fuzzy-PID* dengan gangguan -10%



**Gambar 4. 13** Grafik perubahan nilai *flow qb* dalam mL/s

Hasil uji *close loop* di atas, dapat dilihat bahwa saat nilai respon sistem melalui nilai *setpoint* dan berisolasi hingga stabil dengan nilai *setpoint*, juga saat diberikan gangguan -10% berupa *flow qb* dari 8 mL/s turun ke 7.2 mL/s pada detik ke-120, respon sistem juga mengalami sedikit osilasi mengikuti perubahan *flow qb* dan kemudian akan *steady* kembali.



**Gambar 4. 14** Grafik nilai Kp sistem *fuzzy*-PID dengan gangguan -10%

Grafik pada gambar 4.14 di atas merupakan nilai Kp yang merupakan keluaran dari sistem logika *fuzzy*, dapat dilihat pada detik ke-120 dimana diberi gangguan -10% nilai parameter Kp mengalami sedikit kenaikan dan kemudian akan kembali ke nilai Kp yang telah ditentukan yaitu 0.25. Adapun respon karakteristik sistem sebagai berikut:

**Tabel 4. 3** Respon Karakteristik PID dan *Fuzzy*-PID dengan Gangguan -10%

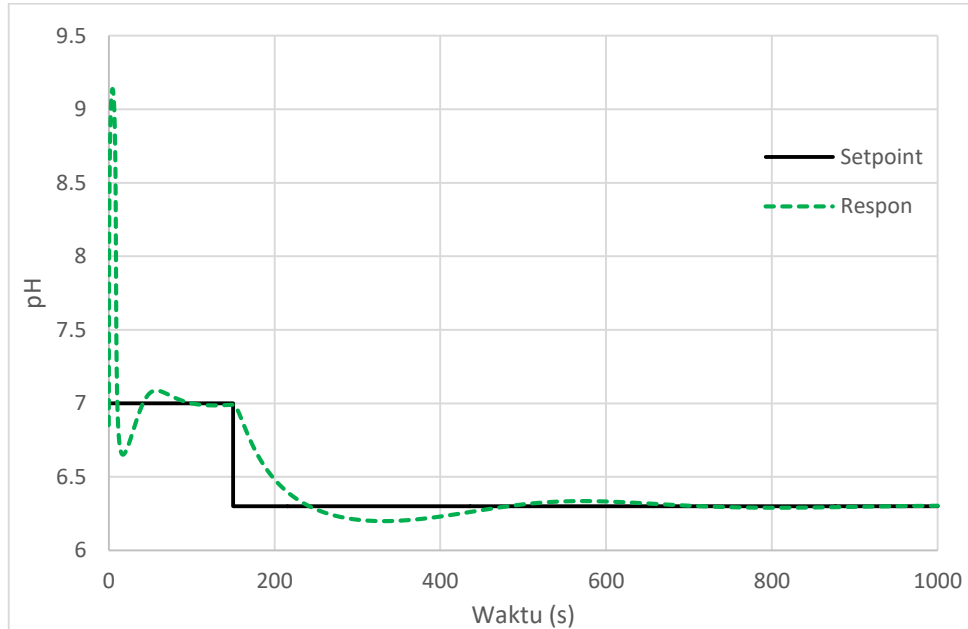
Respon Karakteristik	PID	<i>Fuzzy</i> -PID
<i>Rise time</i> (detik)	0.0594	0.0618
<i>Settling time</i> (detik)	77.8370	77.9980
<i>Overshoot</i> (%)	30.5452	30.8228
<i>Peak time</i> (detik)	4.6962	4.5695
<i>Error steady state</i> (%)	0.0214	0.0206

Repon karakteristik sistem dapat dilihat pada table 4.3 di atas, dimana sistem *fuzzy*-PID memiliki kelebihan daripada sistem PID dengan tuning manual karena memiliki *peak time* yang lebih cepat daripada sistem PID yaitu sebesar 4.5695 detik, juga sistem *fuzzy*-PID memiliki *error* yang lebih kecil dari sistem PID yaitu 0.0206%.

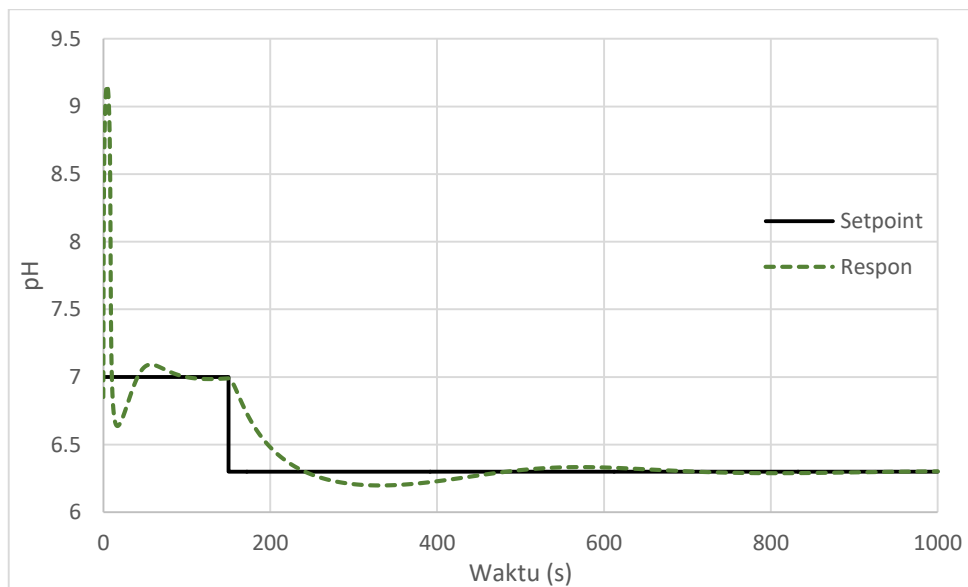


#### 4.2.5 Uji *Close Loop* Dengan Perubahan *Setpoint*

Pada simulai sistem *close loop* dilakukan pengujian sistem pada perubahan *setpoint* sebesar 10% yaitu dari 7 ke 6.3 pada detik ke 150. Racangan PID dengan metode *tuning* eksperimen memperoleh hasil seperti gambar di bawah ini:



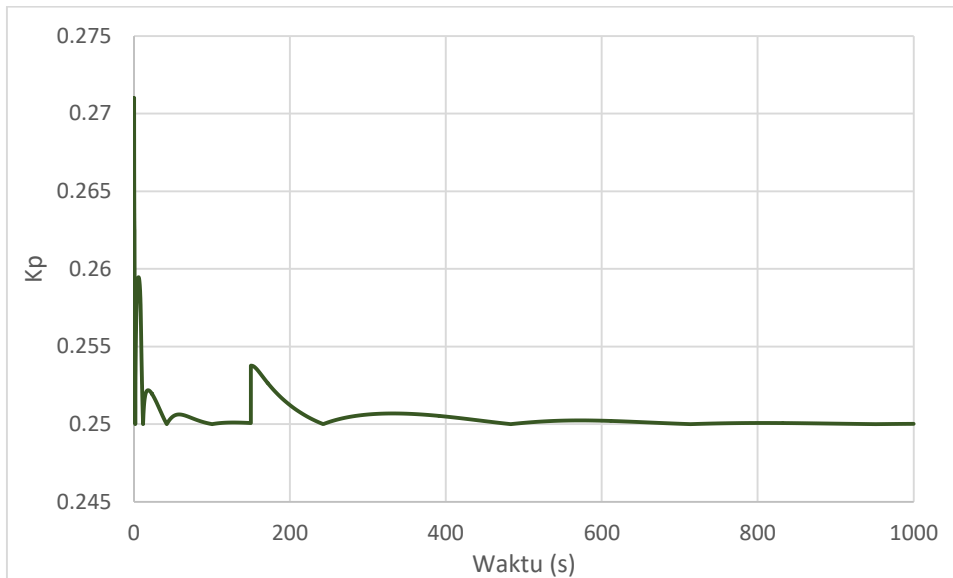
**Gambar 4. 15** Grafik hasil uji perubahan *setpoint* sistem PID



**Gambar 4. 16** Grafik hasil uji perubahan *setpoint* sistem *fuzzy*-PID

Hasil uji *close loop* di atas, dapat dilihat bahwa saat nilai respon sistem melalui nilai *setpoint* dan berisolasi hingga stabil dengan nilai *setpoint*, juga saat

diberikan perubahan pada *setpoint* sebesar 10% yaitu dari *setpoint* awal yang bernilai 7 ke 6.3 pada detik ke-150. Respon sistem juga mengalami penurunan untuk mencapai *setpoint* yang telah diubah dan mengalami sedikit isosilasi sampai kemudian kembali *steady*.



**Gambar 4. 17** Grafik nilai  $K_p$  sistem *fuzzy* dengan perubahan *setpoint*

Gambar 4.17 di atas merupakan grafik nilai  $K_p$  yang merupakan keluaran dari sistem logika *fuzzy*, dapat dilihat pada detik ke-150 dimana terjadi perubahan *setpoint*, nilai parameter  $K_p$  mengalami sedikit kenaikan dan kemudian akan kembali ke nilai  $K_p$  yang telah ditentukan yaitu 0.25. Adapun respon karakteristik sistem sebagai berikut:

**Tabel 4. 4** Respon  $k$ =Karakteristik PID dan *Fuzzy*-PID dengan Perubahan *Setpoint*

Respon Karakteristik	PID	<i>Fuzzy</i> -PID
<i>Rise time</i> (detik)	212.6321	212.8467
<i>Settling time</i> (detik)	419.7866	419.0218
<i>Overshoot</i> (%)	44.9875	45.2963
<i>Peak time</i> (detik)	4.6962	4.5695
<i>Error steady state</i> (%)	0.04739	0.04672

Repon karakteristik sistem dapat dilihat pada tabel di atas, dimana sistem *fuzzy*-PID memiliki kelebihan daripada sistem PID dengan *tuning* manual karena

memiliki *setting time* dan *peak time* yang lebih cepat daripada sistem PID yaitu sebesar 419.0218 detik dan 4.5695 detik, juga sistem *fuzzy-PID* memiliki *error* yang lebih kecil dari sistem PID yaitu 0.04672%.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis data yang dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan adalah telah dilakukan pemodelan, perancangan, dan simulasi sistem pengendalian pH dengan menggunakan metode *fuzzy-PID* pada unit tangki nutrisi sistem hidroponik NFT dengan karakteristik pH yang *non-linear*. Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa dengan pengendali *fuzzy-PID* dengan parameter  $K_p=0.25$ ,  $T_i = 0.015$  dan  $T_d = 0.025$ , dapat mengontrol nilai pH mencapai *setpoint* dan dapat mengatasi gangguan  $\pm 10\%$  dari nilai gangguan awal. Performansi kontroler yang di tuning dengan *fuzzy-PID* adalah *rise time* sebesar 0.0554 detik, *settling time* sebesar 76.59 detik, *overshoot* sebesar 30.73 %, *peak time* sebesar 4.57 detik, serta *error steady state* sebesar 0.228 %.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dilakukan untuk pengembangan selanjutnya pada penelitian ini adalah diharapkan dapat merancang pemodelan *plant* dan sistem pengendalian dengan lebih kompleks.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Admin. (2014, 03 04). *Pengaruh Nilai Ph Pada Tanaman Hidroponik*. Retrieved from Istana Tanaman: Pengaruh Nilai Ph Pada Tanaman Hidroponik
- Anonim. (2020, 5 22). *Hidroponik*. Retrieved from Gurupendidikan.com: [gurupendidikan.co.id/pengertian-hidroponik/](http://gurupendidikan.co.id/pengertian-hidroponik/)
- Ernie. (2017, 08 12). *Fuzzy Logic (Logika Fuzzy)*. Retrieved from ndoware: [repository.upi.edu](http://repository.upi.edu)
- Fatantia Husnaeni, M. R. (2018). Pengaruh Pupuk Hayati dan Anorganik terhadap Populasi Azotobacter, Kandungan N, dan Hasil Pakcoy Pada Sistem *Nutrient Film Technique*. *Jurnal Biodjati*, 3 No. 1, 90-98.
- Febriany, N. (2016). *Metode Fuzzy Mamdani*. Retrieved from [repository.upi.edu](http://repository.upi.edu): [http://repository.upi.edu/26232/6/S\\_MAT\\_1201755\\_Chapter3.pdf](http://repository.upi.edu/26232/6/S_MAT_1201755_Chapter3.pdf)
- Haris, A. F. (2017). *Academia.edu*. Retrieved from Derajat Keasaman: [https://www.academia.edu/35832897/DERAJAT\\_KEASAMAN\\_pH\\_.docx](https://www.academia.edu/35832897/DERAJAT_KEASAMAN_pH_.docx)
- Imo, P. (2013). *Konsep Elektrokimia*. Retrieved from [slideshare.net](http://slideshare.net): <https://www.slideshare.net/imopriyanto/bab8-elektrokimia>
- Jurustani, A. (2016, 8 30). *Budidaya Tanaman Pakcoy Hidroponik*. Retrieved from Jrustani: <https://jurustani.com/budidaya-tanaman-Pakcoy-hidroponik/>
- Mai Saroh, S. I. (2016). Pengaruh Jenis Media Tanam dan Laruan AB Mix dengan Konsentrasi Berbeda pada Pertumbuhan dan Hasil Produksi Tanaman Selada (*Lactuca sativa L*) dengan Hidroponik Sistem Sumbu. *Jurnal Agrohita*, 1 No.1.
- Melati, R. R. (2019). Teori Asam dan Basa. In *Asam, Basa, dan Garam* (p. 10). Duta.
- Melisa, A'yunina, Q., & Rahmagusviana, R. (2018). *Percobaan 5 Persmaan Nernst*. Retrieved from [academia.edu](https://www.academia.edu/36337037/PERCOBAAN_5_NERNST): [https://www.academia.edu/36337037/PERCOBAAN\\_5\\_NERNST](https://www.academia.edu/36337037/PERCOBAAN_5_NERNST)
- Ogata, K. (1996). *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta: Buku terjemahan, Erlangga.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*. Prentice Hall.

- Setiyadi, Y. (2015, 05 15). *Mengenal Macam dan Jenis Hidroponik*. Retrieved from Ensiklo: <http://ensiklo.com/2015/05/15/mengenal-macam-dan-jenis-hidroponik/>
- Suyadhi, T. D. (2015, 02 09). *Teknik Kendali PID*. Retrieved from Robotics University: <https://www.robotics-university.com/2015/02/teknik-kendali-pid.html>
- Teuku Omaranda Muhadiansyah, S. S. (2016). Efektivitas Pencampuran Pupuk Organik Cair dalam Nutrisi Hidroponik pada Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.). *Jurnal Agronida*, 2 No. 1 (ISSN 2442-254).
- Zuhar, A. M. (2020). *Perancangan Pengendalian Proses Penetralan pH Pada Larutan Nutrisi Sistem Hidroponik Menggunakan Pengendali PID*. Surabaya: Teknik Fisika ITS.



## LAMPIRAN

### Perhitungan model statik

Perhitungan substitusi persamaan ke salah satu persamaan *invariant*:

$$\begin{aligned}
 x_b &= \frac{K_{a2}}{A} \left( \frac{K_W^2 - K_w A^2 + x_a \cdot K_w \cdot A + x_b \cdot K_w \cdot A}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \right) \\
 &\quad + \left( \frac{K_W^2 - K_w A^2 + x_a \cdot K_w \cdot A + x_b \cdot K_w \cdot A}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \right) \\
 &\quad + \frac{K_{b1} \cdot A}{K_w} \left( \frac{K_W^2 - K_w A^2 + x_a \cdot K_w \cdot A + x_b \cdot K_w \cdot A}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \right) \\
 x_b &= \left( \frac{\frac{K_{a2} \cdot K_w^2}{A} - K_{a2} K_w A + x_a \cdot K_{a2} \cdot K_w + x_b \cdot K_{a2} \cdot K_w}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \right) \\
 &\quad + \left( \frac{K_W^2 - K_w A^2 + x_a \cdot K_w \cdot A + x_b \cdot K_w \cdot A}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \right) \\
 &\quad + \left( \frac{K_{b1} \cdot K_w \cdot A - K_{b1} A^3 + x_a \cdot K_{b1} \cdot A^2 + x_b \cdot K_{b1} \cdot A^2}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \right) \\
 0 &= \left( \frac{\frac{K_{a2} \cdot K_w^2}{A} - K_{a2} K_w A + x_a \cdot K_{a2} \cdot K_w + x_b \cdot K_{a2} \cdot K_w}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \right) \\
 &\quad + \left( \frac{K_W^2 - K_w A^2 + x_a \cdot K_w \cdot A + x_b \cdot K_w \cdot A}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \right) - x_b \\
 &\quad + \left( \frac{K_{b1} \cdot K_w \cdot A - K_{b1} A^3 + x_a \cdot K_{b1} \cdot A^2 + x_b \cdot K_{b1} \cdot A^2}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \right) \\
 0 &= \frac{x_a \cdot K_{a2} \cdot K_w + x_b \cdot K_w \cdot A + x_a \cdot K_{b1} \cdot A^2}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} + \frac{x_b \cdot K_{a2} \cdot K_w + x_b \cdot K_w \cdot A + x_b \cdot K_{b1} \cdot A^2}{K_{b2} \cdot A^2 - K_{a1} \cdot K_w} \\
 &\quad - x_2 \\
 &\quad + \frac{\frac{K_W^2 \cdot A - K_w A^3 + K_{b1} \cdot K_w \cdot A^2 - K_{b1} A^4 + K_{a2} \cdot K_w^2 - K_{a2} K_w A^2}{A}}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w}
 \end{aligned}$$

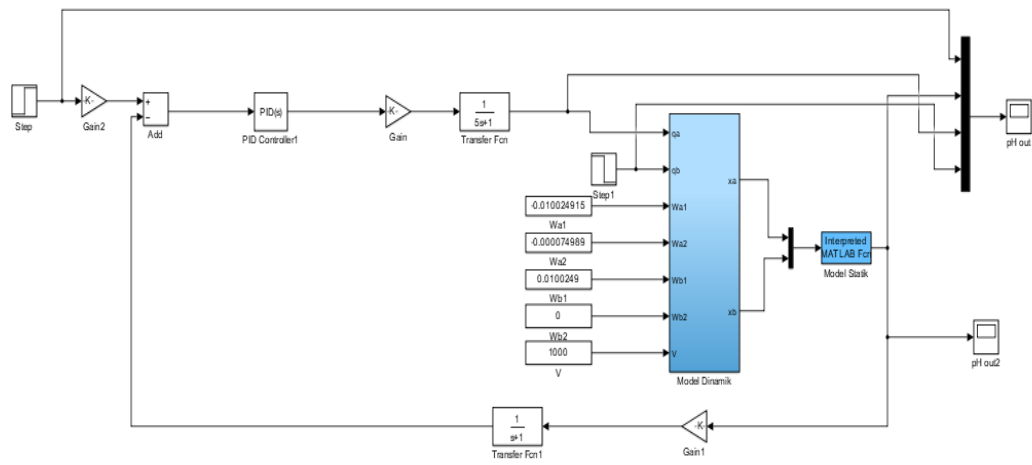
$$\begin{aligned}
0 &= x_a \left( \frac{K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \right) + x_b \left( \frac{K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} - 1 \right) \\
&\quad + \frac{\frac{K_w^2 \cdot A - K_w A^3 + K_{b1} \cdot K_w \cdot A^2 - K_{b1} A^4 + K_{a2} \cdot K_w^2 - K_{a2} K_w A^2}{A}}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} \\
0 &= x_a + x_b \frac{\left( \frac{K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w} - 1 \right)}{\frac{K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2}{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w}} \\
&\quad + \frac{\frac{K_w^2 \cdot A - K_w A^3 + K_{b1} \cdot K_w \cdot A^2 - K_{b1} A^4 + K_{a2} \cdot K_w^2 - K_{a2} K_w A^2}{A}}{\frac{K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w}{K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2}} \\
0 &= x_a \cdot A + x_b \cdot A \left( \frac{K_w \cdot A + K_{a2} \cdot K_w + K_{b1} \cdot A^2 - K_{b1} \cdot A^2 - K_{a2} \cdot K_w}{K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2} \right) \\
&\quad + \frac{K_w^2 \cdot A - K_w A^3 + K_{b1} \cdot K_w \cdot A^2 - K_{b1} A^4 + K_{a2} \cdot K_w^2 - K_{a2} K_w A^2}{K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2} \\
0 &= x_a \cdot A + x_b \cdot A \left( \frac{K_w \cdot A}{K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2} \right) + \\
&\quad \frac{K_w^2 \cdot A - K_w A^3 + K_{b1} \cdot K_w \cdot A^2 - K_{b1} A^4 + K_{a2} \cdot K_w^2 - K_{a2} K_w A^2}{K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2} \tag{3.30}
\end{aligned}$$

Persamaan di atas diubah ke dalam bentuk polinomial untuk mencari harga A:

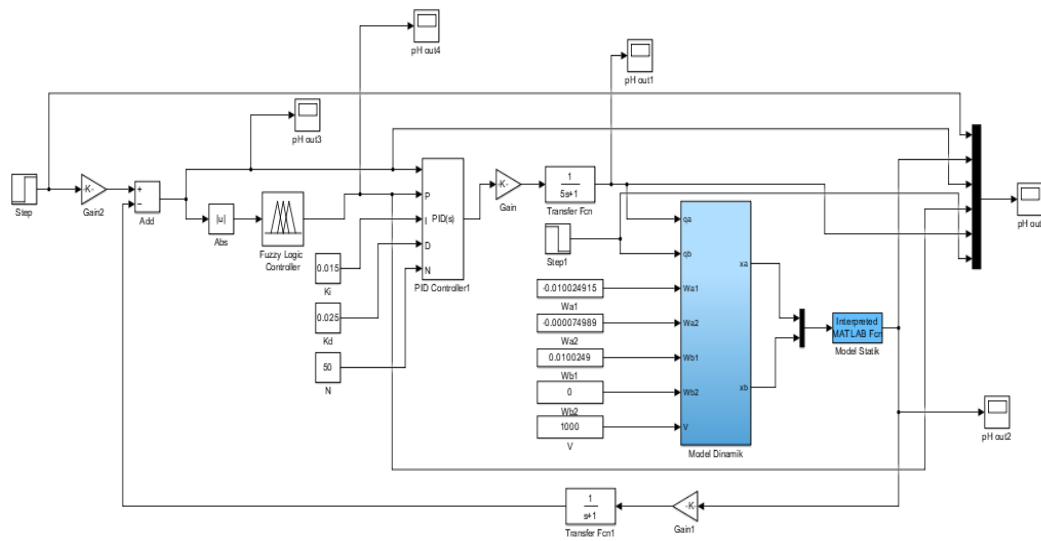
$$\begin{aligned}
0 &= x_a \cdot A (K_{a2} \cdot K_w + K_w \cdot A + K_{b1} \cdot A^2) + x_b \cdot A \cdot K_w \cdot A \\
&\quad + K_w^2 \cdot A - K_w A^3 + K_{b1} \cdot K_w \cdot A^2 - K_{b1} A^4 + K_{a2} \cdot K_w^2 - K_{a2} K_w A^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
0 &= x_a \cdot A \cdot K_{a2} \cdot K_w + x_a \cdot K_w \cdot A^2 + x_a \cdot K_{b1} \cdot A^3 + x_b \cdot K_w \cdot A^2 \\
&\quad + K_w^2 \cdot A - K_w A^3 + K_{b1} \cdot K_w \cdot A^2 - K_{b1} A^4 + K_{a2} \cdot K_w^2 - K_{a2} K_w A^2
\end{aligned}$$

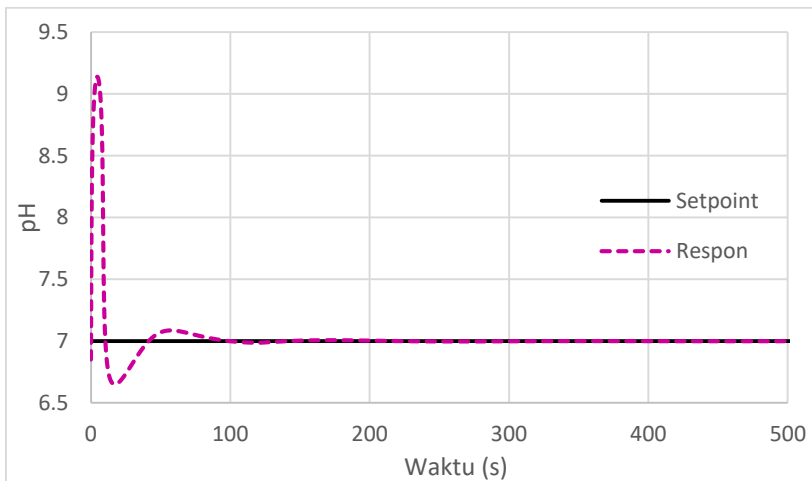
$$\begin{aligned}
0 &= -A^4 K_{b1} + A^3 (x_a \cdot K_{b1} - K_w) + A^2 (x_a \cdot K_w + x_b \cdot K_w - K_{a2} K_w) + \\
&\quad A (x_a \cdot K_{a2} \cdot K_w + K_w^2) + K_{a2} \cdot K_w^2
\end{aligned}$$



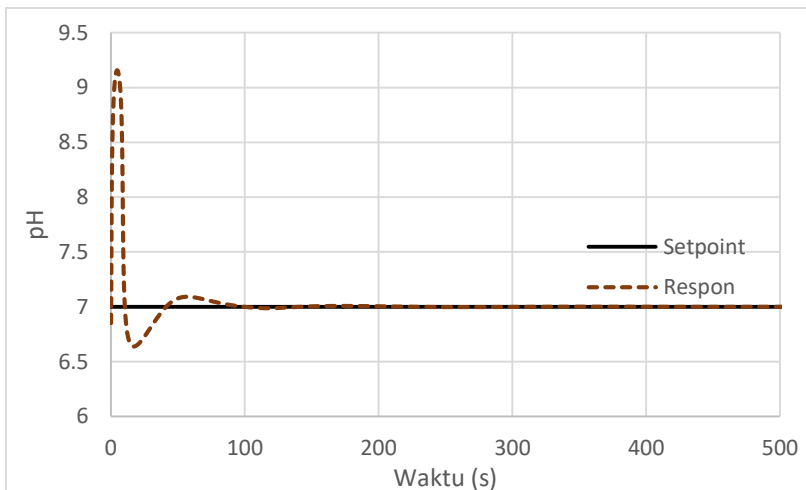
Gambar diagram blok Simulink Matlab *close loop* PID



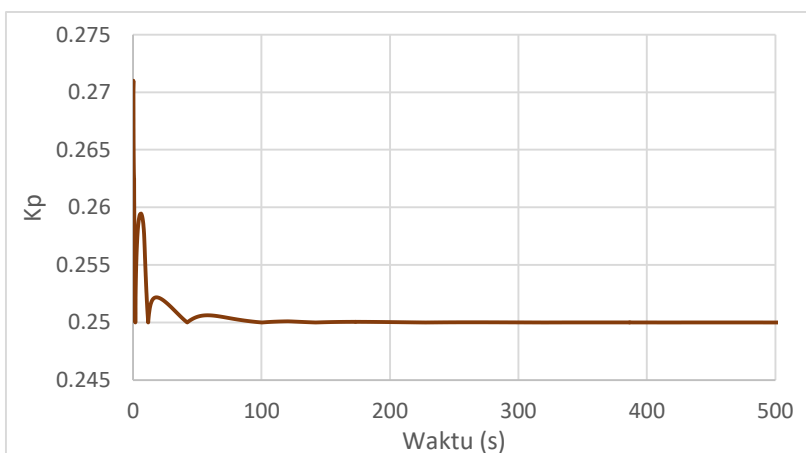
Gambar diagram blok Simulink Matlab *close loop* fuzzy-PID



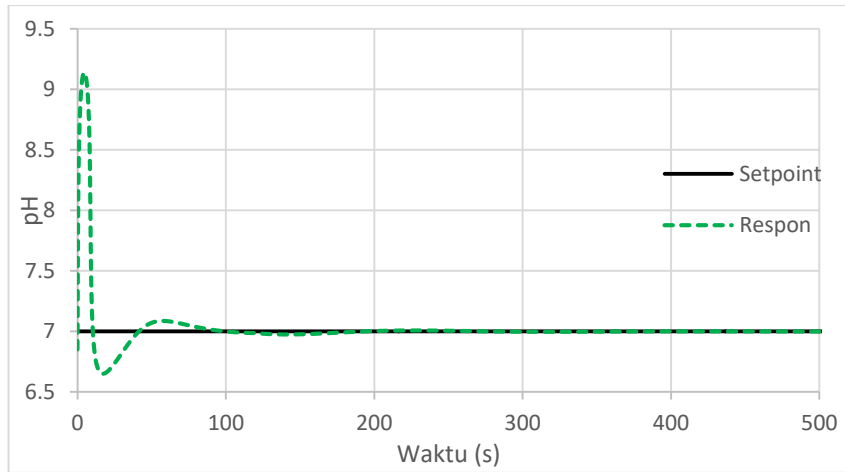
Grafik respon sistem PID dengan gangguan +10%



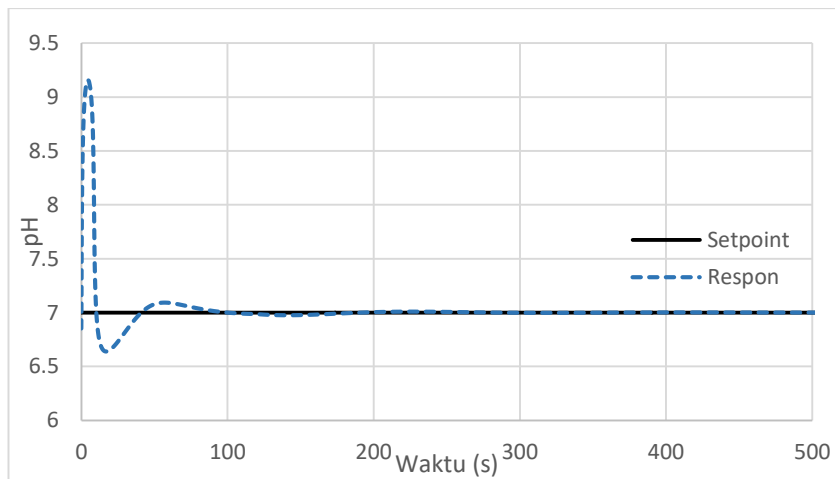
Grafik respon sistem *fuzzy*-PID dengan gangguan +10%



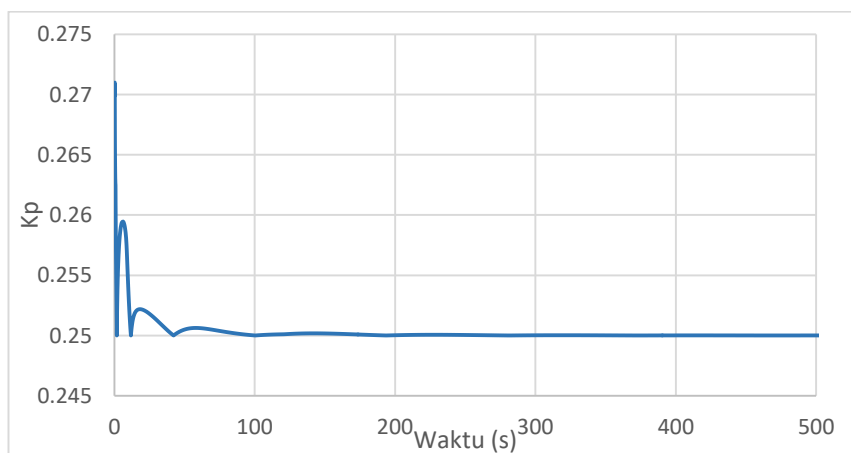
Grafik nilai  $K_p$  sistem *fuzzy*-PID dengan gangguan +10%



Grafik respon sistem PID dengan gangguan -10%



Grafik respon sistem *fuzzy*-PID dengan gangguan -10%



Grafik nilai  $K_p$  sistem *fuzzy*-PID dengan gangguan -10%

Tabel kebutuhan pH nutrisi tanaman dengan sistem hidroponik

# pH, EC, dan PPM

## Tanaman 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
Okra	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	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
Endive	5.5-6.5	2.0-2.4	1400-1680
Cabe	6.0-6.5	3.0-3.5	2100-2450
Pagoda/Tatsoi	5.5-6.5	1.5-2.0	1050-1400
Kacang Panjang		1.8-2.2	1260-1540
Kailan		1.5-2.0	1050-1400

Tabel ini dibuat untuk memudahkan para petani mengontrol nutrisi hidroponik, dikumpulkan dari berbagai sumber. Mohon koreksi bila ada data yang keliru, karena koreksi Anda akan sangat berguna bagi banyak petani lain. Terima kasih.

[www.urbanhidroponik.com](http://www.urbanhidroponik.com)  
[urbanhidroponik@gmail.com](mailto:urbanhidroponik@gmail.com)  
 +62 85720006182

## URBAN HIDROPONIK

Hijaukan Dinding Kota. Segarkan!

## BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Imroatul Mufidah, lahir di kota Gresik pada tanggal 6 Desember 1997. Anak dari ayah yang bernama Ir. Husen dan ibu bernama Siti Ruwaidah. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Pada tahun 2010, penulis telah menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di MI Miftahul Ulum Driyorejo. Pada tahun 2013, telah menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di MTs. Raden Fatah Driyorejo. Pada tahun 2016, telah menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Darul Ulum 2 Unggulan BPPT Jombang. Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai mahasiswi di Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Pada bulan Juni 2020, penulis telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Perancangan Pengendalian pH pada Tanaman Pakcoy Sistem Hidroponik *Nutrient Film Technique* (NFT) Dengan Metode *Fuzzy-PID*”. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, serta membrikan kritik dan saran maka dapat menghubungi penulis melalui e-mail : [imrofidah@gmail.com](mailto:imrofidah@gmail.com)