



TUGAS AKHIR - TF 181801

# PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PID DERAJAT KEASAMAN (pH) DAN NUTRISI (EC) PADA SISTEM HIDROPONIK MENGUNAKAN 2X2 MIMO CONTROL

ARMAN AMARDI PUTRA  
NRP. 02311440000103

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 SISTEM PENGENDALIAN PID  
DERAJAT KEASAMAN (pH) DAN NUTRISI (EC)  
PADA SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN  
2X2 MIMO CONTROL**

**ARMAN AMARDI PUTRA  
NRP. 02311440000103**

**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**

**CONTROL SYSTEM DESIGN PID OF ACID  
DEGREE (pH) AND NUTRITION (EC) IN  
HYDROPONIC SYSTEM USING 2X2 MIMO  
CONTROL**

**ARMAN AMARDI PUTRA**  
**NRP. 02311440000103**

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

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

**2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : ARMAN AMARDI PUTRA  
NRP : 0231144000103  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa  
Sistem  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PID DERAJAT KEASAMAN (pH) DAN NUTRISI (EC) PADA SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN 2X2 MIMO CONTROL”** adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Januari 2020  
Yang membuat pernyataan,



Arman Amardi Putra  
NRP.0231144000103

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PID  
DERAJAT KEASAMAN (pH) DAN NUTRISI (EC) PADA  
SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN 2X2 MIMO  
CONTROL**

Oleh:

Arman Amardi Putra  
NRP.02311440000103

Surabaya, 24 Januari 2020

Menyetujui,  
Pembimbing 1



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



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PID  
DERAJAT KEASAMAN (pH) DAN NUTRISI (EC) PADA  
SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN  
2X2 MIMO CONTROL**



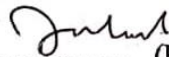

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh:

**ARMAN AMARDI PUTRA**  
**NRP.02311440000103**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

**SURABAYA**  
**Januari 2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PID DERAJAT KEASAMAN (pH) DAN NUTRISI (EC) PADA SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN 2X2 MIMO *CONTROL*

Nama : Arman Amardi Putra  
NRP : 02311440000103  
Departemen : Teknik Fisika  
Dosen Pembimbing : Hendra Cordova, S.T., M.T.

## Abstrak

Hidroponik merupakan salah satu sistem pertanian yang efektif karena dapat diaplikasikan di berbagai tempat. pH dan EC adalah dua variabel penting dalam mengembangkan hidroponik, kedua variabel tersebut saling berkaitan, oleh karenanya perlu dilakukan pengembangan pada pengendalian pH dan EC, MIMO 2x2 *control* merupakan sistem multivariabel yang dapat menjadi alternatif baru dalam pengembangan pengendalian pH dan EC pada hidroponik, digunakan MIMO 2x2 *control* karena pada pengendalian terpisah jika manipulated variabel salah satu diubah maka output dari manipulated variabel yang lain akan berubah, pada penelitian kali ini digunakan pH *up* dan *down* sebagai larutan yang mengatur pH dan larutan AB mix sebagai larutan yang mengatur nutrisi pada tanaman. Dari hasil simulasi yang dilakukan pada penelitian kali ini didapatkan hasil yang baik pada beberapa eksperimen (uji *open loop*, *close loop* dan *disturbance*). Didapatkan nilai  $k_p$ , dan  $t_i$  pada pengendali PI untuk pH dengan nilai 1, dan 0,5 dan pengendali PI untuk EC dengan nilai  $k_p = 0,0001$  dan  $t_i = 0,000001$ . Pada uji *open loop* didapatkan nilai pH 9,047 dan EC 2477  $\mu\text{S/cm}$ , pada uji *close loop* didapatkan nilai pH 6,5 dan EC 2026  $\mu\text{S/cm}$ , dan pada uji *disturbance* didapatkan nilai pH 6,506 dan EC 2178  $\mu\text{S/cm}$ .

**Kata Kunci : Hidroponik, MIMO, pH, Larutan nutrisi**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**CONTROL SYSTEM DESIGN PID OF ACID DEGREE (pH) AND  
NUTRITION (EC) IN HYDROPONIC SYSTEM USING 2X2 MIMO  
CONTROL**

**Nama** : Arman Amardi Putra  
**NRP** : 02311440000103  
**Departemen** : Teknik Fisika  
**Dosen Pembimbing** : Hendra Cordova, S.T., M.T.

***Abstract***

*Hydroponics is an effective farming system because it can be applied in various places. pH and EC are two important variables in developing hydroponics, the two variables are interrelated, therefore it is necessary to develop the control of pH and EC, MIMO 2x2 control is a multivariable system that can be a new alternative in developing pH and EC control in hydroponics, MIMO is used 2x2 control because in a separate control if one manipulated variable is changed then the output of the other manipulated variable will change, in this study used pH up and down as a solution that regulates pH and AB mix solution as a solution that regulates nutrients in plants. From the results of simulations carried out in this study obtained good results in several experiments (open loop, close loop and disturbance test). Obtained  $k_p$ , and  $t_i$  values on the PI controller for pH with a value of 1, and 0.5 and the PI controller for EC with  $k_p = 0.0001$  and  $t_i = 0.000001$ . In the open loop test it was found that the pH value was 9,047 and EC 2477  $\mu\text{S} / \text{cm}$ , in the close loop test it was obtained the pH value of 6.5 and EC 2026  $\mu\text{S} / \text{cm}$ , and in the disturbance test the pH value of 6.506 and EC 2178  $\mu\text{S} / \text{cm}$ .*

***Keywords: Hidroponics, MIMO, pH, Nutrition solution***

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul:

**“PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PID DERAJAT KEASAMAN (pH) DAN NUTRISI (EC) PADA SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN 2X2 MIMO CONTROL”.**

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta sarana dan prasarana selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Hendra Cordova, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. sebagai kepala laboratorium rekayasa instrumentasi dan kontrol yang telah memberikan sarana dan prasarana serta ilmu bagi penulis.
4. Ibu Dr.-ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T. sebagai dosen wali penulis yang telah memberikan nasihat dan arahan kepada penulis.
5. Kepada Ayah, Ibu, Adik, Keluarga dan Teman - teman atas segala, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Namun, semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika ITS khususnya, dan civitas akademika ITS pada umumnya. Semoga

laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa lainnya.

Surabaya, 24 Januari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TEORI PENUNJANG	5
2.1 Hidroponik	5
2.2 <i>Deep Flow Technique (DFT)</i>	6
2.3 Derajat Keasaman	7
2.4 <i>Electrical Conductivity</i>	8
2.5 Larutan Nutrisi ( <i>Nutrient Solution</i> )	8
2.6 Larutan AB Mix	9
2.7 <i>Proportional Integral Derivatif</i>	10
2.8 Sistem Multivariabel	12
2.9 <i>First Order System Plus Dead Time (FOPDT)</i>	13
2.10 Karakteristik Respon Sistem	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	19
3.2 Diagram Blok dan Skematik Proses pH dan EC	23
3.3 Langkah-Langkah Eksperimen Penentuan pH dan EC	27
3.4 Pemodelan <i>Transmitter</i>	28
3.5 Pemodelan <i>Disturbance</i>	29
3.6 Pemodelan <i>Control Valve</i>	29
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Proses Eksperimen Nilai pH dan EC	31

4.2 Uji <i>Open Loop</i> Model Proses MIMO 2x2 pH dan EC	35
4.3 Uji <i>Close Loop</i> Model Proses MIMO 2x2 pH dan EC	40
4.4 Uji <i>Disturbance</i> Model Proses MIMO 2x2 pH dan EC	49
<b>BAB V PENUTUP</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>57</b>
<b>BIODATA PENULIS</b>	<b>72</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Hidroponik	5
<b>Gambar 2.3</b>	Sistem Multivariabel	12
<b>Gambar 2.4</b>	Diagram Blok <i>Close Loop</i> Multivariabel Sistem	13
<b>Gambar 2.5</b>	Grafik Respon Sistem	14
<b>Gambar 2.6</b>	Karakteristik Respon Sistem	16
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir Penelitian	19
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram blok <i>Plant</i> Hidroponik	23
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram blok sistem <i>open loop</i> MIMO 2x2 pH dan EC	25
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik perubahan pH AB <i>mix</i> terhadap waktu	31
<b>Gambar 4.2</b>	Data perubahan EC AB <i>mix</i> terhadap waktu.	32
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik perubahan nilai <i>input</i> F1 terhadap nilai <i>Output</i> x2	32
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik pengaruh perubahan F2 terhadap <i>Output</i> x	33
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik hasil pH uji <i>Open loop</i>	36
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik hasil EC uji <i>Open loop</i>	36
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik pengaruh <i>input</i> F1 terhadap <i>Output</i> x2	38
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik pengaruh perubahan <i>input</i> F2 terhadap <i>Output</i> x1	40
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik pH uji <i>close loop</i> Ziegler Nichols	41
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik EC uji <i>close loop</i> Ziegler Nichols	42
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik pH hasil uji <i>close loop</i>	43
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik EC hasil uji <i>close loop</i>	44
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik pengaruh input F1 terhadap <i>output</i> x2	46
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik pengaruh input F2 terhadap <i>output</i> x1	48
<b>Gambar 4.15</b>	Grafik pH hasil uji <i>Disturbance</i>	50
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik EC hasil uji <i>Disturbance</i>	51

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Kandungan unsur hara pada <i>Nutrient Solution</i> beberapa ahli	8
<b>Tabel 2.2</b> Jenis Pupuk yang Umum digunakan pada Larutan Nutrisi Hidroponik	9
<b>Tabel 2.3</b> Kandungan Unsur Hara Pupuk A <i>Mix</i>	9
<b>Tabel 2.4</b> Kandungan Unsur Hara Pupuk B <i>Mix</i>	10
<b>Tabel 2.5</b> Pengaruh parameter kontrol PID	11
<b>Tabel 2.6</b> Tabel Tuning <i>Ziegler Nichols</i>	11
<b>Tabel 3.1</b> Data pH AB <i>mix</i>	20
<b>Tabel 3.2</b> Data EC AB <i>mix</i>	20
<b>Tabel 3.3</b> Fungsi Alih Sistem MIMO 2x2	26
<b>Tabel 3.4</b> Fungsi Alih <i>Disturbance</i>	29
<b>Tabel 4.1</b> Hasil grafik respon sistem	34
<b>Tabel 4.2</b> <i>Input</i> F1 dan F2 pada uji <i>Open loop</i>	35
<b>Tabel 4.3</b> Validasi nilai open loop	37
<b>Tabel 4.4</b> Perubahan <i>input</i> F2 pada uji <i>Open loop</i>	37
<b>Tabel 4.5</b> Perubahan <i>input</i> F2 pada uji <i>open loop</i>	39
<b>Tabel 4.6</b> Tabel Tuning <i>Ziegler Nichols</i>	40
<b>Tabel 4.7</b> <i>Set point</i> F1 dan F2 pada uji <i>close loop Ziegler Nichols</i>	41
<b>Tabel 4.8</b> Hasil eksperimen parameter <i>tuning</i> P uji <i>close loop</i>	42
<b>Tabel 4.9</b> Hasil eksperimen parameter <i>tuning</i> PI uji <i>close loop</i>	42
<b>Tabel 4.10</b> <i>Set point</i> F1 dan F2 pada uji <i>close loop</i>	43
<b>Tabel 4.11</b> Karakteristik respon uji <i>close loop</i> pH	44
<b>Tabel 4.12</b> Karakteristik respon uji <i>close loop</i>	45
<b>Tabel 4.13</b> <i>Set point</i> F1 diubah dan F2 tetap pada uji <i>close loop</i>	45
<b>Tabel 4.14</b> Hasil perubahan <i>input</i> F1 pada uji <i>close loop</i>	47
<b>Tabel 4.15</b> Perubahan <i>set point</i> F2 pada uji <i>close loop</i>	47
<b>Tabel 4.16</b> Hasil perubahan <i>set point</i> F2 pada uji <i>close loop</i>	49
<b>Tabel 4.17</b> <i>Set point / Disturbance</i> pada uji <i>Disturbance</i>	49
<b>Tabel 4.18</b> Hasil uji <i>Disturbance</i> pada pH	50
<b>Tabel 4.19</b> Hasil uji <i>Disturbance</i> pada EC	51

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris dengan sebagian besar penduduknya bermata pencaharian sebagai petani. Berdasarkan data BPS tahun 2018 jumlah petani mencapai 28,23% dari total angkatan kerja di Indonesia atau sekitar 36,91 juta jiwa [1]. Namun berdasarkan data dari BPS menyebutkan bahwa penurunan lahan terjadi pada tahun 2017 - 2018 yaitu dari 7,75 juta menjadi 7,1 juta hektare [2], penyusutan ini diikuti dengan jumlah lahan pekerjaan yang menurun di bidang pertanian. Oleh karena itu diperlukan alternatif cara tanam tanpa media tanah.

Hidroponik merupakan salah satu sistem pertanian masa depan yang dapat diaplikasikan di berbagai tempat. Luas tanah yang sempit, kondisi tanah kritis, keterbatasan jumlah air irigasi, dan musim yang tidak menentu dapat ditanggulangi dengan sistem hidroponik [3], hidroponik memiliki dua variabel penting yaitu pH dan EC.

Kedua variabel tersebut saling berkaitan baik secara perumusan maupun implementasinya, dalam sistem pengendalian terpisah antara pH dan EC, jika *manipulated* variabel dari salah satu diubah maka output *manipulated* variabel yang lain akan berubah, sehingga nilai pH dan EC yang dibutuhkan tidak tercapai. Oleh karena itu pada penelitian tugas akhir kali ini diusulkan menggunakan metode pengendalian MIMO 2x2.

Pada pH, Pengukuran pH merupakan faktor yang penting untuk dikontrol. Nutrisi yang berbeda mempunyai pH yang tidak sama atau berbeda juga, karena garam-garam pupuk mempunyai tingkat kemasaman yang berbeda jika dilarutkan dalam air. Garam-garam seperti monokalium fosfat, tingkat kemasamannya lebih rendah dari pada kalsium nitrat [4].

Larutan nutrisi sangat diperlukan bagi tanaman hidroponik, karena pada larutan nutrisi terdapat unsur hara yang diperlukan oleh tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Apabila unsur hara tidak terpenuhi maka pertumbuhan tanaman hidroponik akan terhambat. Namun bila unsur hara berlebih, maka garam yang terdapat dalam air akan semakin tinggi dan semakin tinggi EC-nya. Konsentrasi garam yang tinggi dapat merusak akar tanaman dan mengganggu serapan nutrisi dan air [5].

Maka dari itu diperlukan pengendalian derajat keasaman (pH) dan nutrisi (EC) yang diterapkan pada *plant* hidroponik untuk menjaga nilai besaran tersebut sehingga sesuai dengan kondisi spesifik tanaman dan kondisi lingkungan. Pengendalian tersebut dapat dirancang menggunakan 2x2 MIMO *control*. Sehingga dapat memberikan dampak penyerapan nutrisi yang optimal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, adapun rumusan masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini, yaitu

- Bagaimana hasil dari perancangan sistem pengendalian PID pH dan nutrisi (EC) dengan menggunakan 2x2 MIMO *control* pada hidroponik ?
- Apakah pengendalian menggunakan MIMO *control* efektif untuk diterapkan pada hidroponik ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah :

- Memperoleh hasil dari perancangan sistem pengendalian PID pH dan nutrisi (EC) dengan menggunakan 2x2 MIMO *control* pada hidroponik.

- Mengetahui dampak penggunaan pengendalian MIMO *control* pada hidroponik

#### **1.4 Batasan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah maka batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. *Plant* yang akan digunakan sebagai bahan penelitian adalah tangki CSTR 6 liter
- b. Sistem hidroponik yang digunakan adalah *deep flow technique*
- c. Larutan yang digunakan berupa Larutan AB *mix* dan pH *up* dan *down*
- d. Simulasi menggunakan perangkat lunak bantu *MATLAB 2014a*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II TEORI PENUNJANG

### 2.1 Hidroponik



**Gambar 2.1** Hidroponik

Hidroponik berasal dari bahasa Yunani, yaitu: *Hydro* yang berarti air dan *ponos* yang berarti pekerjaan. Hidroponik adalah salah satu teknik bercocok tanam pada larutan nutrisi dengan atau tanpa medium *inert* seperti sekam padi, sabut kelapa, kerikil, atau media lain yang memberikan dukungan mekanik pada akar. Sejak dirintis pada tahun 1930, sistem hidroponik mengalami perkembangan sangat pesat di berbagai negara. Pada pertengahan tahun 1960-1970, penggunaan sistem hidroponik telah berkembang di beberapa negara, seperti: Abu Dhabi, Belgia, Denmark, Jerman, Iran, Italia, Jepang, dan Uni Soviet. Kebanyakan sistem hidroponik beroperasi secara otomatis dalam mengendalikan jumlah air, nutrisi, dan paparan matahari berdasarkan kebutuhan tanaman yang dibudidayakan [6].

Pertumbuhan penduduk yang meningkat dan revolusi industri yang berkembang pesat menyebabkan penurunan lahan bercocok tanam. Selain itu metode pertanian yang konvensional menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan.

Diperlukan suatu metode yang efektif untuk memenuhi kebutuhan pangan bagi penduduk yang terus tumbuh. Metode budidaya cocok tanam menjadi solusi atas masalah swasembada pangan karena efisiensi penggunaan sumber daya dan jumlah hasil panen [7]

Sistem hidroponik sendiri mengenal beberapa macam struktur media budidaya nya beberapa diantaranya.

a. *Wick System*

Sistem hidroponik yang tidak membutuhkan pompa dan *aerator*. Tanaman budidaya tumbuh pada *absorbent* dan metode irigasi nya melalui pembuluh kapilari.

b. *Ebb and Flow System*

Sistem hidroponik ini bekerja dengan prinsip *flooding*. Pada dasarnya air dan larutan nutrisi membajiri media tanam dan tanamannya sampai pada ketinggian tertentu dan dalam waktu tertentu. Namun sistem ini tidak cocok untuk tanaman dengan akar yang mudah membusuk selain pertumbuhan lumut dan ganggang yang tidak diinginkan.

c. *Drip System*

Sistem hidroponik ini menggunakan *absorbent* sebagai media tanam dan larutan nutrisi dijaga menetes secara pelan tiap kurun waktu tertentu

d. *Nutrient Film Technique*

Sistem hidroponik ini memanfaatkan kemiringan media tanam sebanyak beberapa derajat untuk mengalirkan air melewati akar tanaman budidaya kembali ke penampungan air

## 2.2 *Deep Flow Technique (DFT)*

Sistem hidroponik DFT (*Deep Flow Technique*) merupakan metode budidaya tanaman hidroponik dengan menggunakan akar tanaman pada lapisan air yang dalam,

kedalaman lapisan berkisar antara 4 – 6 cm. Prinsip kerja sistem hidroponik DFT yaitu mensirkulasikan larutan nutrisi tanaman secara terus-menerus selama 24 jam. Teknik hidroponik ini dikategorikan sebagai sistem hidroponik tertutup. Umumnya penerapan teknik hidroponik ini digunakan pada budidaya tanaman sayuran daun dan sayuran buah [8].



**Gambar 2.2** Sistem Hidroponik DFT [9]

### **2.3 Derajat Keasaman (*pH*)**

*pH* adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Konsep *pH* pertama kali diperkenalkan oleh kimiawan Denmark Søren Peder Lauritz Sørensen 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 nilai 6.5 hingga 7.5 sementara bila nilai *pH* < 6.5 menunjukkan zat tersebut memiliki sifat asam sedangkan nilai *pH* > 7.5 menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa. *pH* 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan *pH* 14 menunjukkan derajat kebasaan tertinggi [10].

## 2.4 *Electrical Conductivity (EC)*

*Electrical Conductivity* adalah index konsentrasi garam dan indikator konsentrasi elektrolit pada larutan. EC pada larutan nutrisi berhubungan erat dengan banyaknya ions yang tersedia pada akar tanaman. Untuk memiliki EC yang optimal bergantung pada jenis tanaman yang akan kita tanam, dan bergantung pada kondisi lingkungan di sekitar. Pada umumnya nutrisi penghalang EC akan semakin tinggi dengan meningkatkan tekanan osmotik pada larutan nutrisi, larutan sisa, dan peningkatan pemakaian larutan nutrisi ke lingkungan, menghasilkan polusi pada lingkungan sekitar. EC yang lebih rendah dapat berakibat buruk pada kondisi kesehatan dan hasil dari tanaman [11].

## 2.5 *Larutan Nutrisi (Nutrient Solution)*

Larutan nutrisi sangat diperlukan bagi tanaman budidaya hidroponik. Ada beberapa formula unsur hara yang dikembangkan oleh beberapa ahli. Berikut adalah beberapa formula yang beredar umum di pasaran.

**Tabel 2.1** Kandungan unsur hara pada *Nutrient Solution* beberapa ahli [12]

Nutrient	Hoagland & Arnon (1938)	Hewitt (1966)	Cooper (1979)	Steiner (1984)
	mg L <sup>-1</sup>			
N	210	168	200-236	168
P	31	41	60	31
K	234	156	300	273
Ca	160	160	170-185	180
Mg	34	36	50	48
S	64	48	68	336
Fe	2.5	2.8	12	2-4
Cu	0.02	0.064	0.1	0.02
Zn	0.05	0.065	0.1	0.11
Mn	0.5	0.54	2.0	0.62
B	0.5	0.54	0.3	0.44
Mo	0.01	0.04	0.2	Not considered

Pada proses pencampuran larutan nutrisi, larutan yang biasa digunakan adalah sebagai berikut:



**Tabel 2.2** Jenis Pupuk yang Umum digunakan pada Larutan Nutrisi Hidroponik [12]

Fertilizers	Formula	Nutrient percentage	Solubility, g L <sup>-1</sup> at 20 °C
Calcium nitrate	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 5H <sub>2</sub> O	N: 15.5; Ca: 19	1290
Potassium nitrate	KNO <sub>3</sub>	N: 13; K:38	316
Magnesium nitrate	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	N: 11; Mg:9	760
Ammonium nitrate	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	N:35	1920
Monopotassium phosphate	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	P: 23; K: 28	226
Monoammonium phosphate	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	N: 12; P: 60	365
Potassium sulphate	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K: 45; S: 18	111
Magnesium sulphate	MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	Mg: 10; S: 13	335
Ammonium sulphate	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	N: 21; S: 24	754
Potassium chloride	KCl	K: 60; Cl: 48	330

## 2.6 Larutan AB Mix

Nutrisi yang digunakan adalah nutrisi AB *Mix* yaitu larutan nutrisi yang berfungsi sebagai suplai hara, baik mikro maupun makro untuk pertumbuhan tanaman yang optimum. Pada nutrisi tersebut terdapat dua larutan yaitu, A *Mix* yang mengandung unsur hara makro dan B *Mix* yang mengandung unsur hara mikro [13].

**Tabel 2.3** Kandungan Unsur Hara Pupuk A *Mix*

Nutrisi A		
No	Unsur	Fungsi
1	Nitrogen (N)	Membentuk DNA dan RNA
2	Fosfat (P)	Merangsang pertumbuhan akar tanaman
3	Kalium (K)	Sintesa Protein
4	Kalsium (Ca)	Membentuk dinding sel (tahan penyakit)
5	Sulfur (S)	Penyusun asam amino

**Tabel 2.4** Kandungan Unsur Hara Pupuk B *Mix*

Nutrisi B		
No	Unsur	Fungsi
1	Molibdenum (Mo)	Pembelahan dan pembentukan sel
2	Seng (Zn)	Katalisator dalam pembentukan dan pembelahan sel
3	Boron (Bo)	Membentuk selulosa
4	Mangan (Mn)	Membentuk energi
5	Tembaga (Cu)	Stabilasator klorif
6	Khlor (Cl)	Membentuk fisik tanaman
7	Besi (Fe)	Proses pembentukan klorofil

## 2.7 Proportional Integral Derivatif (PID)

Simulasi *matlab* untuk sistem kontrol *Propositional Integral Derivatif* (PID). Kontrol PID merupakan salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan adapun *software* yang lainnya *LabView* dll. Sistem dengan *software matlab* ini mudah dikombinasikan dengan *software* atau sistem atau metoda pengaturan yang lain seperti *Fuzzy*, *wavelet* dan *Robust*. Hal ini akan mendapatkan sistem pengatur yang semakin baik perancangan PID yang di bahas dalam tulisan ini yaitu gambaran untuk *Feedback System*, sesuai dengan gambar 1 sebagai berikut [14].

Kontrol PID untuk blok diagram yang akan dirancang dan akan di analisa responnya yaitu menggunakan persamaan *transfer function* sebagai berikut.

$$H(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s^3 + K_D s^2 + K_P s + K_I} \quad (2.1)$$

Kombinasi dari PID untuk persamaan *transfer function* dapat dirancang dengan beberapa kombinasi dan mempunyai variable konstanta untuk masing masing kombinasi. Untuk kontrol PID dapat menggabungkan system dan pengaturan antara lain : P (*Proportional*) *Controller*, D (*Derivative*) *Controller*, dan I (*Integral*) *Controller*. Masing-masing memiliki parameter tertentu yang harus diset untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai konstanta. Setiap jenis, memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, hal ini dapat dilihat pada tabel 2.4

Parameter-parameter tersebut, tidak bersifat *independent*, sehingga pada saat salah satu nilai konstantanya diubah, maka mungkin sistem tidak akan bekerja atau memberi respon seperti yang kita diinginkan. Dimana tabel tersebut hanya dipergunakan sebagai acuan apabila melakukan perubahan konstanta pada kontrol PID. Untuk merancang suatu kontrol PID, biasanya dipergunakan metoda *trial & error*.

**Tabel 2.5** Pengaruh parameter kontrol PID

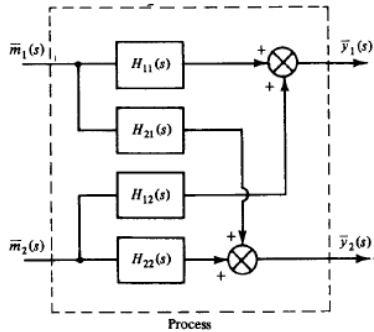
<i>Closed-Loop Response</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>SS error</i>
Kp	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Small change</i>	<i>Decrease</i>
Ki	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Increase</i>	<i>Eliminate</i>
Kd	<i>Small change</i>	<i>Decrease</i>	<i>Decrease</i>	<i>Small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

**Tabel 2.6** Tabel Tuning *Ziegler Nichols* [15]

Controller	Kp	Ti	Td
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	2L	0,5L

## 2.8 Sistem Multivariabel

Pada industri kimia, sering terjadi interaksi antara variabel *input-Output*. Perubahan suatu *input* kadang tidak hanya berpengaruh pada satu *Output* saja, melainkan bisa berpengaruh pada *Output* lain. Penggambaran sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.3 [16].



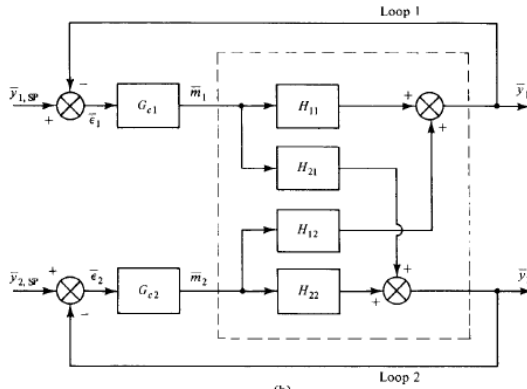
**Gambar 2.3** Sistem Multivariabel [17]

Penulisan model untuk gambar 2.3 diatas adalah :

$$\text{Loop 1 : } Y_1 = H_{11} \cdot M_1 + H_{12} \cdot M_2 \quad (2.2)$$

$$\text{Loop 2 : } Y_2 = H_{22} \cdot M_1 + H_{22} \cdot M_2 \quad (2.3)$$

Untuk mengetahui reaksi antara *loop* pengendalian di atas dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut :



**Gambar 2.4** Diagram Blok *Close Loop* Multivariabel Sistem

Jika  $G_{c1}$  dan  $G_{c2}$  adalah nilai fungsi transfer dari 2 kontroler, maka nilai hasil manipulasinya adalah sebagai berikut :

$$\bar{m}_{1(s)} = G_{c1} [\bar{y}_{1sp(s)} - \bar{y}_{1(s)}] \quad (2.4)$$

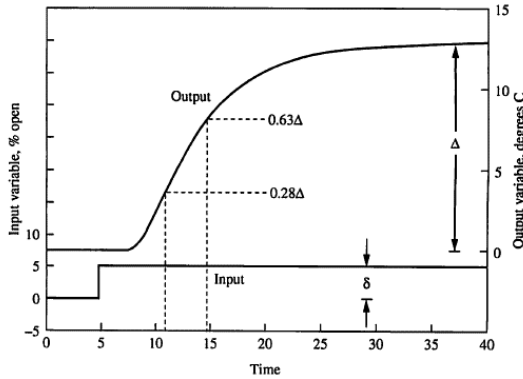
$$\bar{m}_{2(s)} = G_{c2} [\bar{y}_{2sp(s)} - \bar{y}_{2(s)}] \quad (2.5)$$

## 2.9 *First Order System Plus Dead Time (FOPDT)*

Sistem dinamik dari proses industri dapat dimodelkan dengan fungsi transfer FOPDT (*first order plus death time*). FOPDT didapatkan dari melakukan uji *open loop*. Uji *open loop* merupakan langkah yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik respon awal sebelum diberikan pengendali pada sistem. Uji *open loop* dilakukan dengan memberikan masukan berupa sinyal *step* pada input. Kemudian *output* akan mengalami perubahan yang membentuk grafik S (*S-Curve*) yang merupakan grafik respon orde satu.

Dari grafik respon sistem pada Gambar 2.5, maka akan didapatkan fungsi transfer pada persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{Ke^{\theta s}}{\tau s + 1} \quad (2.6)$$



**Gambar 2.5** Grafik Respon Sistem [18]

Dengan  $K$  merupakan *gain* sistem yang diperoleh dari perbandingan perubahan variabel proses yang diukur sebagai *Output* dengan variabel manipulasi sebagai *input* dengan rumus matematis pada Persamaan 2.7.

$$K = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{\Delta_{\text{process Variable}}}{\Delta_{\text{manipulated Variable}}} \quad (2.7)$$

Untuk *time constan* didapatkan melalui persamaan 2.8 berikut

$$\tau = 1,5 (t_{63\%} - t_{28\%}) \quad (2.8)$$

Dengan :

$t_{63\%}$  : waktu yang dibutuhkan ketika variabel proses mencapai 63% dari nilai akhir

$t_{28\%}$  : waktu yang dibutuhkan ketika variabel proses mencapai 28% dari nilai akhir

Sedangkan  $\theta$  (*dead time*) adalah perbedaan waktu dari respon *output controller* pada saat sinyal step diberikan hingga respon proses mulai bergerak. Atau bisa dituliskan pada Persamaan 2.9 berikut.

$$\theta = t_{63\%} - \tau \quad (2.9)$$

Dengan menggunakan persamaan yang didapatkan dari grafik respon sistem, maka akan didapatkan fungsi transfer FOPDT sebagai pemodelan dari *plant*. Pemodelan FOPDT ini digunakan untuk menentukan parameter tuning PID.

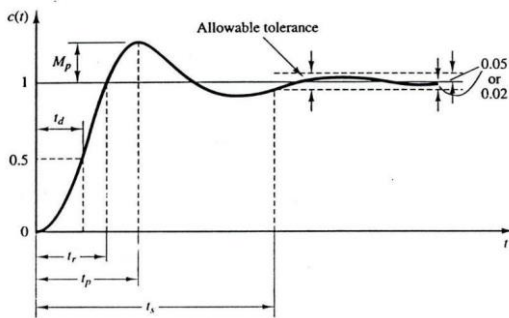
## 2.10 Karakteristik Respon Sistem

Karakteristik respon suatu sistem pengendalian dicirikan oleh respon *transien* terhadap *input* sinyal *step*. Jika respon terhadap *input* sinyal *step* diketahui, maka secara matematis dapat dihitung respon untuk sembarang *input*. Respon *transien* suatu sistem pengendalian secara praktis selalu menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai keadaan *steady-state*.

Karakteristik respon dari suatu sistem pengendalian adalah sebagai berikut:

- a. *Delay time* ( $td$ ) adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai setengah (50%) nilai akhir untuk waktu yang pertama.
- b. *Rise time* ( $tr$ ) adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk naik dari 10% menjadi 90%, 5% menjadi 95% atau 0% menjadi 100% dari nilai akhir yang digunakan.
- c. *Peak time* ( $tp$ ) adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak pertama *overshoot*.

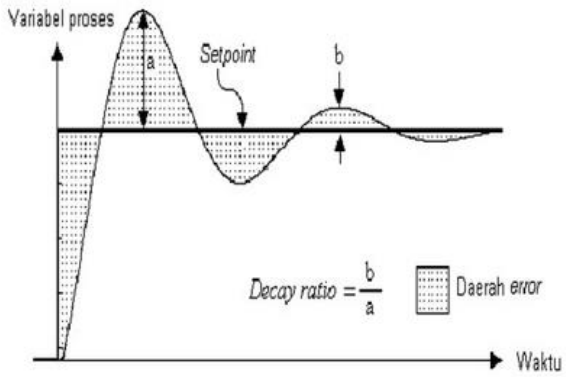
- d. *Maximum overshoot ( $M_p$ )* adalah nilai puncak kurva respon diukur dari satuan. Apabila nilai akhir keadaan tunak tanggapannya jauh dari satu, maka satuan yang digunakan adalah persentase (%).
- e. *Settling time ( $t_s$ )* adalah waktu yang diperlukan respon untuk masuk daerah kriteria *error* 2% atau 5% dari nilai akhir.



**Gambar 2.6** Karakteristik Respon Sistem [18]

- f. *IAE (Integral Absolute Error)* merupakan nilai integral dari nilai absolut *error* dari respon simulasi yang didapatkan. IAE dapat diilustrasikan berdasarkan gambar dibawah ini





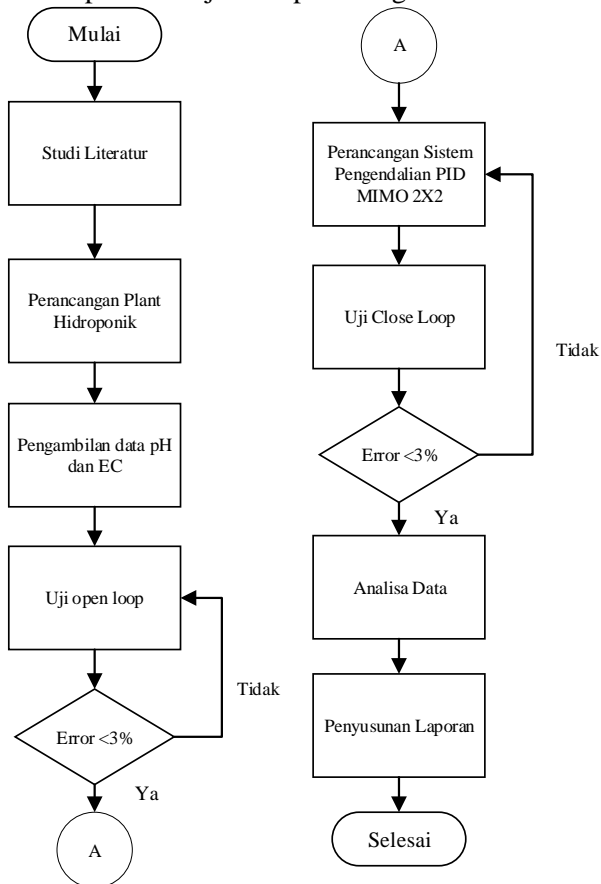
**Gambar 2.7** Penentuan Nilai Integral Absolute Error [19]

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 *Flowchart* Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan berdasarkan langkah – langkah (termasuk didalamnya adalah metodologi) sistematis seperti ditunjukkan pada diagram alir dibawah ini:



**Gambar 3.1** Diagram alir Penelitian

Penelitian **dimulai** dengan **studi literatur** tentang tumbuh kembang sawi pakcoi, sistem hidroponik dan terutama sekali pustaka yang terkait dengan sistem kontrol struktur MIMO, studi mengenai pH dan EC dengan pengaruhnya terhadap tanaman hidroponik, apakah memiliki hubungan yang kuat terhadap perkembangan pertumbuhannya, berikutnya dilakukan **perancangan *Plant hidroponik*** yang nantinya digunakan untuk **pengambilan data**, adapun pengambilan data yang dilakukan meliputi pengambilan data pH

**Tabel 3.1** Data pH AB *mix*

Waktu (s)	pH AB <i>mix</i>
1	7,12
2	7,14
3	7,15
4	7,23
5	7,25
6	7,32
7	8,05
8	8,56
9	8,55
10	8,68

Selanjutnya dilakukan pengambilan data EC pada tanaman

**Tabel 3.2** Data EC AB *mix*

Waktu (s)	EC( $\mu$ S /cm)
1	10
2	24
3	814

Waktu (s)	EC( $\mu$ S /cm)
4	2020
5	1816
6	1820
7	1850
8	2050
9	2040
10	2030
11	2060
12	2050
13	2050
14	2010
15	1935
16	1567
17	1542
18	1535
19	1923
20	1660

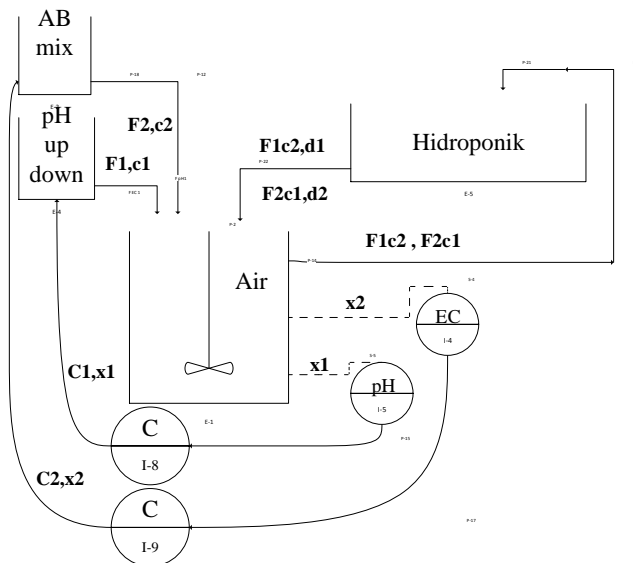
Setelah itu dilakukan pengambilan data pengaruh perubahan *input* pH terhadap *output* EC dan pengaruh perubahan *input* EC terhadap *output* pH, kemudian dari data yang telah diperoleh dilakukan pengolahan data menggunakan metode sistem orde satu yang nantinya akan mendapatkan persamaan FOPDT yang dapat mewakili model dari *plant* hidroponik yang ada, selanjutnya dilakukan **pengujian *open loop*** dengan uji *open loop* digunakan untuk mengetahui respon dari model *plant* hidroponik yang didapatkan tanpa adanya *disturbance* maupun kontroler yang nantinya akan di pasangkan pada pemodelan *close loop* yang digunakan, pada

pengujian yang dilakukan, digunakan bantuan *software* MATLAB 2014a untuk membuat pemodelan *open loop* dari *plant* hidroponik, pada pengujian *open loop* yang dilakukan akan dinyatakan berhasil bila pada grafik keluaran yang dihasilkan dengan *input* berupa sinyal step membentuk kurva S (*S curve*), bila pengujian belum menghasilkan kurva berbentuk S maka harus kembali melakukan perhitungan menggunakan metode *first order plus dead time*, bila telah berhasil mendapatkan kurva S yang diinginkan maka langkah selanjutnya yaitu melakukan **perancangan sistem pengendalian MIMO 2x2**. Tahapan perancangan sistem pengendalian MIMO 2x2 dimulai dari pengambilan data pada *plant* hidroponik, data yang dibutuhkan untuk mendapatkan persamaan orde satu yaitu data pH, data EC, data pengaruh perubahan *manipulated input* F1,c1 terhadap *output* x2 EC, dan data pengaruh perubahan *manipulated input* F2,c2 terhadap *output* x1 pH, pengambilan empat data tersebut berdasarkan pertimbangan prinsip kerja dari MIMO *control*, yang mana membutuhkan empat data yang saling berkaitan antara *input* dan *output* yang digunakan pada sistem tersebut, sehingga dilakukan pengambilan empat data tersebut, dari empat data yang dibutuhkan dilakukan olah data menggunakan persamaan sistem orde satu, dari hasil perhitungan persamaan tersebut akan digunakan untuk memenuhi blok persamaan yang ada pada gambar 3.3 sehingga sistem MIMO 2x2 yang dibuat dapat digunakan. Pada perancangan sistem pengendalian ini ditambahkan berupa *disturbance* yang berasal dari aliran air yang diberikan pada tanaman hidroponik yang telah ditambahkan nutrisi AB *mix* sehingga kita dapat mengetahui apakah model *plant* yang didapatkan dapat bertahan terhadap *disturbance* yang diberikan, dari perancangan sistem pengendalian yang telah dilakukan kemudian dilakukan berupa **uji close loop** dimana pada pengujian *close loop* diberikan umpan balik pada sistem yang nantinya akan menentukan apakah sistem yang telah dirancang mampu menerima

*disturbance* yang diberikan sekaligus memberikan umpan balik yang baik pada *input*, bila pada keluaran yang dihasilkan berupa grafik kurva sesuai dengan *input* yang diberikan maka perancangan sistem pengendalian MIMO 2x2 dinyatakan berhasil, selanjutnya dilakukan **analisa data** terhadap hasil grafik yang telah diperoleh, apakah dari hasil grafik tersebut dapat menjawab permasalahan yang diberikan, bila telah dilakukan analisa data maka dilakukan **penyusunan laporan tugas akhir** sebagai langkah terakhir dari penelitian tugas akhir ini.

### 3.2 Diagram Blok dan Skematik Proses pH dan EC

Pada tahapan ini akan dijelaskan mengenai model *Plant* hidroponik yang akan digunakan sebagai bahan penelitian tugas akhir kali ini



**Gambar 3.2** Diagram Blok *Plant* Hidroponik

Pada Gambar 3.2 menunjukkan bentuk *real Plant* hidroponik yang digunakan untuk penelitian kali ini,

Dengan :

$F1,c1$  = *Input Flow*

$F2,c2$  = *input Konsentrasi*

$c1$  = Pengaruh pH terhadap EC

$c2$  = Pengaruh EC terhadap pH

$x1$  = *Output pH*

$x2$  = *Output EC*

$H_{11}$  = Fungsi alih pH

$H_{22}$  = Fungsi alih EC

$H_{21}$  = Fungsi alih pengaruh pH terhadap EC

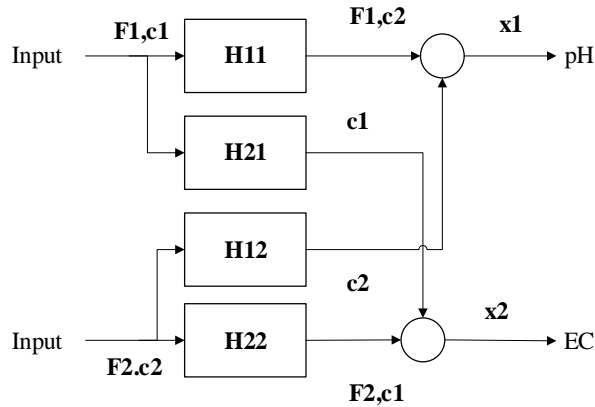
$H_{12}$  = Fungsi alih pengaruh EC terhadap pH

$C1,x1$  = kontrol pH *down*

$C2,x2$  = kontrol AB *mix*

Adapun beberapa komponen yang digunakan untuk membuat *plant* hidroponik terdiri dari tiga tangki, sebuah pompa, sensor pH, sensor EC, dan juga pengaduk. Ketiga tangki tersebut berisi larutan yang terdiri dari AB *mix* sebagai pengatur kadar nutrisi pada tanaman dan pH *down* yang digunakan sebagai pengatur kadar pH yang terlarut pada tanaman yang selanjutnya selanjutnya dimasukkan kedalam tangki ketiga yang berisi air yang nantinya tercampur dengan nutrisi dan pH *down* sehingga menjadi larutan yang siap dialirkan pada *plant*, selanjutnya dilakukan pengaliran air pada tanaman hidroponik yang nantinya air hasil pengaliran akan kembali pada tank larutan ketiga. Dari penjelasan tersebut dibuat diagram blok sistem *open loop* pada *plant* hidroponik seperti berikut





**Gambar 3.3** Diagram Blok sistem *Open Loop* MIMO 2x2 pH dan EC

Pada Gambar 3.3 didapatkan diagram blok sistem *open loop* yang mewakili proses yang terjadi pada diagram blok *plant* hidroponik yang telah dibuat. Didapatnya model *open loop* ini mengacu pada dasar teori sistem multivariabel seperti pada gambar 2.3. Dari pemodelan *open loop* yang telah diperoleh dengan mengacu pada sistem multivariabel pada dasar teori, maka diagram blok sistem *open loop* yang didapatkan dapat mewakili diagram blok *plant* hidroponik yang ada. Persamaan fungsi alih yang digunakan untuk H11 adalah sebagai berikut

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

Dengan K merupakan *gain* sistem yang diperoleh dari perbandingan perubahan variabel proses yang diukur sebagai *Output* dengan variabel manipulasi sebagai *input* dengan rumus matematis pada Persamaan 3.2.

$$K = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{\Delta_{\text{process Variable}}}{\Delta_{\text{manipulated Variable}}} \quad (3.2)$$

Untuk time constan didapatkan melalui persamaan 3.3 berikut

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

Dengan :

$t_{63\%}$  : waktu yang dibutuhkan ketika variabel proses mencapai 63% dari nilai akhir

$t_{28\%}$  : waktu yang dibutuhkan ketika variabel proses mencapai 28% dari nilai akhir

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

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

Dari persamaan fungsi alih di atas didapatkan persamaan untuk H11, H12, H21, H22 sebagai berikut

**Tabel 3.3** Fungsi Alih Sistem MIMO 2x2

Diagram blok	Gain (k)	Time Konstan ( $\tau$ ) (s)	Hasil
H <sub>11</sub>	11,435	4,644 s	$\frac{11,435}{4,644s+1}$ (3.5)
H <sub>21</sub>	3574,428	3,5 s	$\frac{3574,428}{3,5s+1}$ (3.6)
H <sub>12</sub>	5	4,566 s	$\frac{5}{4,566s+1}$ (3.7)
H <sub>22</sub>	2857,142	7,611 s	$\frac{2857,142}{7,611s+1}$ (3.8)

### 3.3 Langkah-Langkah Eksperimen Penentuan pH dan EC

Langkah-langkah eksperimen yang dilakukan untuk pengambilan data pada *plant* Hidroponik terdiri dari pengambilan data nilai pH terhadap waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan stabil. Selanjutnya dilakukan pengambilan data EC terhadap waktu. Kemudian pengambilan data pengaruh perubahan *input* F1 terhadap *output* x2, dan terakhir pengambilan data pengaruh perubahan *input* F2 terhadap *output* x1. Dari data yang telah didapatkan dibuat grafik respon dari sistem untuk mengetahui karakteristik dari *plant* yang sedang diamati. Untuk mengetahui persamaan dari respon sistem digunakan persamaan FOPDT atau *First Order Plus Dead Time*, hasil dari persamaan yang didapatkan dalam bentuk fungsi transfer. Setelah diketahui bagaimana karakteristik respon dari sistem yang diamati, maka langkah selanjutnya dimulai pengujian *open loop* menggunakan bantuan software *MATLAB* 2014a, pada uji *open loop* dicari karakteristik dari *plant* yang digunakan apakah sesuai dengan *plant* hidroponik sesungguhnya, dari pengujian *open loop* yang dilakukan eksperimen mengenai apakah simulasi sistem yang dilakukan benar menerapkan prinsip MIMO 2x2, untuk mengetahui simulasi sistem yang telah dibuat benar MIMO 2x2 dapat dilakukan pengujian dengan mengubah *input* F1 dan F2 pada simulasi di *MATLAB* 2014a, bila salah satu *input* diubah dan satu lainnya dibuat tetap maka akan ada perubahan pada *output* yang dihasilkan x2, begitu juga sebaliknya, bila *input* F2 diubah dan F1 dibuat tetap maka akan terjadi perubahan *output* pada x1, adapun yang dapat memperkuat eksperimen yang dilakukan yaitu dengan melakukan perhitungan *Relative Gain Array* atau RGA, dengan perhitungan RGA kita dapat mengetahui seberapa kuat pengaruh yang ditimbulkan dari perubahan *input* F1 dan F2 terhadap *output* x1 dan x2, adapun ketentuan pada perhitungan RGA, yaitu bila hasil dari perhitungan menghasilkan nilai nol maka x1 tidak terpengaruh

oleh perubahan F1 dan F2, bila hasil RGA sama dengan satu maka F1 ataupun F2 tidak berpengaruh terhadap *output* x1 ataupun x2, bila nilai RGA adalah  $0 < A < 1$  maka ada interaksi antara *input* F1 dan F2 dengan *output* x1 dan x2, dari pengujian *open loop* yang dilakukan dan dilakukannya pengujian terhadap model yang telah dibuat dengan diubah salah satu *input* dan dengan melakukan perhitungan RGA, maka selanjutnya dilakukan uji *close loop* untuk mengetahui parameter PID yang terbaik sebagai parameter kontroler untuk model MIMO 2x2, untuk mengetahuinya dilakukan eksperimen dan melihat bagaimana respon sistem pada grafik yang dihasilkan, bila grafik respon sistem yang dihasilkan cepat dalam menangani *overshoot* pada grafik maka parameter tersebut adalah yang terbaik untuk kontroler mode MIMO 2x2.

Selanjutnya dilakukan uji *disturbance* pada *plant*, uji *disturbance* dilakukan untuk mengetahui apakah model sistem yang dibuat dapat bertahan meskipun diberikan *disturbance* yang dapat mengganggu jalannya sistem, bila sistem mampu bertahan pada uji *disturbance* maka model sistem yang telah dibuat layak untuk digunakan.

### 3.4 Pemodelan Transmitter

Pada pemodelan *transmitter* digunakan persamaan 3.1 untuk mendapatkan nilai K. *Transmitter* yang digunakan memiliki variabel *input* berupa pH sebesar 5,5 - 7,5 dan variabel *output* berupa arus sebesar 4-20 mA. Didapatkan nilai K sebagai berikut.

$$K = \frac{16}{2} = 8 \quad (3.9)$$

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

$$G(s) = \frac{8}{2s+1} \quad (3.10)$$

### 3.5 Pemodelan *Disturbance*

Pemodelan *disturbance* adalah pemodelan pH dan EC *output* dari tanaman sebelum masuk pada tangki nutrisi. Data *disturbance* didapatkan dari pengambilan data pada *plant*. Dari data tersebut dibuat fungsi transfer dengan menggunakan persamaan 3.1 sampai 3.4. Fungsi transfer yang didapat digunakan untuk simulasi pada Matlab 2014a. untuk variabel *input* berupa *flow* dan keluaran berupa pH dan EC. Dari perhitungan persamaan 3.1 sampai 3.4 didapatkan hasil sebagai berikut.

**Tabel 3.4** Fungsi Alih *Disturbance*

<i>Gain</i> (k)	<i>Time Konstan</i> ( $\tau$ ) (s)	<i>Dead Time</i> ( $\theta$ ) (s)	Hasil
1.04	1.704s	0.188 s	$\frac{0,861}{1,704s+1}$ (3.14)
6,521	5.436 s	0.568 s	$\frac{3,695}{5,436s+1}$ (3.15)

### 3.6 Pemodelan *Control Valve*

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

$$K = \frac{\text{span output}}{\text{span variabel terukur}} \quad (3.11)$$

$$K = \frac{14-0}{20-4} = \frac{14}{16} = 0,875 \quad (3.12)$$

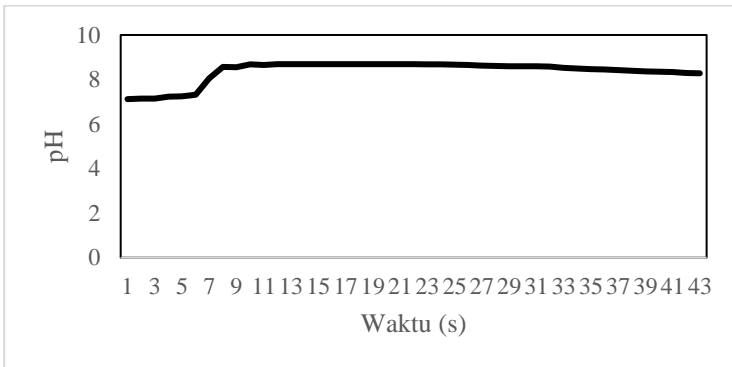
Untuk nilai *time constan* dianggap 0 karena tidak ada *delay* pada *control valve* sehingga didapatkan persamaan matematis sebagai berikut.

$$G(s) = \frac{0.875}{0+1} = 0.875 \quad (3.13)$$

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Proses Eksperimen Nilai pH dan EC

Dari pengambilan data yang diperoleh didapatkan grafik proses pH terhadap waktu sebagai berikut



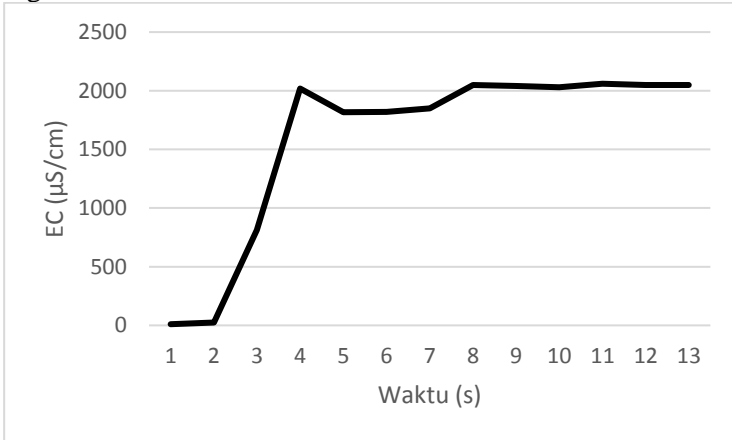
**Gambar 4.1** Grafik perubahan pH AB *mix* terhadap waktu

Pada gambar 4.1 merupakan data yang diambil pada *plant* hidroponik dengan besaran waktu terhadap perubahan nilai pH AB *mix*, terjadi perubahan pada detik ke 5 hingga 9 dengan pH mengalami kenaikan dari semula pH 7 menjadi pH 8. Pembacaan data pH ini belum sesuai dengan standar nilai PH yang dibutuhkan oleh tanaman sehingga perlu adanya pengendalian sehingga tanaman dapat tumbuh lebih baik lagi. Adapun *input* yang digunakan pada gambar 4.1 adalah aliran dengan kecepatan 14 ml/s

Selanjutnya yaitu data *input* nilai EC yang diperoleh dari larutan AB *mix*

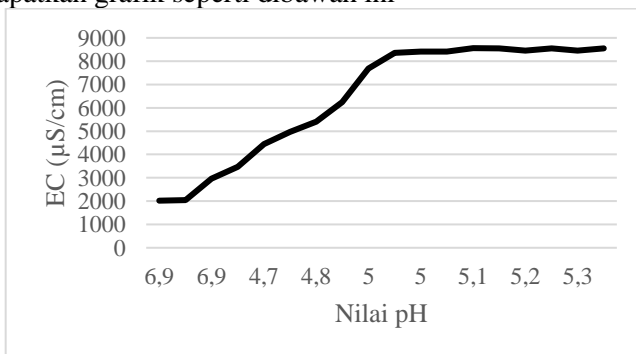
Pada gambar 4.2 merupakan data yang diambil pada *Plant* hidroponik dengan besaran waktu terhadap perubahan nilai EC AB *mix*, terjadi perubahan pada detik ke 11 hingga ke 15, dimana EC AB *mix* menunjukkan nilai terendah 10  $\mu\text{S/cm}$

hingga pada kisaran tertinggi 2100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Adapun *input* yang digunakan pada gambar 4.2 adalah konsentrasi dari AB *mix*. Pembacaan nilai yang dilakukan sudah sesuai dengan standar nilai EC yang dibutuhkan untuk tanaman sehingga cukup baik digunakan.



**Gambar 4.2** Data perubahan EC AB *mix* terhadap waktu.

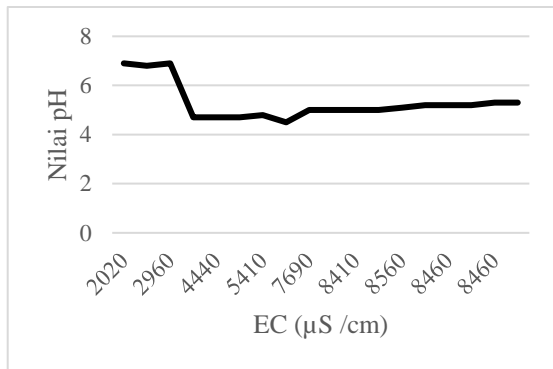
Selanjutnya yaitu pengaruh perubahan *input* F1 terhadap *Output* x2 dengan menambahkan 200ml NaOH, sehingga didapatkan grafik seperti dibawah ini



**Gambar 4.3** Grafik perubahan nilai *input* F1 terhadap nilai *Output* x2



Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa terdapat hubungan kuat antara perubahan *input* F1 dengan x2, pada nilai EC dengan 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pembacaan nilai pH mengalami kenaikan, namun saat pH mengalami penurunan, nilai yang didapatkan EC mengalami kenaikan hingga 8000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dari kedua grafik ini dapat dilihat bahwa perubahan yang terjadi antara pH dan EC memiliki hubungan yang cukup kuat.



**Gambar 4.4** Grafik pengaruh perubahan F2 terhadap *Output* x1

Pada gambar 4.4 menunjukkan terdapat hubungan kuat antara perubahan nilai pH dengan EC, pada nilai pH dengan asam lemah yaitu 4,7. Adapun nilai EC akan meningkat saat nilai pH mulai berangsur naik kembali pada saat pH menunjukkan angka 5.

Dari keempat hasil grafik diatas, digunakan persamaan *First Order Plus Dead Time* (FOPDT) untuk mendapatkan *gain* dan *time* konstan dari sistem hidroponik yang ada, adapun persamaan (FOPDT) yang digunakan seperti pada persamaan 2.6 yaitu

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

Dengan  $K$  adalah *gain* sistem yang diperoleh dari perbandingan perubahan variabel proses yang diukur sebagai *Output* dengan variabel manipulasi sebagai *input* dengan rumus matematis seperti pada 2.7 yaitu

$$K = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{\Delta \text{Process Variable}}{\Delta \text{Manipulated Variable}}$$

Untuk *time* constan didapatkan melalui persamaan 2.8

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

Dimana :

$t_{63\%}$  : waktu yang dibutuhkan ketika variabel proses mencapai 63% dari nilai akhir

$t_{28\%}$  : waktu yang dibutuhkan ketika variabel proses mencapai 28% dari nilai akhir

Sedangkan  $\theta$  (*dead time*) adalah perbedaan waktu dari respon *output controller* pada saat sinyal *step* diberikan hingga respon proses mulai bergerak. Atau bisa dituliskan pada persamaan 2.9 berikut.

$$\theta = t_{63\%} - \tau$$

Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan di atas, didapatkan hasil sebagai berikut

**Tabel 4.1** Hasil grafik respon sistem

Diagram blok	<i>Gain</i> (k)	<i>Time</i> Konstan ( $\tau$ ) (s)	Hasil
H <sub>11</sub>	11,435	4,644 s	$\frac{11,435}{4,644s+1}$ (4.1)
H <sub>21</sub>	3574,428	3,5 s	$\frac{3574,428}{3,5s+1}$ (4.2)

Diagram blok	Gain (k)	Time Konstan ( $\tau$ ) (s)	Hasil
H <sub>12</sub>	5	4,566 s	$\frac{5}{4,566s+1}$ (4.3)
H <sub>22</sub>	2857,142	7,611 s	$\frac{2857,142}{7,611s+1}$ (4.4)

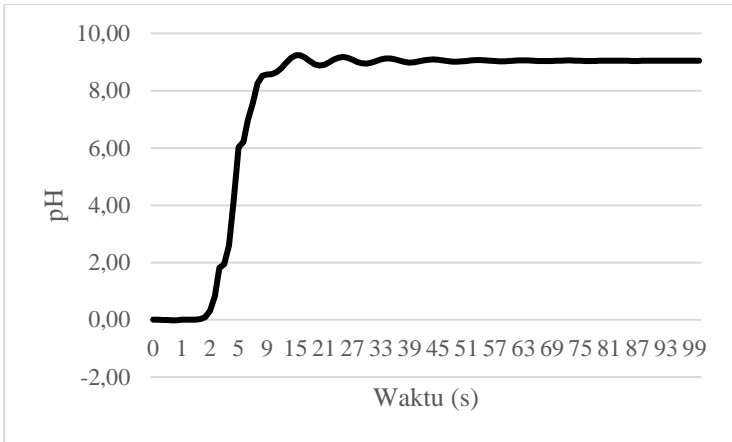
#### 4.2 Uji *Open loop Model Proses MIMO 2x2 pH dan EC*

Pada proses identifikasi pemodelan sistem hidroponik menggunakan MIMO 2x2 kontrol dilakukan dengan cara uji *open loop*, yang mana akan mengetahui apakah pemodelan sistem yang telah dibuat benar menerapkan prinsip MIMO 2x2 kontrol, salah satu cara untuk mengetahui apakah sistem tersebut menerapkan MIMO 2x2 kontrol adalah dengan mengubah salah satu *input* pada sistem, lalu dilihat apakah benar ada perubahan pada keluaran *loop* lainnya

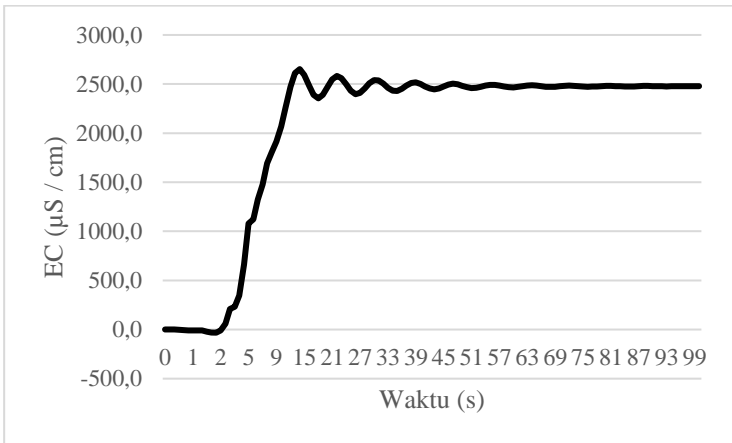
**Tabel 4.2** *Input F1 dan F2 pada uji Open loop*

F1	F2	x1(pH)	x2 (EC) ( $\mu\text{S/cm}$ )
20	20	9,047	2477

Pada tabel 4.2 merupakan *input* dan hasil uji *open loop* yang diberikan pada diagram blok sistem pH dan EC yang telah dibuat untuk mengetahui respon keluaran yang dihasilkan, *input* F1 dan F2 yang diberikan pada uji *open loop* adalah arus, dari dua *input* diatas didapatkan keluaran yang dihasilkan oleh masing-masing *input* yang belum di manipulasi sehingga belum terjadi perubahan pada salah satu keluaran. Didapatkan nilai pH 9,047 dan EC 2477  $\mu\text{S/cm}$ . Adapun hasil grafik dari nilai pH dan EC adalah sebagai berikut.



**Gambar 4.5** Grafik hasil pH uji *Open loop*



**Gambar 4.6** Grafik hasil EC uji *Open loop*

Hasil open loop yang didapatkan dapat divalidasi dengan data yang didapatkan pada saat pengambilan data di lapangan dan didapatkan hasil sebagai berikut

**Tabel 4.3** Validasi nilai open loop

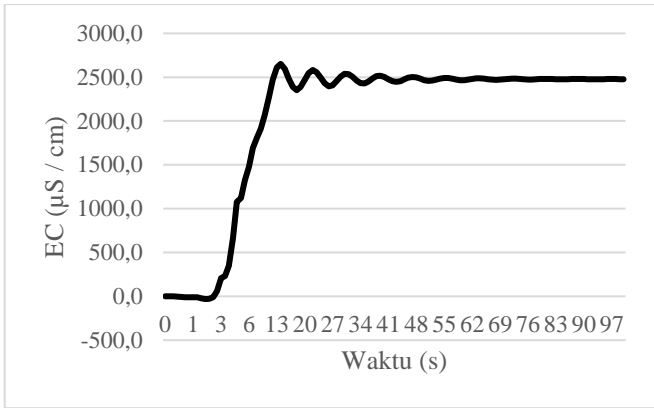
pH	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	x1 pH	x2 EC ( $\mu\text{S/cm}$ )
8,56	2100	9,047	2477

Pada tabel 4.3 merupakan hasil validasi nilai *open loop* dengan data *plant*, dari hasil *open loop* yang didapatkan nilai tersebut masih dapat digunakan karena dari pengujian *open loop* yang dilakukan sudah dikenai pengaruh perubahan dari masing – masing input sehingga hasil yang didapatkan lebih besar dari pengambilan data pada *plant*.

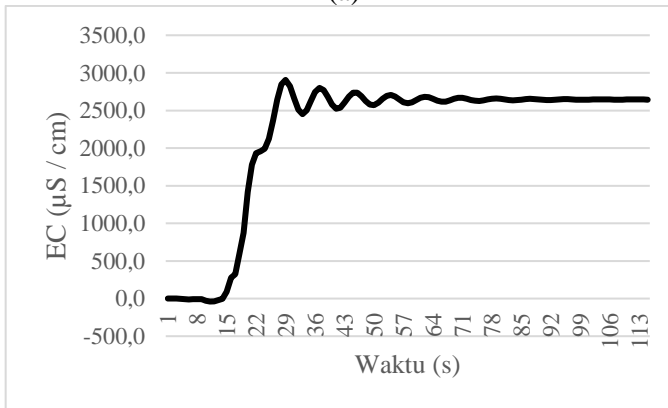
**Tabel 4.4** Perubahan *input* F2 pada uji *Open loop*

F1	F2	x1 pH	x2 EC ( $\mu\text{S/cm}$ )
30	20	13,33	2645

Pada tabel 4.4 dilakukan perubahan pada *input* F1 sementara *input* F2 dibuat tetap untuk melihat bagaimana perubahan yang terjadi pada keluaran masing-masing, didapatkan perubahan pada kedua keluaran, keluaran x1 mendapatkan nilai 13,33 sedangkan pada x2 didapatkan nilai 2645  $\mu\text{S/cm}$



(a)



(b)

**Gambar 4.7** Grafik pengaruh *input* F1 terhadap *Output* x2 (a) sebelum, (b) sesudah

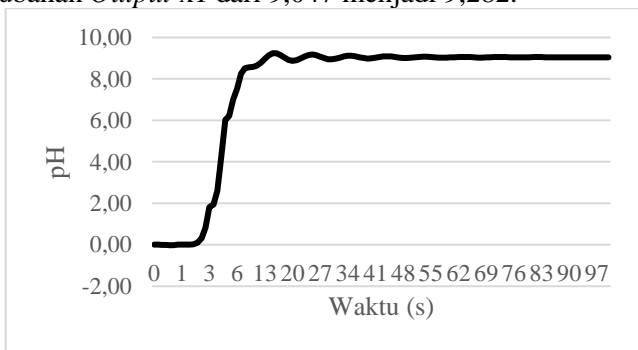
Pada grafik 4.7 terjadi perubahan pada *output* x2, nilai awal *output* yang dihasilkan oleh x2 adalah 2477  $\mu\text{S/cm}$ , setelah diberikan perubahan nilai *input* F1 terjadi perubahan *output* x2 menjadi 2645  $\mu\text{S/cm}$ .

**Tabel 4.5** Perubahan *input* F2 pada uji *open loop*

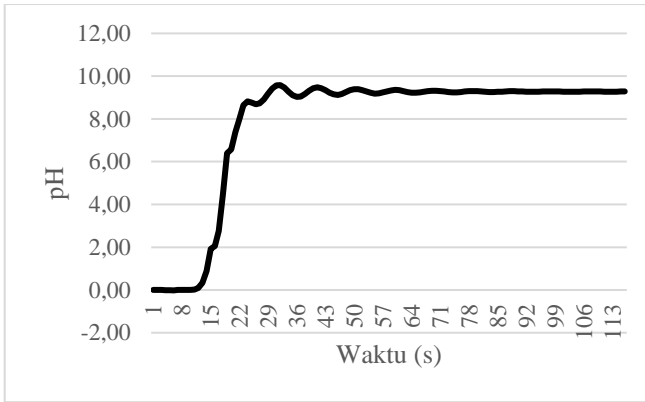
F1	F2	x1 pH	x2 EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
20	30	9,282	3549

Pada tabel 4.5 dilakukan perubahan *input* pada sistem uji *open loop*, namun kali ini dilakukan perubahan pada *input* F2 menjadi 30, dan didapatkan hasil dengan keluaran x1 9,282 dan x2 dengan nilai 3549  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dari kedua hasil perubahan *input* F1 dan F2 yang dilakukan, didapatkan perubahan pada masing-masing keluaran yang dihasilkan, oleh karenanya sistem *open loop* yang dirancang dengan MIMO 2x2 sudah benar, namun perlu dilakukan penambahan kontroler pada masing-masing *input* F1 dan F2 sehingga jika diberi perubahan maka *output* yang dihasilkan tidak berubah jauh dari *set point* yang telah ditentukan

Pada gambar 4.8 merupakan perubahan yang terjadi pada *output* x1 yang dihasilkan dari perubahan nilai *input* x2, terjadi perubahan *Output* x1 dari 9,047 menjadi 9,282.



(a)



(b)

**Gambar 4.8** Grafik pengaruh perubahan *input* F2 terhadap *Output* x1 (a) sebelum, (b) sesudah

### 4.3 Uji *Close Loop* Model Proses MIMO 2x2 pH dan EC

Setelah dilakukan uji *open loop* pada sistem MIMO 2x2, dilakukan uji *close loop* untuk menentukan parameter kontroler yang tepat agar sistem dapat stabil.

**Tabel 4.6** Tabel Tuning *Ziegler Nichols*

Controller	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

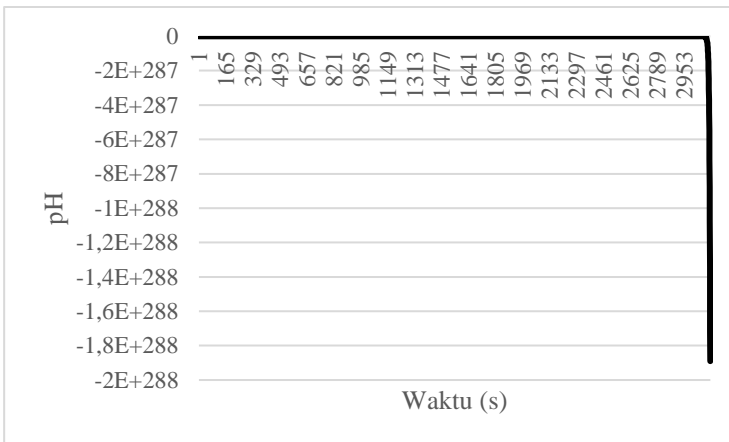
Pada tabel 4.6, merupakan aturan tuning ziegler nichols, didapatkan parameter tuning untuk uji close loop, untuk PID pada pH ( $K_p = 3,2$ ,  $T_i = 3$ ,  $T_d = 0,75$ ) dan untuk PID pada EC didapatkan ( $K_p = 6$ ,  $T_i = 4$ ,  $T_d = 1$ ), dari hasil parameter tersebut didapatkan hasil sebagai berikut



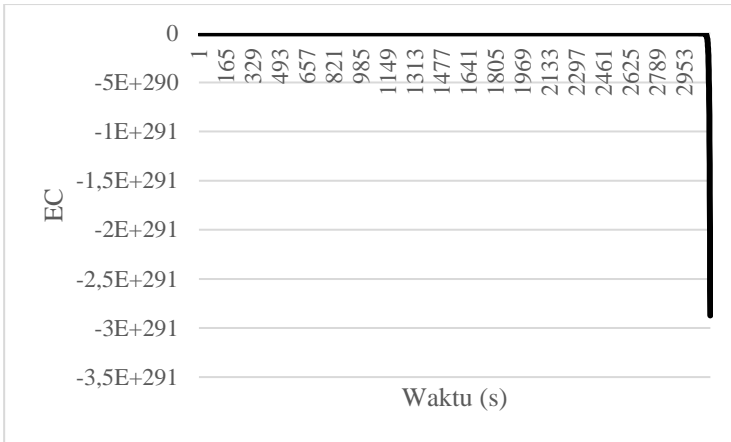
**Tabel 4.7** Set point F1 dan F2 pada uji *close loop* Ziegler Nichols

F1	F2	x1 pH	x2 EC ( $\mu\text{S/cm}$ )
7,5	2200	-1,89e+288	-2,872e+291

Pada tabel 4.7 merupakan tabel set point dan hasil yang didapatkan pada uji *close loop* Ziegler Nichols, pada uji ini diberikan set point dengan nilai 7,5 dan 2200 dan didapatkan output dengan nilai -1,89e+288 untuk pH dan EC dengan nilai -2,872e+291  $\mu\text{S/cm}$ . Dari hasil yang tersebut didapatkan hasil grafik sebagai berikut



**Gambar 4.9** Grafik pH uji *close loop* Ziegler Nichols



**Gambar 4.10** Grafik EC uji *close loop* Ziegler Nichols

Pada gambar 4.9 dan 4.10 merupakan hasil grafik yang didapatkan menggunakan metode tuning *Ziegler Nichols*, dari hasil tersebut maka metode tuning *Ziegler Nichols* tidak dapat digunakan karena hasil yang di dapatkan tidak mencapai set point yang diinginkan

Selanjutnya dilakukan eksperimen tuning menggunakan PID untuk mendapatkan parameter yang tepat untuk uji *close loop*, dan didapatkan hasil sebagai berikut

**Tabel 4.8** Hasil eksperimen parameter *tuning P* uji *close loop*

pH			EC		
P	1.4	0,9796	P	0.012	273
	1.4	0,9923		0.0013	276,3
	1	0,812		0.0001	252,4

**Tabel 4.9** Hasil eksperimen parameter *tuning PI* uji *close loop*

pH			EC		
PI	1.4 / 0.5	6,463	PI	0.012 / 0.005	5435

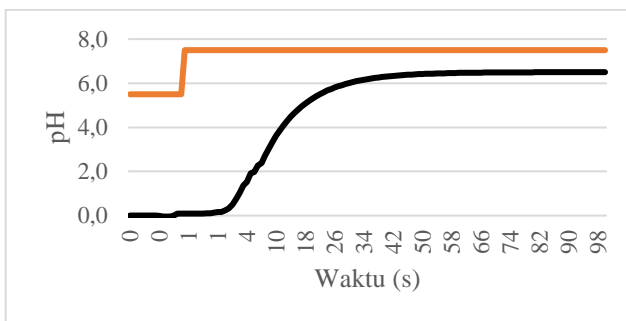
pH			EC		
	1.4 / 0.5	6,499		0.0013 / 0.000001	1967
	1 / 0.5	6,5		0.0001 / 0.000001	2026

Dari hasil eksperimen untuk parameter *tuning* uji *close loop*, didapatkan nilai terbaik untuk parameter tuning yaitu pH ( $K_p = 1$ ,  $T_i = 0,5$ ) dan EC ( $K_p = 0,0001$ ,  $T_i = 0,000001$ ), dan didapatkan hasil sebagai berikut

**Tabel 4.10** *Set point* F1 dan F2 pada uji *close loop*

F1	F2	x1 pH	x2 EC ( $\mu\text{S/cm}$ )
7.5	2200	6.5	2026

Pada tabel 4.10 merupakan *set point* dan hasil uji *close loop* yang diberikan pada diagram blok pengendalian pH dan EC yang telah dibuat untuk mengetahui respon output x1 dan x2 yang dihasilkan, *set point* yang diberikan pada uji *close loop* untuk pH adalah derajat keasaman untuk tanaman dan pada EC adalah *set point* konduktivitas larutan untuk tanaman. Dari *set point* yang diberikan didapatkan hasil x1 pH dengan nilai 6,5 dan x2 EC dengan nilai 2026  $\mu\text{S/cm}$ .



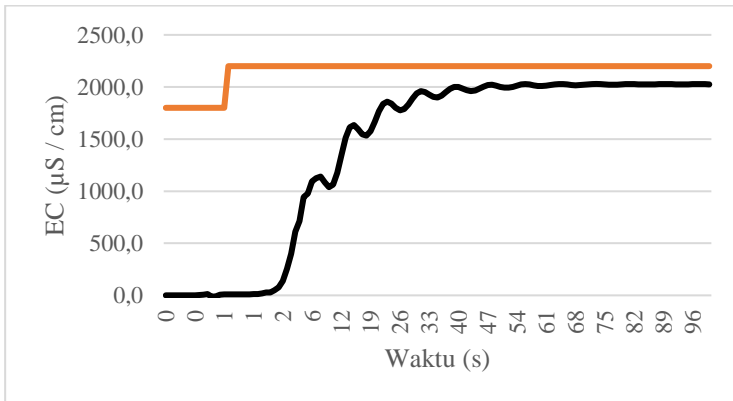
**Gambar 4.11** Grafik pH hasil uji *close loop*

Dari grafik hasil respon pada gambar 4.11 di atas, didapatkan karakteristik respon sistem sebagai berikut

**Tabel 4.11** Karakteristik respon uji *close loop* pH

<i>Controller</i>	PID
<i>Max Overshoot</i>	0 %
<i>Settling Time</i>	35 s
<i>Error Steady State</i>	0,01 %
<i>Intergral Absolute Error</i>	4462

Dari grafik 4.11 hasil uji *close loop* pH yang dilakukan didapatkan *maksimum overshoot* sebesar 0%, *settling time* pada detik ke 35 s, *error steady state* 0,01%, dan *integral absolute error* dengan nilai 4947.



**Gambar 4.12** Grafik EC hasil uji *close loop*

Dari grafik hasil respon yang pada gambar 4.12 di atas, didapatkan hasil uji *close loop* sebagai berikut

**Tabel 4.12** Karakteristik respon uji *close loop*

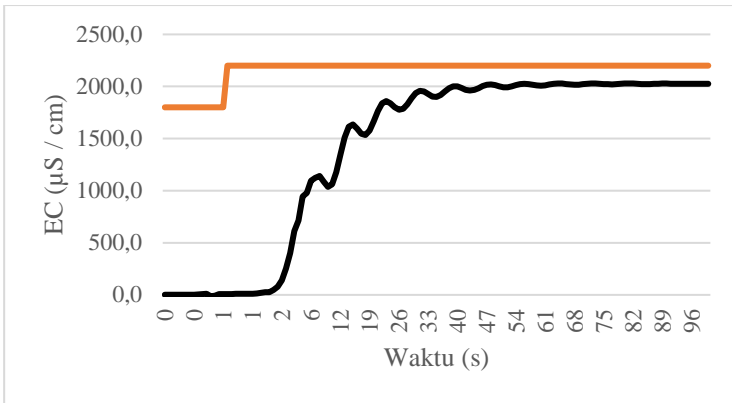
<i>Controller</i>	PID
<i>Max Overshoot</i>	0 %
<i>Settling Time</i>	60 s
<i>Error Steady State</i>	0,079 %
<i>Integral Absolute Error</i>	7993

Dari grafik hasil uji *close loop* yang dilakukan untuk EC, didapatkan maksimum *overshoot* 0%, *settling time* 60 s, *error steady state* 0,079%, dan *integral absolute error* 7993. Selanjutnya dilakukan perubahan pada *set point* F1 untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan *set point* F1 terhadap *output* x2. Nilai *set point* F1 diubah menjadi 7.

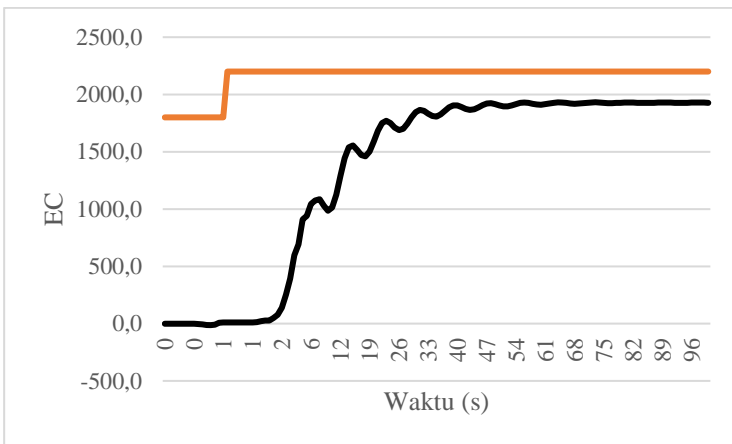
**Tabel 4.13** *Set point* F1 diubah dan F2 tetap pada uji *close loop*

F1	F2	x1 pH	x2 EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
7	2200	6,188	1917

Pada tabel 4.13 diberikan nilai perubahan pada *set point* F1 untuk mengetahui apakah ada pengaruh pada nilai *output* x2 pada sistem uji *close loop* yang dilakukan, diberikan perubahan pada *set point* F1 dengan nilai 7 dan didapatkan hasil keluaran nilai x1 6,188, dan nilai x2 menjadi 1917  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



(a)



(b)

**Gambar 4.13** Grafik pengaruh perubahan *input* F1 terhadap *Output* x2 (a) sebelum, (b) sesudah

Dari grafik hasil pengaruh perubahan uji *set point input* F1 pada gambar 4.13 di atas, didapatkan perubahan *output* x2 sebagai berikut

**Tabel 4.14** Hasil perubahan *input* F1 pada uji *close loop*

<i>Input</i> F1	Karakteristik Dinamik	Nilai
<i>Set point</i> 7,5 (Gambar a)	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	60 s
	<i>Error Steady State</i>	0,079 %
<i>Set point</i> 7 (Gambar b)	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	66 s
	<i>Error Steady State</i>	0,123 %

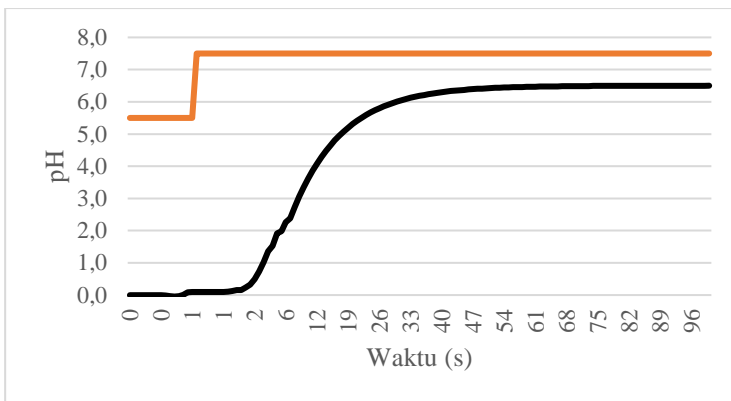
Dari hasil perubahan *set point* F1 yang dilakukan pada tabel 4.14, didapatkan nilai *maksimum overshoot* tetap yaitu 0, *settling time* naik dari 60 s menjadi 66 s, dan *error steady state* berubah dari 0,079% menjadi 0,123%.

Selanjutnya dilakukan perubahan *set point* pada F2, untuk melihat apakah masih ada pengaruh *set point* F2 terhadap *output* x2

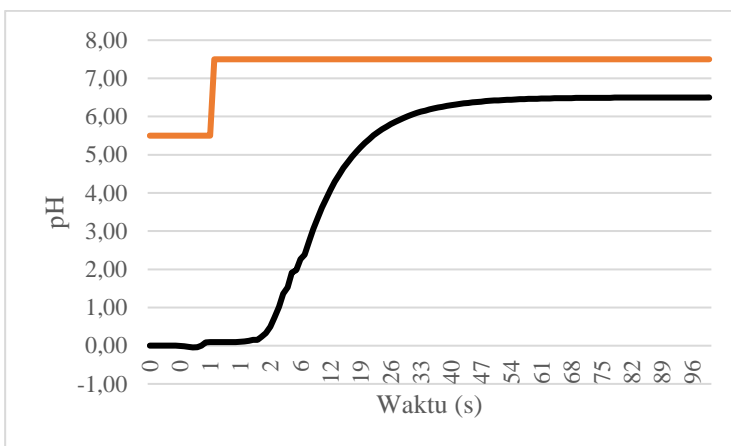
**Tabel 4.15** Perubahan *set point* F2 pada uji *close loop*

F1	F2	x1 pH	x2 EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
7,5	2000	6,502	2014

Pada tabel 4.15 diberikan nilai perubahan pada F2 untuk mengetahui pengaruh pada x1, diberikan nilai perubahan pada *input* F2 dengan nilai 2000 dan F1 tetap 7.5, dan didapatkan *output* nilai x2 2014  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dan x1 dengan nilai 6,502.



(a)



(b)

**Gambar 4.14** Grafik pengaruh perubahan *input* F2 terhadap *Output* x1 (a) sebelum, (b) sesudah



Dari grafik hasil pengaruh perubahan uji *set point input* F2 pada gambar 4.14 di atas, didapatkan perubahan *output* x1 sebagai berikut

**Tabel 4.16** Hasil perubahan *set point* F2 pada uji *close loop*

<i>Input</i> F2	Karakteristik Dinamik	Nilai
<i>Set point</i> 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Gambar a)	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	50 s
	<i>Error Steady State</i>	0,01 %
<i>Set point</i> 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Gambar b)	<i>Max Overshoot</i>	0 %
	<i>Settling time</i>	50 s
	<i>Error Steady State</i>	0.01 %

Dari hasil perubahan *set point* F2 yang dilakukan pada tabel 4.16 diatas didapatkan nilai maksimum *overshoot* tetap yaitu 0%, *settling time* pada 50 s, dan *error steady state* yang dihasilkan tetap 0,01%.

#### 4.4 Uji *Disturbance* Model Proses MIMO 2x2 pH dan EC

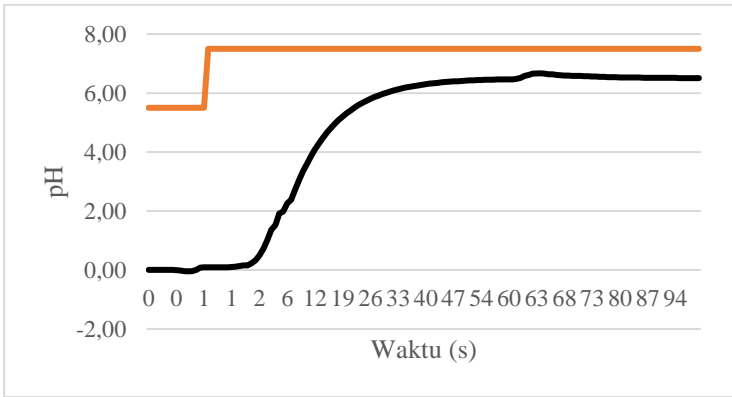
Setelah dilakukan uji *close loop* pada sistem MIMO 2x2, dilakukan uji *Disturbance* untuk melihat apakah kontroler yang diberikan dapat menahan *disturbance* yang diterima

**Tabel 4.17** *Set point / Disturbance* pada uji *Disturbance*

F1	F2	F1c2D1 pH	F2c1D2 EC	x1 pH	x2 EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
7.5	2200	7,5	2200	6,506	2181

Pada tabel 4.17 merupakan *set point* F1 dan F2 dan hasil x1 dan x2 uji *disturbance* yang diberikan pada diagram blok

pengendalian pH dan EC yang telah dibuat untuk mengetahui respon keluaran  $x_1$  dan  $x_2$  yang dihasilkan, *set point* F1 yang diberikan pada uji *disturbance* adalah derajat keasaman untuk tanaman dan F2 adalah konduktivitas larutan untuk tanaman, untuk *input disturbance* pH diberikan nilai 7,5 dan *input disturbance* EC 2200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dari *set point* F1 dan F2 yang diberikan didapatkan hasil  $x_1$  dengan nilai 6,506 dan  $x_2$  dengan nilai 2178  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Gambar 4.15** Grafik pH hasil uji *Disturbance*

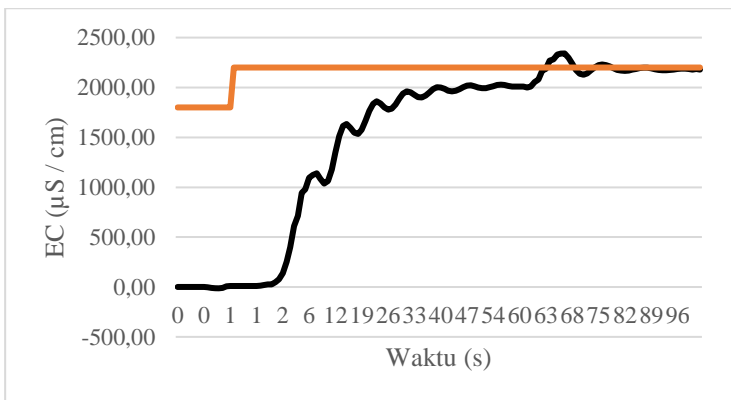
Pada gambar 4.15 menunjukkan bahwa sistem *close loop* pengendalian pH dengan 2x2 MIMO dapat tetap stabil meskipun diberi gangguan pada sistem dengan nilai gangguan 7,5 untuk pH. Dari gambar 4.13 dapat diketahui karakteristik respon sistem akibat *disturbance* dan didapatkan hasil uji sebagai berikut:

**Tabel 4.18** Hasil uji *Disturbance* pada pH

<i>Controller</i>	PID
<i>Max Overshoot</i>	0.112 %
<i>Settling Time</i>	70 s
<i>Error Steady State</i>	0,004 %

<i>Controller</i>	PID
<i>Integral Absolute Error</i>	4480

Dari tabel 4.18 dapat dilihat bahwa kontrol PID dapat menahan *disturbance* yang diberikan untuk pH, karena *maximum overshoot* yang dihasilkan < 3%, pada *settling time* didapatkan waktu 84,05 s, *error* yang dihasilkan oleh uji *disturbance* 0 dan didapatkan nilai *integral absolute error* 4480



**Gambar 4.16** Grafik EC hasil uji *Disturbance*

Selanjutnya pada gambar 4.16 menunjukkan bahwa sistem *close loop* pengendalian pH dengan 2x2 MIMO mengalami ketidakstabilan setelah diberikan gangguan pada sistem dengan nilai 2200 µS / cm meskipun nilai *output* yang dihasilkan masih memenuhi kriteria yang dibutuhkan. Dari grafik respon *disturbance* EC 4.16 diatas didapatkan hasil uji *disturbance* EC sebagai berikut

**Tabel 4.19** Hasil uji *Disturbance* pada EC

<i>Controller</i>	PID
<i>Max Overshoot</i>	0.064 %
<i>Settling Time</i>	120 s

<i>Controller</i>	PID
<i>Error Steady State</i>	0,086 %
<i>Integral Absolute Error</i>	8785

Dari tabel 4.19 dapat dilihat bahwa kontrol PID dapat menahan *disturbance* yang diberikan untuk EC, karena *maksimum overshoot* yang dihasilkan  $< 5\%$ , pada *settling time* yang didapatkan 120 s, *error steady state* yang dihasilkan oleh uji *disturbance* EC adalah 0,01% dan didapatkan nilai *integral absolute error* 8785.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan perancangan sistem pengendalian PID derajat keasaman dan nutrisi pada sistem hidroponik menggunakan 2x2 MIMO *control* didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Dari penelitian tugas akhir ini didapatkan hasil identifikasi perancangan sistem pengendalian PID derajat keasaman dan nutrisi pada hidroponik menggunakan MIMO *control*, pada *plant* pH didapatkan nilai dengan parameter  $P = 1$ ,  $I = 0,5$ ,  $D = 0$  dan untuk kontrol PID EC dengan parameter  $P = 0,0001$ ,  $I = 0,000001$ ,  $D = 0$  mempunyai respon sistem yang stabil, meskipun telah diberi gangguan pada sistem dengan nilai 7,5 dan 2200.
2. Penggunaan pengendali PID dengan 2x2 MIMO *control* dinilai cukup baik. Pada uji *open loop* didapatkan nilai pH 9,047 dan EC 2477  $\mu\text{S/cm}$ , setelah diberikan pengendali pada uji *close loop* didapatkan nilai pH 6,5 dan EC 2026  $\mu\text{S/cm}$ , dan pada uji *disturbance* didapatkan nilai pH 6,506 dan EC 2178  $\mu\text{S/cm}$ ,

### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian tugas akhir ini adalah penggunaan alat ukur yang memiliki kemampuan *data logger* agar data yang didapatkan lebih akurat

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Daftar Pustaka

- [1] K. Pertanian, “Statistik ketenagakerjaan sektor pertanian,” *Sekretariat Jenderal Kementerian pertanian*, 2017.
- [2] c. indonesia, “cnn indonesia,” *cnn indonesia*, 25 10 2018. [Online]. Available: <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20181025153705-92-341433/bps-sebut-luas-lahan-pertanian-kian-menurun>. [Diakses 7 1 2020].
- [3] S. W. d. A. A. S, “Aplikasi Hidroponik NFT pada budidaya Pakcoy (*Brassica rapa chinensis*),” *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, vol. 13, 2013.
- [4] A. V. Rawi, PENGARUH SUMBER NUTRISI DAN MACAM MEDIA ORGANIK DALAM BUDIDAYA SELADA (*Lactuca Sativa L.*) SECARA HIDROPONIK SISTEM NFT (Nutrient Film Technique), YOGYAKARTA, 2017.
- [5] G. J. H. a. R. C. Hochmuth, “Keys to Successful Tomato and Cucumber Production in Perlite Media,” *University of Florida IFAS Extension*, 2003.
- [6] N. SHARMA, “Hydroponics as an advanced technique for vegetable,” *Soil and Water Conservation*, 2018.
- [7] O. N. Butler JD, Hydroponics as a Hobby growing plants without soil, 2006.
- [8] F. D. Atmaja, Analisis Keseimbangan Panas Pada Bak Penanaman Dalam Sistem Hidroponik Deep Flow Technique (DFT), Bogor: Bogor Agritural University, 2019.
- [9] petaniindo, 2009. [Online]. Available: <https://petaniindo.com/hidroponik-dengan-sistem-deep-flow-technique-dft/>. [Diakses Desember 2019].
- [10] S. I. Zulfian Azmi, “SISTEM PENGHITUNG PH AIR PADA TAMBAK IKAN BERBASIS MIKROKONTROLLER,” *Saintikom*, vol. 15, 2016.

- [11] X. Ding, "Electrical conductivity of nutrient solution Influenced Phothosynthesis, Quality, and Antioxidant Enzyme Activity of Pakchoi (*Brassica Campestris* L. ssp. *chinensis*) in a Hidrophonic System," *Shanghai Dushi Green Engineering Co., Ltd. Shanghai Key Lab of Protected Horticultural Technology*, p. 2, 2018.
- [12] M. Tellez, "Nutrient solution for hydroponic system," *Intechopen Mexico*, 2012.
- [13] Sanyoto dan Akhmadi, Mengenal, Membuat, & Menggunakan Larutan Nutrisi. Jago Bertanam Hidroponik Untuk Pemula, Jakarta: PT Agro Media Pustaka, 2016.
- [14] G. W. Putra, Perancangan Sistem Pengendalian Konduktivitas Larutan Berbasis Sensor pH pada CSTR, Surabaya: ITS Press, 2019.
- [15] K. Ogata, Modern Control Fifth Edition, New Jersey: Prentice Hall, 2010.
- [16] H. C. S. M. Hafyz Iqbal, "PERANCANGAN MIMO KONTROL (LEVEL DAN PRESSURE) UNIT DEAERATOR MENGGUNAKAN METODE DECOUPLER," *POMITS*, 2010.
- [17] G. Stephanopoulos, Chemical Process Control An Introduction to Theory and Practice, America, 1984.
- [18] A. L. R. I. d. Kontrol, Simulasi Sistem Pengendalian Flow Dengan LabVIEW 2015, Surabaya: LARINS, 2019.
- [19] K. Ogata, "System Dynamics," dalam *System Dynamics (4th Edition)*, Prentice Hall, 2004.



**LAMPIRAN A**  
**DATA pH, EC dan DISTURBANCE *PLANT***  
**HIDROPONIK**

**A.1 Data pH Pada Plant Hidroponik**

Waktu (s)	AB mix pH
1	7,12
2	7,14
3	7,15
4	7,23
5	7,25
6	7,32
7	8,05
8	8,56
9	8,55
10	8,68
11	8,66
12	8,69
13	8,69
14	8,69
15	8,69
16	8,69
17	8,69
18	8,69
19	8,69
20	8,69
21	8,69
22	8,69

Waktu (s)	AB mix pH
23	8,68
24	8,68
25	8,67
26	8,66
27	8,63
28	8,61
29	8,6
30	8,6
31	8,6
32	8,58
33	8,53
34	8,5
35	8,47
36	8,45
37	8,42
38	8,4
39	8,36
40	8,35
41	8,33
42	8,3
43	8,28

## A.2 Data EC Pada Plant Hidroponik

Waktu (s)	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
1	2
2	24

Waktu (s)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )
3	23
4	19
5	23
6	14
7	9
8	6
9	5
10	15
11	10
12	24
13	814
14	2020
15	1816
16	1820
17	1850
18	2050
19	2040
20	2030
21	2060
22	2050
23	2050
24	2100
25	1935
26	1567
27	1542
28	1535
29	1923
30	1660

Waktu (s)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )
31	1979
32	1535
33	2016
34	2050
35	1765
36	1690
37	1765
38	1546
39	1843
40	2040
41	1980
42	1910
43	1925

### A.3 Data pH *Disturbance*

Hari	Jam	pH <i>Disturbance</i>
1	9	6
	11	6.45
	13	5.8
	15	5.7
	17	5.5
	19	5.5
	21	6.15
	23	6.22
2	9	6.31
	11	6.27

Hari	Jam	pH <i>Disturbance</i>
	13	6.45
	15	6.35
	17	6.4
	19	6.4
	21	6.44
	23	6.49
3	9	6.23
	11	6.41
	13	6.41
	15	6.19
	17	6.32
	19	6.34
	21	6.34
	23	6.38
4	9	6.36
	11	6.46
	13	6.45
	15	6.49
	17	6.38
	19	6.42
	21	6.45
	23	6.48
5	9	6.46
	11	6.44
	13	6.54
	15	6.5
	17	6.23
	19	6.3

Hari	Jam	pH <i>Disturbance</i>
	21	6.29
	23	6.29
6	9	6.11
	11	6.3
	13	6.42
	15	6.37
	17	6.42
	19	6.42
	21	6.38
	23	6.42
7	9	6.49
	11	6.34
	13	6.05
	15	6.23
	17	6.29
	19	6.28
	21	6.38
	23	6.39
8	9	6.41
	11	6.47
	13	6.42
	15	6.29
	17	6.24
	19	6.22
	21	6.34
	23	6.33
9	9	6.22
	11	6.31

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

#### A.4 Data EC *Disturbance*

Hari	Jam	EC <i>Disturbance</i>
1	9	1920
	11	1938
	13	1991
	15	2010
	17	1897
	19	1895
	21	1900
	23	1908
2	9	1997
	11	2070
	13	1977
	15	1974
	17	2020
	19	1963
	21	1969
	23	1971
3	9	1819
	11	1919

Hari	Jam	EC <i>Disturbance</i>
	13	1930
	15	1772
	17	1831
	19	1835
	21	1829
	23	1838
4	9	1931
	11	1687
	13	1725
	15	1690
	17	1740
	19	1605
	21	1619
	23	1620
5	9	1875
	11	1868
	13	1857
	15	1867
	17	1814
	19	1923
	21	1885
	23	1987
6	9	1922
	11	1994
	13	2010
	15	1936
	17	2060
	19	2060



Hari	Jam	EC <i>Disturbance</i>
	21	1959
	23	2020
7	9	2140
	11	1851
	13	2010
	15	1987
	17	1846
	19	1958
	21	1983
	23	2066
8	9	1922
	11	1994
	13	2010
	15	1936
	17	2060
	19	2060
	21	1959
	23	2020
9	9	1997
	11	2070
	13	1977
	15	1974
	17	2020
	19	1963
	21	1969
	23	1971

**A.5 Data Perubahan Input pH terhadap Output EC**

Waktu (s)	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
1	2020
2	2040
3	2960
4	3470
5	4440
6	4970
7	5410
8	6250
9	7690
10	8360
11	8410
12	8410
13	8560
14	8550
15	8460
16	8550
17	8460
18	8550

**A.6 Data Perubahan Input EC terhadap Output pH**

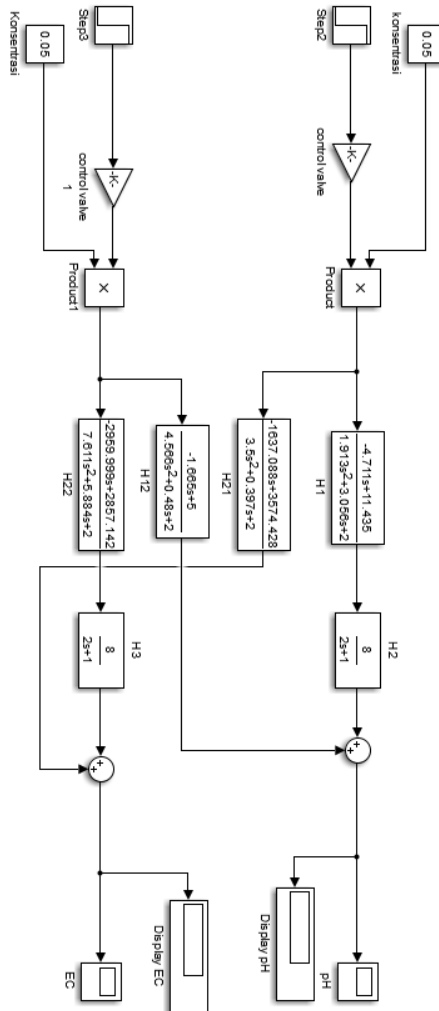
Waktu (s)	pH
1	6,9
2	6,8
3	6,9

Waktu (s)	pH
4	4,7
5	4,7
6	4,7
7	4,8
8	4,5
9	5
10	5
11	5
12	5
13	5,1
14	5,2
15	5,2
16	5,2
17	5,3
18	5,3

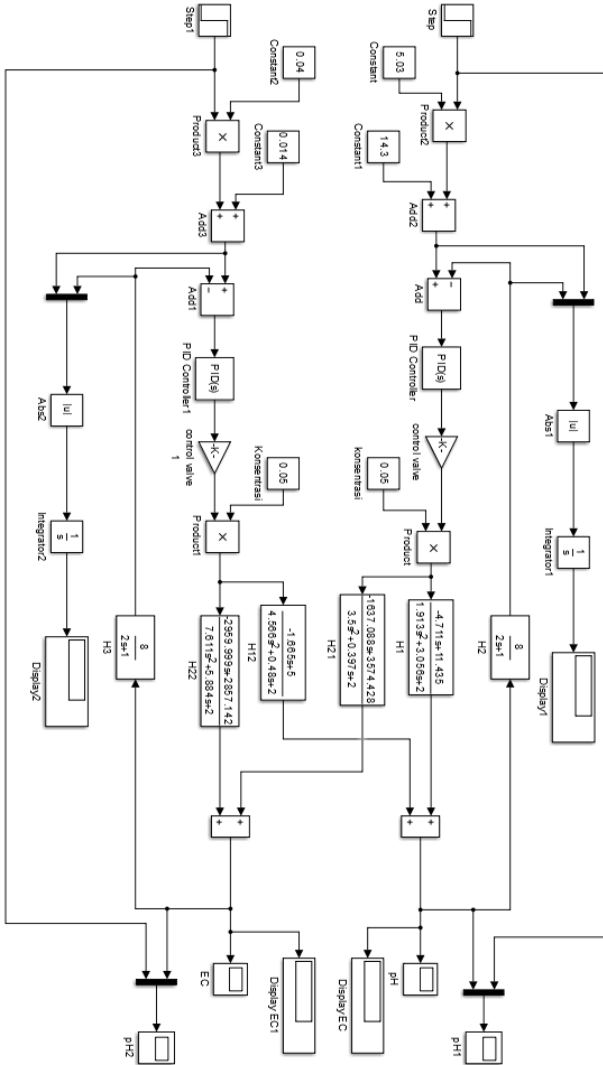
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN B SIMULASI SIMULINK MATLAB 2014a

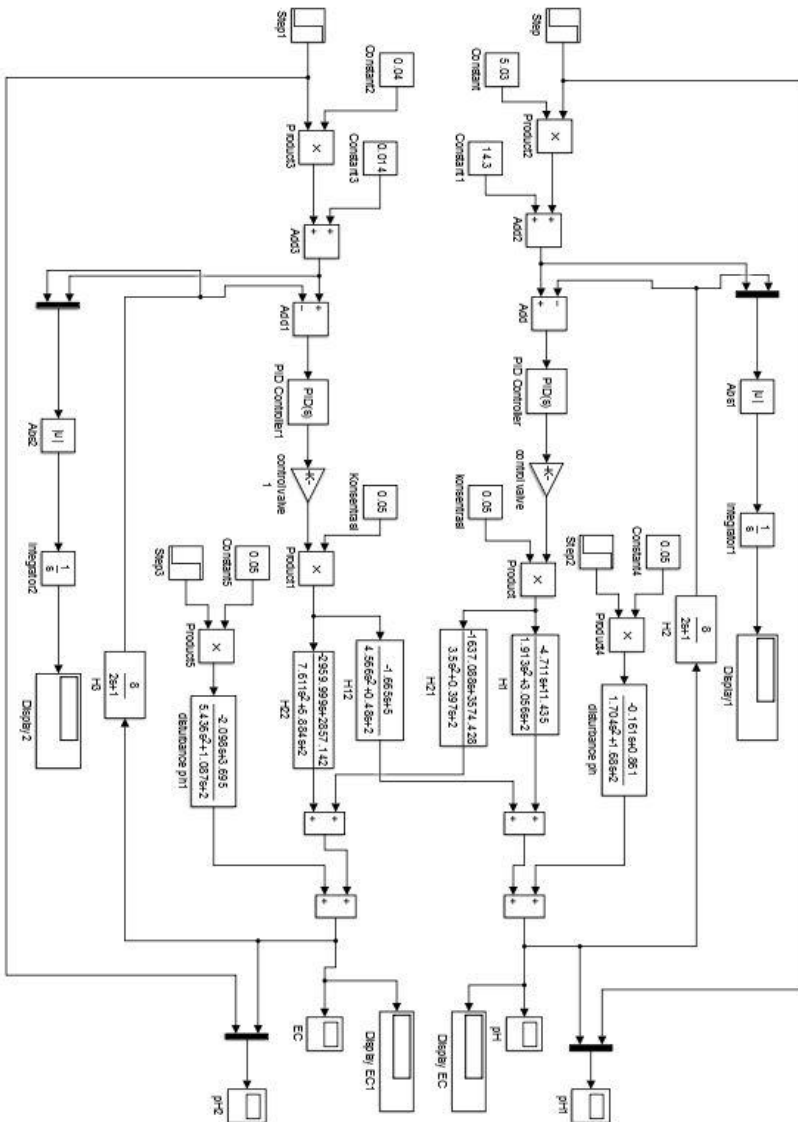
### B.1 Simulasi Simulink Open Loop



## B.2 Simulasi Simulink Close Loop



### B.3 Simulasi Simulink Disturbance



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Arman Amardi Putra dilahirkan di Sidoarjo, 26 September 1996. Penulis merupakan pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Pabean 1 pada tahun 2008, SMPN 2 Sedati pada tahun 2011, SMAN 1 Waru pada tahun 2014, dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTIRS di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang, melalui jalur Kemitraan 2014. Penulis memiliki pengalaman program *intership* satu bulan di PT Semen Gresik unit *rotary packing* Tuban 1,3, dan 4.

Pada bulan Desember 2019 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN DERAJAT KEASAMAN (*pH*) DAN INDIKATOR NUTRISI PADA SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN 2X2 MIMO CONTROL**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi melalui *email*: [armanamardi@gmail.com](mailto:armanamardi@gmail.com).