TUGAS AKHIR - TF 181801

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH DAN *ELECTRIC CONDUCTIVITY* (EC) PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT) DENGAN METODE PID *DIRECT SYNTHESIS TUNING*

FAIRUZ MEIDIANA IRBAH HARAHAP
NRP. 02311640000125

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

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

TUGAS AKHIR - TF 181801

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH DAN *ELECTRIC CONDUCTIVITY* (EC) PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT) DENGAN METODE PID *DIRECT SYNTHESIS TUNING*

FAIRUZ MEIDIANA IRBAH HARAHAP
NRP. 02311640000125

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 ELECTRIC CONDUCTIVITY (EC) IN NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) *HYDROPONIC SYSTEM USING DIRECT SYNTHESIS TUNING*

FAIRUZ MEIDIANA IRBAH HARAHAP
NRP. 02311640000125

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	: Fairuz Meidiana Irbah Harahap
NRP	: 02311640000125
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 "**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH DAN *ELECTRIC CONDUCTIVITY* (EC) PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM* TECHNIQUE (NFT) DENGAN METODE PID *DIRECT SYNTHESIS TUNING***" 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, 3 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

METERAI TEMPEL

3B45CAHF538600

6000

ENAM RIBU RUPIAH

Fairuz Meidiana Irbah Harahap

NRP. 02311640000125

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH DAN *ELECTRIC CONDUCTIVITY* (EC) PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT) DENGAN METODE PID *DIRECT SYNTHESIS TUNING*

Oleh:

Fairuz Meidiana Irbah Harahap

NRP. 02311640000125

Surabaya, 3 Agustus 2020

Menyetujui,

Pembimbing I

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

NIP. 19690530 199412 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FT-IRS ITS

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

NIP. 19711113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH DAN *ELECTRIC CONDUCTIVITY* (EC) PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT) DENGAN METODE PID *DIRECT SYNTHESIS TUNING*

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

FAIRUZ MEIDIANA IRBAH HARAHAP

NRP. 02311640000125

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Hendra Cordova, S.T., M.T. . ……. (Pembimbing I)
2. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. . ……. (Ketua Penguji)
3. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc. . …….. (Penguji I)
4. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA . …….. (Penguji II)
5. Irwansyah, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D. . …….. (Penguji III)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH DAN *ELECTRIC CONDUCTIVITY* (EC) PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT) DENGAN METODE PID *DIRECT SYNTHESIS TUNING*

Nama	**:**	**Fairuz Meidiana Irbah Harahap**
NRP	**:**	**02311640000125**
Departemen	**:**	**Teknik Fisika FT-IRS ITS**
Dosen Pembimbing	**:**	**Hendra Cordova, S.T., M.T.**

ABSTRAK

Perawatan tanaman merupakan kegiatan penting untuk menjaga tanaman agar tetap sehat dan terawat, hidroponik merupakan metode menanam tanaman tanpa tanah. Sistem ini sangat mementingkan perawatan khusus dalam mengendalikan derajat keasaman (pH) dan *electric conductivity* (EC). Hal tersebut disebabkan karena kadar pH dan EC sebuah sistem hidroponik akan mempengaruhi tanaman dalam proses penyerapan nutrisi. Untuk mengatasi itu semua, dibutuhkan sebuah pengendali dari kedua variabel tersebut agar nilai keduanya tetap pada rentang yang ideal untuk tanaman. Namun karena keduanya saling berkaitan maka dibuatlah pengendali menggunakan sistem kontrol MIMO. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan pengendali PID dengan parameter untuk pH adalah P:0.5, I:0.1, D:2.5 dan untuk parameter PID EC adalah P:0.6, I:0.1, D:2.5. Pada proses *open loop* sebelum diberikan pengendali apapun, didapatkan nilai pH sebesar 7.33 dan EC 3100 µS/cm, kemudian dilakukan uji *close loop* yang telah diberikan pengendali PID, didapatkan nilai pH sebesar 7 dan EC sebesar 1500 µS/cm. Hal ini menunjukan bahwa pengendali mampu mengendalikan respon sistem agar tetap pada *setpoint* yang telah ditentukan.

Kata Kunci: Kontrol MIMO, Pengendalian PID, Sistem Hidroponik

Halaman ini sengaja dikosongkan

CONTROL SYSTEM DESIGN PID OF ACID DEGREE (pH) AND ELECTRIC CONDUCTIVITY (EC) IN NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) HYDROPONIC SYSTEM USING DIRECT SYNTHESIS TUNING

Name	**:**	**Fairuz Meidiana Irbah Harahap**
NRP	**:**	**02311640000125**
Department	**:**	**Engineering Physics FT-IRS ITS**
Supervisors	**:**	**Hendra Cordova, S.T., M.T.**

ABSTRACT

Caring for plants is an important activity to keep plants healthy and well maintained, hydroponics is a method of growing plants without soil. This system attaches great importance to special care in controlling the degree of acidity (pH) and electric conductivity (EC). That is because the pH and EC levels of a hydroponic system will affect plants in the process of nutrient absorption. To overcome all of that, we need a controller of the two variables so that the values of both remain in the ideal range for plants. However, because the two are interrelated, a controller is made using the MIMO control system. From the results of research that has been done, it is found that the PID controller with parameters for pH is P:0.5, I:0.1, D:2.5 and for PID EC parameters are P:0.6, I:0.1, D:2.5. In the open loop process before any controller is given, a pH value of 7.233 and EC 2824 µS / cm is obtained, then a close loop test that has been given a PID controller. a pH value of 7 and an EC of 1500 µS / cm. This shows that the controller is able to control the response of the system to remain at a predetermined setpoint.

Keywords: Hydroponics, MIMO control, PID controller

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

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

"PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH DAN *ELECTRIC CONDUCTIVITY* (EC) PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT) DENGAN METODE PID *DIRECT SYNTHESIS TUNING*".

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

1. 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. Hendra Cordova, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. 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. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.. sebagai dosen wali penulis yang telah memberikan nasihat dan arahan kepada penulis.
5. 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, 3 Agustus 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

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 Sistem Hidroponik 5
2.2 *Electrical Conductivity* (EC)..... 6
2.3 Derajat Keasaman (pH)..... 7
2.4 Sistem Multivariabel..... 7
2.5 *First Order System Plus Dead Time* (FOPDT) 9
2.6 *Direct Synthesis Tuning* PID 10

2.7 *Skogestad's Half rule* 10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 11
3.1 Studi Literatur 12
3.2 Pemodelan Matematis Sistem MIMO Pengendali pH dan EC 13
3.2.1 Pemodelan Matematis *Plant* dan Hidroponik 13
3.2.2 Pemodelan *Control Valve* dan *Transmitter* 15
3.2.3 Pemodelan *Decoupler* 17
3.3 Proses *Open Loop* 17
3.4 Tuning dengan Metode *Direct Synthesis Tuning* 18
3.5 Proses Close Loop 20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 23
4.1 Uji *Open Loop* Sistem MIMO pH dan EC 23
4.2 Uji *Close Loop* Sistem MIMO pH dan EC 25
4.2.1 Uji *Close Loop* dengan *Set Point* pH 7 dan EC 1500 µS/cm 26
4.2.2 Uji *Close Loop* dengan *Set Point* pH 5.5 dan EC 2000 µS/cm 27
4.2.3 Uji *Close Loop* dengan Perubahan Keluaran Hidroponik 29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 31
5.1 Kesimpulan 31
5.2 Saran 31
DAFTAR PUSTAKA 33
LAMPIRAN 35
BIODATA PENULIS 43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem hidroponik NFT 5
Gambar 2. 2 Sistem multivariabel 8
Gambar 2. 3 Diagram blok *close loop* multivariabel sistem 8
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian 11
Gambar 3. 2 Desain *plant* hidrponik 12
Gambar 3. 3 Diagram blok uji *open loop* 18
Gambar 3. 4 Pemodelan *plant* 18
Gambar 3. 5 Penyederhanaan pemodelan *plant* 19
Gambar 3. 6 Diagram blok uji *close loop* 21
Gambar 4. 1 Hasil uji *open loop* 23
Gambar 4. 2 Hasil uji *open loop EC* 23
Gambar 4. 3 Respon uji *open loop* pH dengan *set point* EC 15mA 24
Gambar 4. 4 Respon uji *open loop* EC dengan *setpoint* 15mA 25
Gambar 4. 5 Hasil uji *close loop* pH dengan *set point* 7 26
Gambar 4. 6 Hasil uji *close loop* EC dengan *set point* 1500 µS/cm 26
Gambar 4. 7 Hasil uji *close loop* pH dengan *set point* 5.5 27
Gambar 4. 8 Hasil uji *close loop* EC dengan *set point* 2000 µS/cm 28
Gambar 4. 9 Hasil uji *close loop* pH dengan perubahan keluaran hidroponik 29
Gambar 4. 10 Hasil uji *close loop* EC dengan perubahan keluaran hidroponik 30

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Tuning PID Eksperimen untuk pH 20
Tabel 3. 2 Parameter Tuning PID Eksperimen untuk EC 20
Tabel 4. 1 Karakteristik Respon *Set Point* pH 7 dan EC 1500 µS/cm 27
Tabel 4. 2 Karakteristik Respon *Set Point* pH 5.5 dan EC 2000 µS/cm 28
Tabel 4. 3 Karakteristik Respon Perubahan Keluaran Hidroponik 30

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perawatan tanaman merupakan kegiatan penting untuk menjaga tanaman agar tetap sehat dan terawat. Pada umumnya tanah merupakan media tanam yang paling sering digunakan karena tanah dapat membantu tanaman dalam menyediakan nutrisi, namun kenyataannya beberapa tempat seperti daerah metropolitan saat ini tanah tidak banyak tersedia untuk penanaman tanaman (Kharche, 2019). Dalam keadaan seperti itu, budaya penanaman tanpa tanah atau yang dikenal dengan teknik hidroponik dapat diperkenalkan dengan sukses. Hidroponik ini sendiri merupakan metode menanam tanaman tanpa tanah dengan menggunakan air dan larutan nutrisi (Putra dkk., 2018). Berdasarkan dari cara penanaman tanamannya, hidroponik ini terbagi menjadi beberapa jenis salah satunya yaitu *nutrient film technique* (NFT), konsep dasar sistem ini adalah metode budidaya tanaman dengan akar tanaman tumbuh pada genangan larutan nutrisi yang tersirkulasi serta dangkal (Maucieri dkk., 2018).

Dalam perawatannya, hidroponik sangat mementingkan perawatan khusus dalam mengendalikan derajat keasaman (pH) dan *electric conductivity* (EC) (Singh & Dunn Bruce, 2016). Hal ini disebabkan karena kadar pH dan EC sebuah sistem hidroponik akan mempengaruhi tanaman dalam proses penyerapan nutrisi. Ketika kandungan pH pada larutan nutrisi terlalu asam ataupun terlalu basa diperlukan penambahan cairan untuk penambah atau pengurang pH, karena nilai pH yang baik adalah nilai pH yang cenderung asam, hal tersebut menyebabkan akar tanaman akan lebih mudah menyerap nutrisi. Sedangkan unuk nilai EC yang mana dipengaruhi oleh kandungan garam pada larutan nutrisi pun perlu dikendalikan karena nilai tersebut akan sangat berpengaruh pada kemampuan akar dalam menyerap nutrisi, karena ketika nilai EC terlalu tinggi hal tersebut akan membuat tanaman keracunan dan mati, sebaliknya ketika nilainya terlalu rendah hal tersebuut juga akan merusak tanaman (Subandi dkk., 2015).

Seperti yang diketahui, pengendalian dalam sistem hidroponik sangatlah penting, namun selama ini masih banyak penggiat tanaman hidroponik melakukan pengendalian secara manual yang mana hal tersebut tidak efisien dan efektif baik dalam hal waktu maupun tenaga. Pada era sekarang ini banyak pengembangan sistem pengendali hidroponik dari manual menjadi otomatis untuk mengatur penjagaan nilai pH dan EC agar tetap pada rentang nilai yang sesuai dengan karakteristik tanaman (Ghatage dkk., 2019). Adapun penelitian terakhir yang dilakukanlah yaitu pengembangan sistem hidroponik menggunakan sistem pengendali PID untuk menjaga nilai pH dan EC namun sistem pengendali PID ini masih punya beberapa kekurangan diantaranya seperti masih kurang baiknya respon dari uji *open loop* yang disebabkan karena sulitnya menentukan parameter kontrol. Maka dari itu pada penelitian kali ini diusulkan simulasi perancangan pengendalian pH dan EC dengan metode *direct synthesis tuning* (DST) dan juga di gabungkan dengan metode *decoupler* yang mana diharapkan akan mendapatkan hasil yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka didapatkan rumusan masalah pada tugas akhir yang akan diselesaikan adalah bagaimana hasil dari perancangan sistem pengendalian pH dan EC pada metode tanam hidroponik dengan menggunakan metode PID *direct synthesis tuning* (DST)?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah tersebut didapatkan tujuan tugas akhir yang akan dilakukan, yaitu memperoleh hasil dari perancangan sistem pengendalian pH dan EC pada metode tanam hidroponik dengan menggunkana metode PID *direct synthesis tunning* (DST)

1.4 Lingkup Kajian

Lingkup kajian pada pengusulan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a) Sistem hidroponik yang digunakan adalah *nutrient film technique*
b) Simulasi menggunakan *software* bantu MATLAB

c) Variabel yang dikontrol adalah pH dan EC
d) Sensor yang digunakan adalah sensor pH dan EC
e) Tanaman yang di kendalikan adalah pak choi

1.5 Sistematika Laporan

Adapun sistematika penulisan laporan tugas akhir ini tersusun atas lima bab dengan rincian sebagai berikut:

a) BAB I Pendahuluan

Bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, lingkup kajian dan sistematika penulisan laporan pada tugas akhir ini.

b) BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab II ini membahas teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu meliputi sistem hidroponik, *electrical conductivity* (EC), derajat keasaman, sistem multivariable, *first order plus dead time, direct synthesis tuning, Skogestad's half rule*.

c) BAB III Metodologi Penelitian

Bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, dan rincian dari langkah-langkah yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

d) BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV ini berisi tentang data hasil penelitian dan juga pembahasan serta analisa penelitian.

e) BAB V Kesimpulan dan Saran

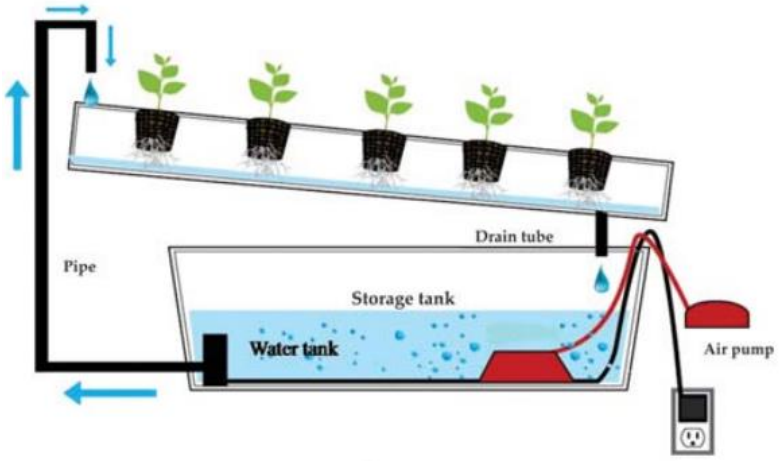
Bab V ini terdiri dari kesimpulan tentang tugas akhir ini dan saran sebagai penunjang tugas akhir selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Sistem Hidroponik

Hidroponik merupakan istilah untuk teknik bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai media untuk tumbuh dan berkembang. Seperti yang banyak diketahui tanaman biasanya tumbuh dengan media tanah sebagai sumber nutrisi selain itu adapula beberapa media seperti kerikil, pasir dan lainnya yang juga dapat digunakan sebagai media tanaman untuk tumbuh. Namun berberda dengan hidroponik yang mana media tanamnya yaitu genangan air yang mengandung nutrisi. Untuk memperoleh zat makanan atau unsur zat hara, diperlukan pencampuran pupuk organik dan air. Pupuk organik ini dapat diperoleh dari hasil percampuran garam garam mineral dengan formulasi yang telah ditentukan atau jika ingin lebih praktis maka dapat pula digunakan pupuk buatan yang sudah siap pakai. Teknik ini memiliki banyak kelebihan diantaranya, tanaman akan berkembang secara cepat karena pasokan nutrisi dan air akan secara berkala di atur agar tepat sesuai dengan kebutuhan, tanaman dapat tumbuh tidak kotor, hasil produksi lebih kontinu, penggunaan pupuk dan air lebih hemat dan yang terakhir adalah perawatan lebih praktis (Sayara dkk., 2016). Terdapat beberapa jenis sistem hidroponik yang berbeda, contohnya adalah *deep flow techique, aeroponics,* sistem drip, dan *system nutrient film technique* (Sharma dkk., 2018).



Gambar 2. 1 Sistem hidroponik NFT

Pada gambar 2.1 diatas merupakan gambar hidroponik *nutrient film technique* (NFT) yang mana sistem ini yang akan digunakan pada penelitian. Hidroponik dengan menggunakan sistem NFT adalah penanaman tanaman dimana akar akan dialiri dengan larutan nutrisi yang tersikulasi. Sistem hidroponik NFT memerlukan pasokan listrik untuk mensirkulasikan air ke dalam talang-talang tersebut dengan menggunakan pompa. Sistem ini memiliki kelebihan salah satunya adalah akar tanaman akan menyerap lebih banyak oksigen dari udara dibandingkan yang diserap dari larutan nutrisi. Hal ini disebabkan karena hanya ujung akar saja yang bersentuhan dengan larutan nutrisi sehingga tumbuhan mendapatkan lebih banyak oksigen dan hal ini menyebabkan tumbuhan lebih cepat tumbuh dan berkembang

2.2 *Electrical Conductivity* (EC)

Electrical conductivity (EC) dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu larutan menghantarkan listrik. Larutan yang dapat menghantarkan listrik disebut larutan *electrolyte*. Pada dasarnya air murni memiliki kemampuan untuk menghantarkan listrik meskipun kemampuan tersebut sangat rendah, namun kemampuan ini dapat ditambahkan dengan cara menambahkan partikel yang bermuatan ke dalamnya, ketika dua elektroda dimasukkan dalam larutan, ion-ion akan dapat menghantarkan arus di antara mereka secara singkat (Golnabi, 2009).

Nutrisi yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh memiliki kemampuan yang sama. Konsentrasi nutrisi pada suatu tanaman dapat diketahui dengan cara mengukur konduktivitas semua nutrisi secara bersamaan. EC merupakan kebalikan dari *resistivity*. Satuan dari EC adalah mS/cm atau µs/cm. Dalam larutan *electrolyte* terdapat ion positif, yang mempunyai muatan listrik positif dan ion negatif, yang mempunyai muatan listrik negatif. Apabila dalam larutan tersebut dimasukkan dua elektrode yang diletakkan saling berlawanan dan kemudian diberi tegangan, maka ion-ion dalam larutan tersebut akan bergerak menuju elektrode yang bermuatan kebalikann dari muatan ion tersebut. Maka dari itu penting untuk mengatur nilai EC dalam hidroponik untuk mengetahui kandungan nutrisi yang akan di aliri ke tanaman.

2.3 Derajat Keasaman (pH)

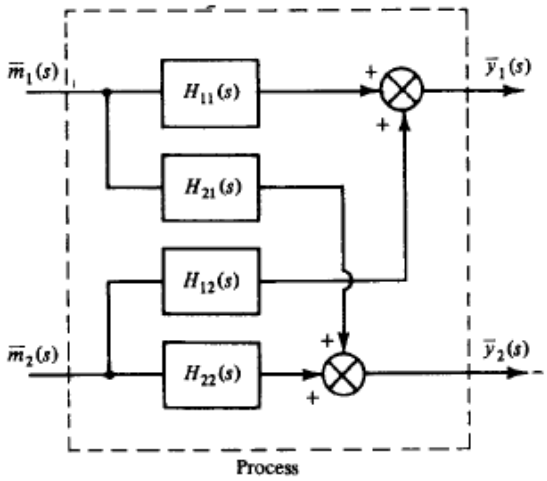
pH atau yang disebut juga dengan derajat keasaman digunakan untuk menunjukan tingkat keasaman atau kebasaan yang terkandung pada suatu larutan. Teori pH pertama kali dikemukakan untuk menyatakan konsentrasi ion H+. Konsep pH digunakan untuk menghindari kerumitan menuliskan angka dengan faktor 10 berpangkat negatif. Nilai pH berkisar dari 0 hingga 14. Sehingga pH didefinisikan sebagai berikut:

$$pH = -\log[H^+] = log\frac{1}{[H^+]} \tag{2.1}$$

Suatu larutan dikatakan netral apabila memiliki nilai pH=7. Nilai pH>7 menunjukkan larutan memiliki sifat basa, sedangkan nilai pH<7 menunjukan keasaman (Karastogianni dkk., 2015). Pada tanaman hidroponik, rentang nilai pH yang optimal adalah dalam rentang asam sekitar berinilai 5-7, hal ini disebabkan karena semua nutrisi dapat larut sempurna dalam air yang mana menyebabkan tanaman dapat menyerap semua unsur hara yang ada secara maksimal baik makro maupun mikro.

2.4 Sistem Multivariabel

Terkadang berubahan suatu *input* pada sistem tidak hanya mempengaruhi proses satu *output* melainkan hal tesrbut dapat berpengaruh pada *output* lainnya. Ini sering terjadi pada industri yang mana terdapat interaksi antara variabel *input* dan *output*. Penggambaran sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.2 (Iqbal & Cordova, n.d.)



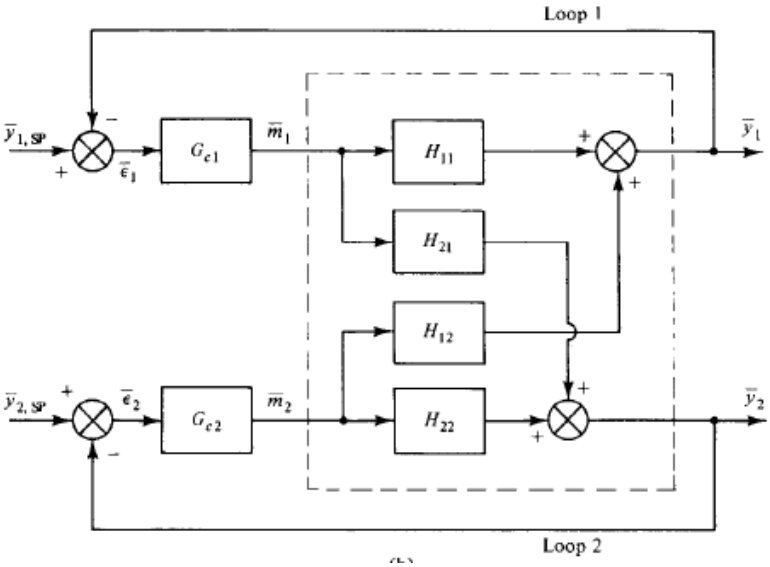
Gambar 2. 2 Sistem multivariabel

Penulisan model untuk gambar 2.2 (Stephanopoulos, 1983) diatas adalah :

Loop 1 : $Y_1 = H_{11} . M_1 + H_{12} . M_2$ (2.2)

Loop 2 : $Y_2 = H_{21} . M_1 + H_{22} . M_2$ (2.3)

Selanjutnya dari *loop* pengendali diatas dapat diketahui reaksi antara kedua *loop* tersebut seperti pada gambar 2.3 (Stephanopoulos, 1983) berikut:



Gambar 2. 3 Diagram blok *close loop* multivariabel sistem

2.5 *First Order System Plus Dead Time* (FOPDT)

First order plus death time (FOPDT) merupakan salah satu bentuk pemodelan fungsi transfer pada suatu sistem dinamik dari proses industri. FOPDT ini sendiri didapatkan dengan cara melakukan uji *open loop* yang mana uji *open loop* ini merupakan langkah yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik respon awal pada saat belum diberikan pengendali apapun pada sistem tersebut. Masukan yang diberikan ketika dilakukan uji *open loop* berupa sinyal *step* pada *input*. Setelah masukan berupa sinyal *step* dimasukan, *output* akan berubah menjadi bentuk menjadi grafik S (S-*Curve*) yang mana merupakan grafik respon orde satu (Katsuhiko Ogata, 2017), maka akan didapatkan fungsi transfer pada persamaan (2.4) sebagai berikut (Bakerey dkk., 2016) :

$$G(s)=\frac{\mathrm{K}e^{\theta s}}{\tau \mathrm{s}+1} \tag{2.4}$$

Yang mana K merupakan *gain* sistem yang didapatkan dari perbandingan perubahan variabel proses yang diukur sebagai *output* dengan variabel manipulasi sebagai *input* dengan rumus matematis pada persamaan (2.5).

$$K=\frac{\Delta}{\delta}=\frac{\Delta\text{process Variable}}{\Delta\text{manipulated Variable}} \tag{2.5}$$

Lalu *time constan* didapatkan dengan mencari menggunakan persamaan (2.6) berikut

$$\tau = 1{,}5\ (t_{63\%} - t_{28\%}) \tag{2.6}$$

dengan :

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

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

Selanjutnya adalah θ (*dead time*) yang mana merupakan perbedaan waktu dari respon *output* pengendali ketika sinyal *step* dimasukan menjadi *input*, hingga respon proses mulai bergerak. Atau bisa dituliskan pada persamaan (2.7) berikut:

$$\theta = t_{63\%} - \tau \tag{2.7}$$

Dari grafik respon sistem yang ada, didapatkanlah persamaan yang nantinya dapat menghasilkan fungsi transfer dari FOPDT sebagai bentuk pemodelan *plant*. Pemodelan dari FOPDT ini yang nantinya akan digunakan untuk menentukan parameter tuning PID.

2.6 *Direct Synthesis Tuning* PID

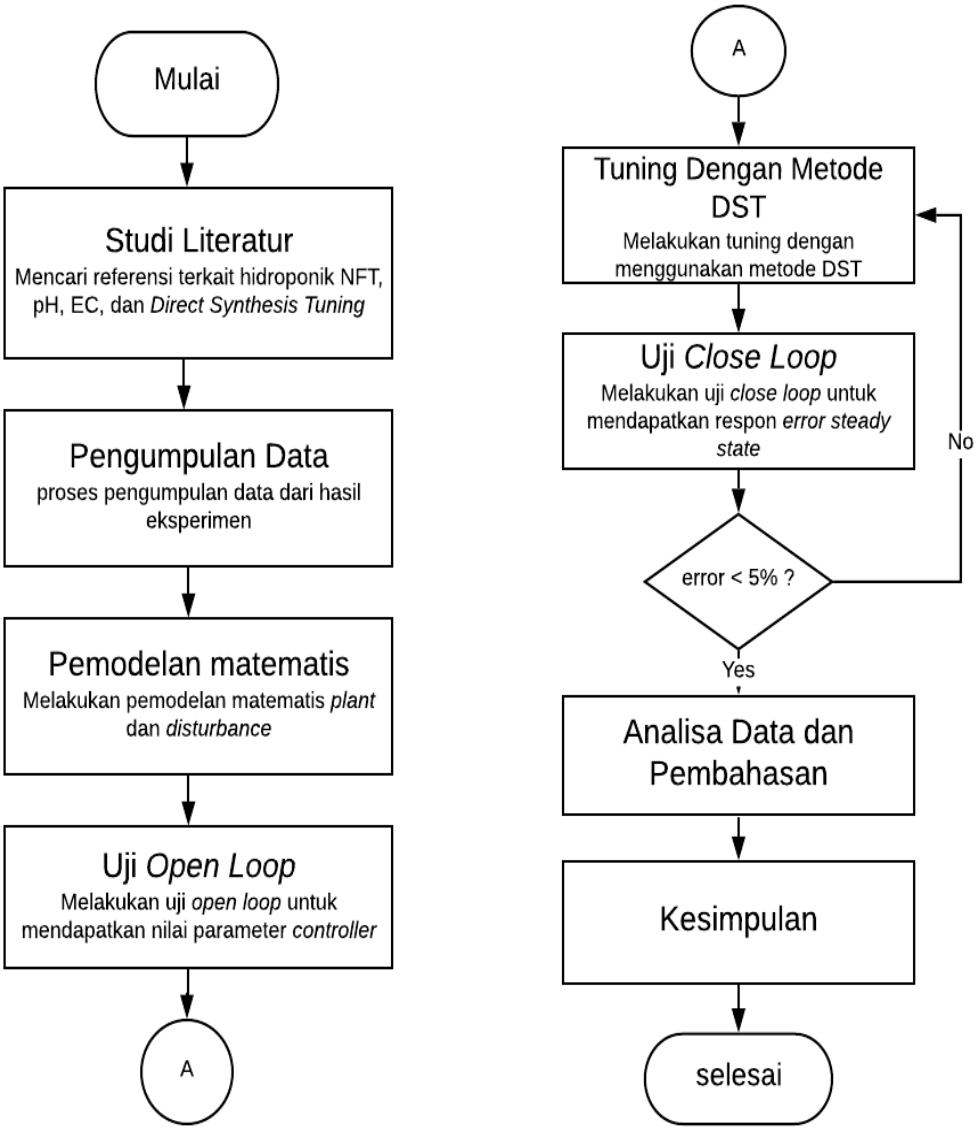
Kontroler PID merupakan pengendali yang popular pada dunia industri, pengendali ini terbukti dapat memberikan performa kontrol yang baik meski mempunyai algoritma sederhana yang mudah dipahami (Padhan & Majhi, 2012). Hal penting yang terdapat dalam desain kontroler PID ialah tuning atau pemberian parameter P, I, dan D yang nantinya bisa didapatkan respon sistem yang diinginkan. Salah satu metode yang muncul ialah tuning berdasar model *plant*, karena identifikasi *plant* bukan lagi hal yang sulit untuk dilakukan. Salah satu jenisnya ialah *direct synthesis* yang memerlukan model *plant* sebenarnya dan model *plant* yang diinginkan untuk mendapatkan parameter P, I, D dari kontroler (Gozali, 2005).

2.7 *Skogestad's Half rule*

Pada teori yang ada pada *Skogestad's half rule* ini merupakan metode untuk memudahkan dalam melakukan tuning sistem pengendali, dimana dapat dilakukannya pendekatan fungsi transfer untuk orde tinggi menjadi fungsi transfer orde satu ataupun menjadi fungsi transfer orde dua (Seborg & Thomas F. Edgar, 2011). Selain itu pada teori ini juga terdapat penjelasan bahwa ketika fungsi transfer merupakan orde tinggi pada metode *direct synthesys* maka tidak dapat langsung mendapatkan parameter PID melainkan harus melalui pendekatan dalam menentukan nilai parameter pengendali PID ataupun melalui penyederhanaan fungsi transfer menjadi orde satu (Chen & Seborg, 2002)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang langkah langkah yang dilakukan pada penelitian kali ini untuk mencapai tujuan. Adapun diagram alir penelitian ini dapat terlihat pada gambar 3.1 sebagai berikut:

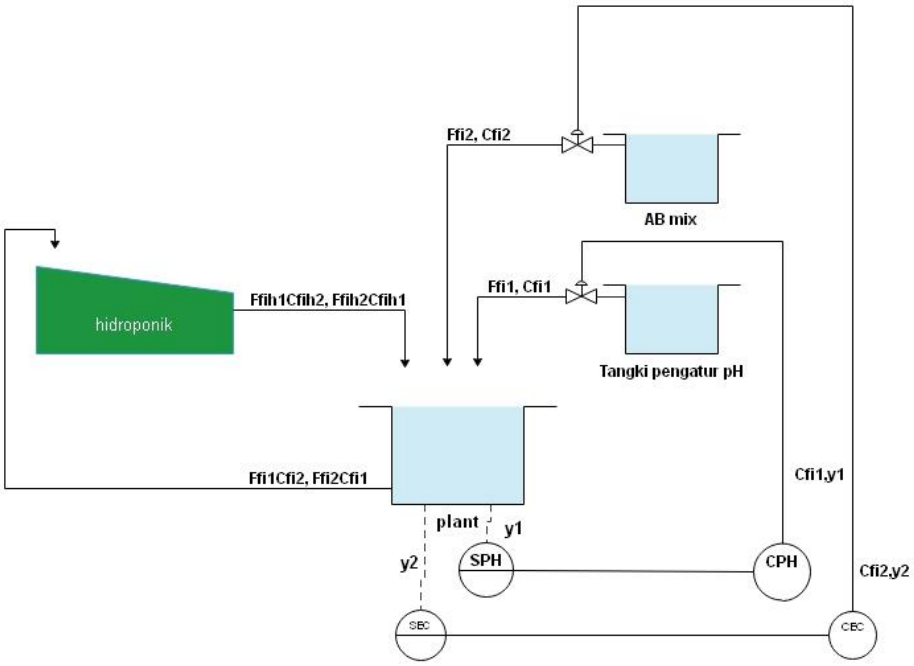


Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.1 Studi Literatur

Untuk penelitian kali ini dimulai dengan melakukan studi literatur tentang sitem hidroponik NFT serta tumbuhan yang dapat hidup pada sistem hidroponik NFT dan tentang sistem kontrol MIMO dengan menggunakan metode DST, selain itu dilakukan studi juga mengenai pengaruh derajat keasaman atau pH dan EC terhadap tanaman hidroponik tersebut dimana apakah memiliki hubungan yang dapat mempengaruhi tumbuh kembang tanaman.

Adapun pada penelitian kali ini desain *plant* yang digunakan terdapat pada gambar 3.2 dibawah ini



Gambar 3. 2 Desain *plant* hidrponik

Dengan keterangan :

Ffi1,Cfi1	=	*input* pH (mL/s,%)
Ffi2,Cfi2	=	*input* AB mix (mL/s,%)
y1	=	*output* pH
y2	=	*output* EC (µS/cm)
CFi1,y1	=	pengendali pH
CFi2,y2	=	pengendali AB *mix*
Ffih1Cfih1, Ffih2Cfih2	=	*input flow* dari hidroponik (mL/s,%)

Adapun pada gambar 3.2 terdapat komponen penyusun dari desain *plant* hidroponik ini yang terdiri dari sensor pH, sensor EC, sebuah pompa, tiga tangki yang masing masing berisi larutan AB mix yang merupakan pengatur kadar nutrisi, larutan pH *down* yang berfungsi untuk mengatur kadar derajat keasaman yang terlarut dalam tanaman dan tangki terakhir berisi air yang nantinya akan bercampur dengan nutrisi dan pH *down* untuk tanaman yang nantinya siap diliri ke tanaman hidroponik.

Setelah skematik *plant* sudah ada maka selanjutnya adalah pengumpulan data dimana dari data tersebut digunakan untuk tahapan selanjutnya pada tugas akhir ini yaitu pemodelan matematis *plant.* Adapun data yang diambil pada percobaan yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya diantaranya adalah data *flow,* nilai pH dan EC yang terukur oleh sensor, konsentrasi larutan nutrisi. Untuk data nilai pH dan EC yang terukur telah tertera pada lampiran A.

3.2 Pemodelan Matematis Sistem MIMO Pengendali pH dan EC

Pemodelan matematis pada sistem MIMO pengendalian EC dan pH kali ini terdiri dari beberapa pemodelan, diantaranya pemodelan *plant*, *control valve,* dan pemodelan untuk *decoupler*. Pemodelan matematis ini adalah dasaran dalam memodelkan sistem agar nantinya sistem dapat dijalankan dan di evaluasi hasil dari respon sistem tersebut.

3.2.1 Pemodelan Matematis *Plant* dan Hidroponik

Pada penelitian kali ini, pemodelan *plant* yang digunakan terdiri dari gangguan yang merupakan aliran dari tanaman hidroponik dan juga terdiri dari 4 blok *plant,* dikarenakan konsep dari sistem MIMO dimana ketika ada perubahan suatu *input* tidak hanya dapat mempengaruhi 1 *output* saja, yaitu *plant* pH, *plant* EC, *plant* pengaruh pH terhadap EC atau pH-EC, yang terakhir adalah *plant* pengaruh EC terhadap pH. Untuk melakukan pemodelan matematis dari keempat *plant* tersebut digunakanlah metode FOPDT untuk mendapatkan nilai fungsi alih yang mana memiliki persamaan sebagai berikut:

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

Dengan nilai 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).

$$K = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{\Delta \text{process Variable}}{\Delta \text{manipulated Variable}} \tag{3.2}$$

Untuk *time constan* didapatkan melalui persamaan (3.3) berikut:

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

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 θ (*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.

$$\theta = t_{63\%} - \tau \tag{3.4}$$

Dari persamaan (3.4) maka didapatkan pemodelan untuk keempat *plant* dimana keterangan *plant* disebutkan dengan H11, H22, H21, H12 seperti yang telah dituliskan pada gambar 2.2 adalah sebagai berikut:

Plant pH (H11)

$$G1(s) = \frac{0.017}{1.05s+1} e^{-6.15s} \tag{3.5}$$

Plant EC (H22)

$$G2(s) = \frac{6.17}{1.2s+1} e^{-12.3s} \tag{3.6}$$

Plant pH – EC (H21)

$$G3(s) = \frac{5.26}{5.1s+1} \tag{3.7}$$

Plant EC – pH (H12)

$$G4(s) = \frac{0.0006}{4.566s+1} \tag{3.8}$$

Selain pemodelan yang dilakukan untuk *plant,* dilakukan pula pemodelan matematis untuk tanaman hidroponik, pemodelan dilakukan karena keluaran dari tanaman hidroponik dapat merubah nilai daripada pH dan EC yang sudah di kendalikan di tangki pencampuran. Untuk nilai *gain* pada pemodelan ini didapatkan dari pembagian antara nilai aliran konsentrasi keluaran hidroponik dengan kenaikan nilai pH atau penurunan nilai EC seperti pada persamaan (3.2) diatas. Maka berdasarkan hal tersebut didapatkanlah nilai *gain* keluaran hidroponik untuk pH sebesar 0.07 dan untuk EC sebesar 0.0035.

3.2.2 Pemodelan *Control Valve* dan *Transmitter*

Untuk pemodelan *control valve* diperlukan untuk perancangan sistem pengendalian pH dan EC pada sistem hidroponik dengan cara mendapatkan nilai *gain* untuk *control valve* itu sendiri. Pada *control valve,* variabel *input* yang digunakan adalah rentang arus sebesar 4-20 mA dan variabel *output* yang digunakan adalah *flow* sebesar 966.67 mL/s hal ini ditentukan berdasarkan *datasheet control valve* yang digunakan. Maka persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *gain* adalah sebagai berikut:

$$K = \frac{\text{Rentang keluaran } (\frac{mL}{s})}{\text{Rentang masukan (mA)}} \tag{3.9}$$

$$K = \frac{966.67}{20-4} = \frac{966.67}{16} = 60.42 \tag{3.10}$$

Dari persamaan (3.10) didapatkanlah nilai K untuk pemodelan *control valve.* Selain itu pada penelitian kali ini *control valve* yang digunakan memiliki nilai *time constant* sebesar 2 detik, maka ketika dimasukan ke persamaan untuk memodelkan dengan metode FOPDT seperti pada persamaan (3.1) akan dihasilkan pemodelan sebagai berikut:

$$Gcv = \frac{60.42}{2s+1} \tag{3.11}$$

Selanjutnya yang dilakukan adalah memodelkan *transmitter*, untuk pemodelan ini dibagi menjadi 2 pemodelan dikarenakan *transmitter* yang digunakan pada EC dan pH berbeda. Untuk pH nilai K yang digunakan merupakan hasil dari pembagian dari selisih rentang sinyal 4-20 mA dan selisih rentang nilai pH 0-7, maka nilai K untuk pH yang didapatkan adalah sebesar 2.28. Sedangkan untuk nilai K pada EC didapatkan dengan pembagian dari selisih rentang sinyal 4-20 mA dan selisih rentang nilai EC 0-2000 µS /cm, maka dari pembagian nilai tersebut didapatkan nilai K untuk EC adalah sebesar 0.008. Untuk kedua nilai *transmitter* tersebut memiliki *time constant* sebesar 1 detik sehingga ketika di masukan kedalam persamaan (3.1) dengan pemodelan menggunakan metode FOPDT didapatkan pemodelan *transmitter* sebagai berikut

Pemodelan *transmitter* pH

$$G(s) = \frac{2.28}{s+1} \tag{3.12}$$

Pemodelan *transmitter* EC

$$G(s) = \frac{0.008}{s+1} \tag{3.13}$$

3.2.3 Pemodelan *Decoupler*

Pada sistem MIMO seperti ini maka sesungguhnya variabel pH dan EC merupakan 2 variabel yang sangat berkaitan, ketika ada salah satu nilai dari variabel ada yang berubah maka pasti akan berperngaruh pada variabel yang lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukanlah pemodelan *decoupler* yang mana berfungsi sebagai pemisadecouh efek keterkaitan yang diakibatkan adanya interaksi antara 1 variabel dengan variabel lainnya, untuk penelitian tugas akhir kali ini digunakanlah *decoupler* statis. Maka untuk pemodelan *decoupler* statis dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$D1_{(s)} = -\frac{\mathrm{G\ H12}}{\mathrm{G\ H11}} \tag{3.14}$$

$$D2_{(s)} = -\frac{\mathrm{G\ H21}}{\mathrm{G\ H22}} \tag{3.15}$$

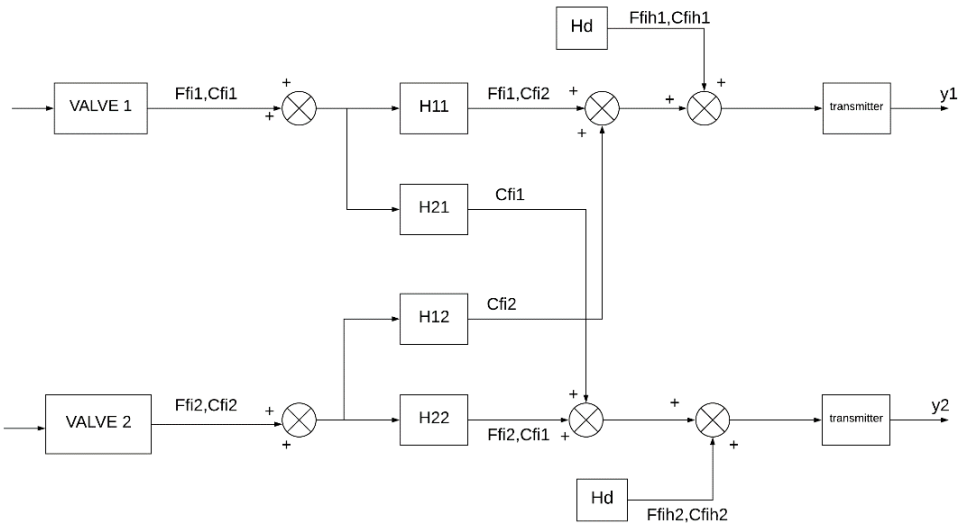
Dari persamaan diatas didapatkan nilai untuk D1 dan D2 sebagai berikut :

$$D1(s) = -\frac{0.006}{0.017} = -0.35 \tag{3.16}$$

$$D1(s) = -\frac{5.26}{6.17} = -0.85 \tag{3.17}$$

3.3 Proses *Open Loop*

Pada penelitian kali ini dilakukan proses *open loop* yang dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB untuk mengetahui respon pada *plant* hidroponik tanpa adanya pengendali dan membuktikan bahwa sistem yang digunakan adalah benar menggunakan konsep dari pada sistem MIMO. Adapun diagram blok untuk proses *open loop* adalah seperti pada gambar 3.3 dibawah ini

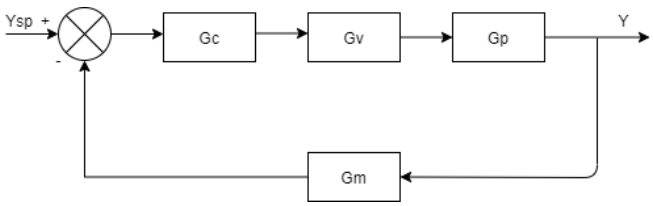


Gambar 3. 3 Diagram blok uji *open loop*

Untuk proses *open loop* seperti pada gambar 3.3 dapat dikatakan berhasil pada sistem MIMO ketika pada pengujiannya salah satu *input* Ffi1 atau Ffi2 diubah maka akan saling mempengaruhi hasil keluaran *output* satu sama lain.

3.4 Tuning dengan Metode *Direct Synthesis Tuning*

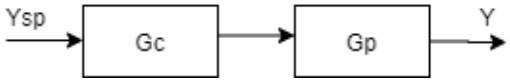
Salah satu motode tuning berdasarkan model *plant* yaitu *direct synthesis*. *Direct synthesis* memerlukan model *plant* sebenarnya dan model *plant* yang diinginkan untuk mendapatkan parameter P, I, D dari kontroler, adapun yang dimaksud dengan model *plant* sebenarnya adalah dengan mengetahui diagram blok sistem sebelum disederhakan seperti pada gambar 3.4 dibawah ini



Gambar 3. 4 Pemodelan *plant*

Dari gambar 3.4 diatas, metode tuning dengan DST dilakukan dengan menyederhanakan *plant* menjadi satu kesatuan yang kemudian dari penggabungan tersebut dicari fungsi

transfer keseluruhannya dimana itu berfungsi untuk memudahkan dalam mencari pengendali, contoh penyederhanaan blok *plant* terdapat pada gambar 3.5 dibawah ini



Gambar 3. 5 Penyederhanaan pemodelan *plant*

Maka setelah *plant* disederhanakan didapatkan persamaan fungsi transfer adalah sebagai berikut:

$$\frac{y}{ysp} = \frac{Gc.Gp}{1+Gc.Gp} \tag{3.18}$$

Dimana pada penelitian kali ini *plant* yang digunakan dengan sistem MIMO dengan menggunakan *decoupler* sehingga seakan akan *plant* dipisah menjadi 2 *loop* yang berbeda. Maka adapun persamaan Gp pada *plant* yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Gp1} = H11 - \frac{H12H21}{H22} \tag{3.19}$$

$$\text{Gp2} = H22 - \frac{H12H21}{H11} \tag{3.20}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan hasil fungsi transfer *plant* sistem MIMO masing masing untuk pH dan EC. Ketika fungsi transfer sudah didapatkan maka selanjutnya adalah mencari nilai Gc atau nilai dari pengendali sistem yang akan digunakan, maka hasil dari perhitungan itu semua terlampir pada lampiran B.

Tahap selanjutnya yaitu memasukan hasil dari persamaan Gc kedalam desain *close loop* yang telah dibuat, namun dikarenakan hasil Gc kedua *loop* pada *plant* sangat tinggi ordenya maka digunakanlah penyetaraan pengendali menggunakan PID *controller* (Chen & Seborg, 2002) dengan menggunakan metode tuning eksperimen yang digunakan untuk menstabilkan sistem agar tetap pada rentang *set point* walaupun nantinya dikenakan gangguan. Adapun tuning

eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebanyak 3 kali untuk mengetahui respon yang paling baik diantara ketiganya. Adapun ketiga tuning ini dilakukan dengan meggunakan nilai Kp, Ki, Kd yang terdapat pada tabel 3.1 untuk pH dan tabel 3.2 untuk EC dibawah ini

Tabel 3. 1 Parameter Tuning PID Eksperimen untuk pH

	Kp	Ki	Kd
Eksperimen 1	0.5	0.1	2.5
Eksperimen 2	0.5	0.025	0.05
Eksperimen 3	0.25	0.0125	0.025

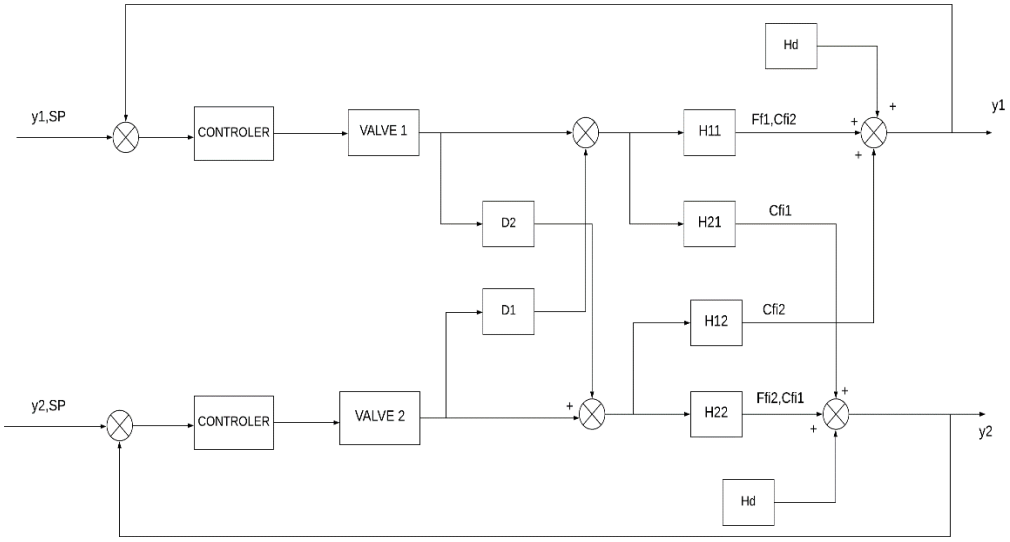
Tabel 3. 2 Parameter Tuning PID Eksperimen untuk EC

	Kp	Ki	Kd
Eksperimen 1	0.6	0.1	2.5
Eksperimen 2	0.5	0.025	0.05
Eksperimen 3	0.25	0.0125	0.025

Berdasarkan nilai parameter parameter yang telah disimulasikan sesuai pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 maka didapatkan hasil respon sistem seperti yang terlampir pada lampiran C, dari hasil tersebut didapatkan parameter yang paling baik dilihat dari karakteristik responnya, yaitu pada hasil eksperimen pertama dimana bernilai Kp=0.5, Ti=0.1, Td=2.5 untuk pH dan Kp=0.6, Ti=0.1, Td=2.5 untuk EC

3.5 Proses Close Loop

Adapun selanjutnya pada penelitian kali ini dilakukan proses *close loop* yang mana terdapat diagram bloknya sesuai pada gambar 3.6 dibawah ini



Gambar 3. 6 Diagram blok uji *close loop*

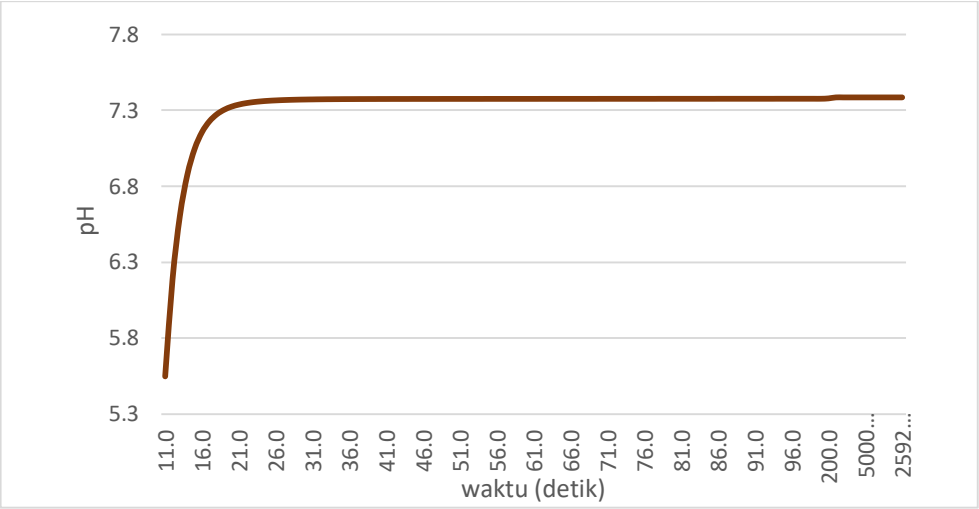
Pada proses *close loop* yang digambarkan pada diagram blok gambar 3.6, proses ini dillakukan dengan memberikan umpan balik pada sistem dimana nantinya akan terlihat bagimana sistem akan bekerja, pada sistem hidroponik MIMO ini terdapat gangguan berupa aliran pH dan aliran EC yang masuk ke dalam sistem,ketika sistem sudah dapat memberikan umpan balik yang baik pada *input* dan menghasilkan grafik kurva yang sama dengan masukannya maka sistem tersebut dapat dinyatakan telah stabil dalam meredam gangguan yang ada dan pengendalian pada sistem MIMO dianggap berhasil. Setelahnya adalah melakukan analisa grafik yang telah didapatkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

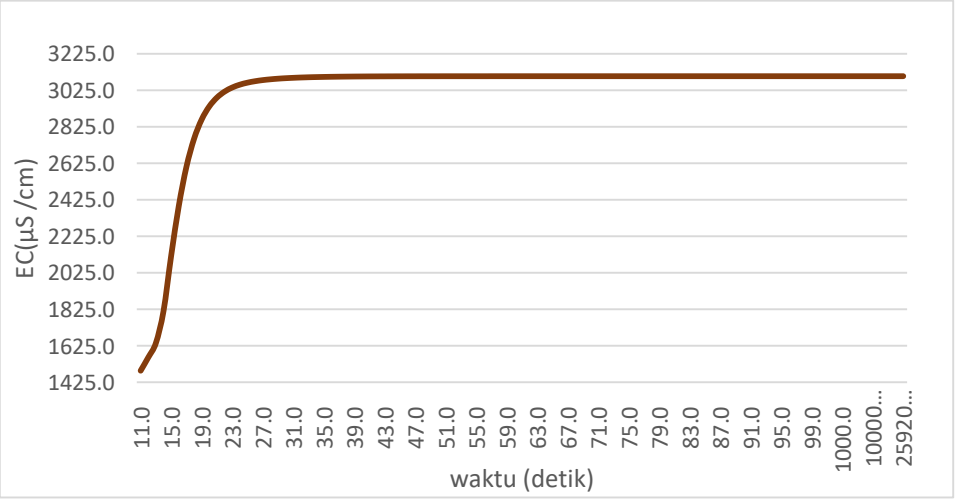
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji *Open Loop* Sistem MIMO pH dan EC

Pada proses memodelkan sistem hidroponik menggunakan MIMO, dilakukan pengujian *open loop* untuk mengidentifikasi respon dari sistem tersebut tanpa menggunakan pengendali apapun, berikut adalah grafik respon pH dan EC dari sistem hidroponik menggunakan sistem MIMO yang disimulasikan dengan *software* MATLAB



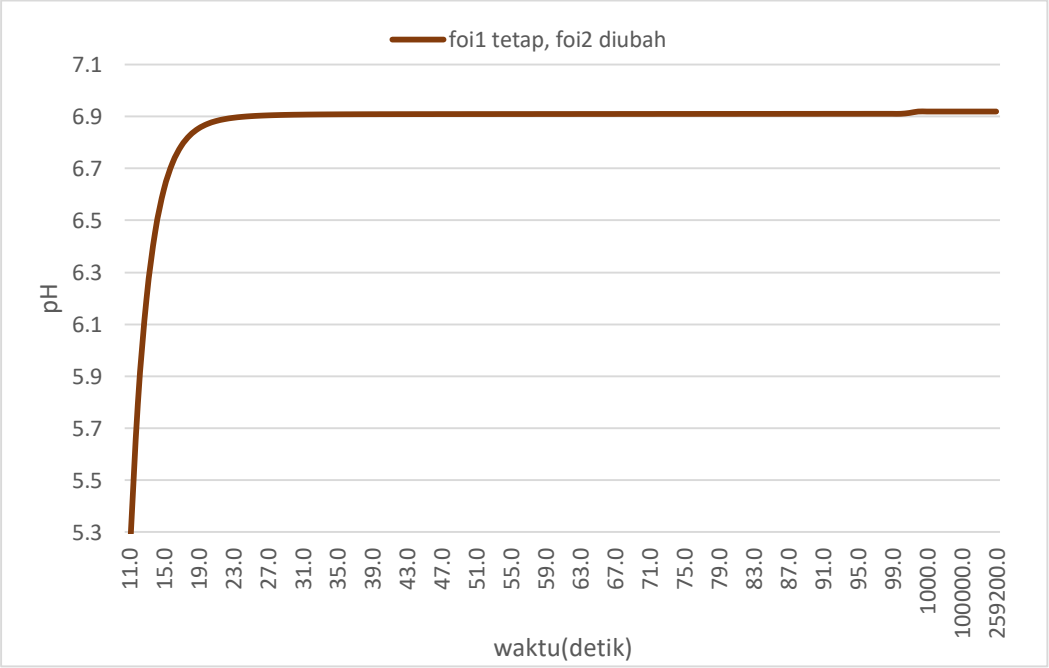
Gambar 4. 1 Hasil uji *open loop*



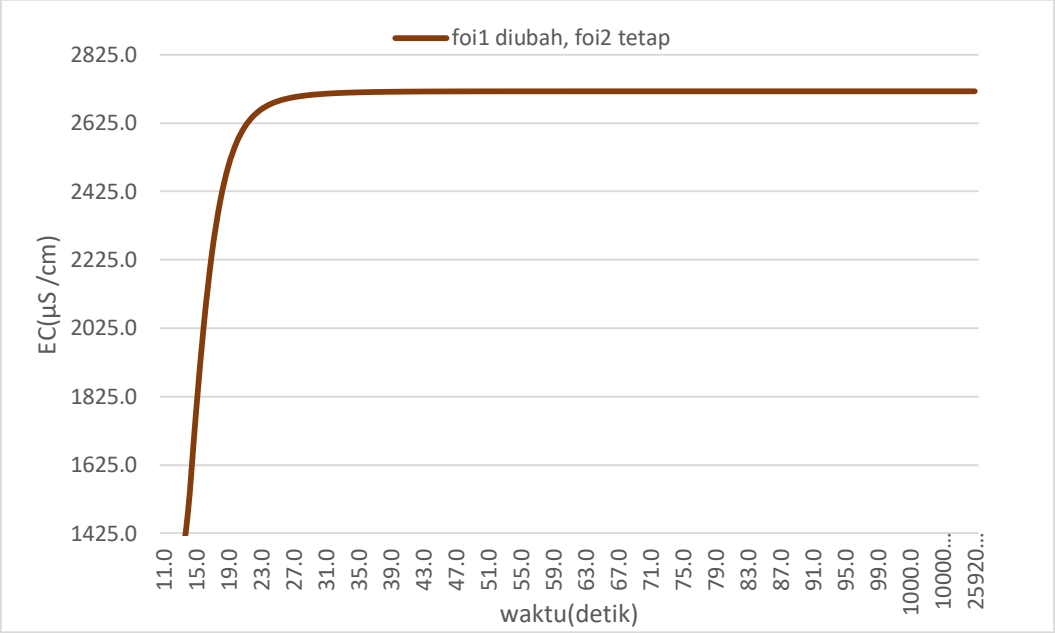
Gambar 4. 2 Hasil uji *open loop EC*

Pada gambar 4.1 dan 4.2 diatas terlihat bahwa pada proses *open loop* respon sistem terlihat *steady* namun nilai pH dan EC belom sesuai *set point*, respon sistem terlihat *steady* pada nilai 7.3 untuk pH dan 3100 untuk EC hal ini dikarenakan masukan konsentrasi dan aliran kedalam tangki hanya mampu memberikan nilai maksimum untuk pH dan EC pada larutan sebesar 7.3 dan 3100 hal tersebut yang membuat respon sistem ketika simulasi terlihat *steady* pada nilai maksimum.

Sistem MIMO ini merupakan sistem dimana perubahan suatu masukan tidak hanya mempengaruhi satu keluaran saja melainkan adanya keterkaitan dengan keluaran lainnya. Untuk mengetahui apakah sistem telah menerapkan MIMO salah satu caranya adalah dengan mengubah salah satu *input* pada sistem lalu dilihat apakah terdapat pengaruh pada keluaran *loop* yang lainnya. Berikut pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 merupakan grafik hasil perubahan masukan untuk EC menjadi 15 mA terhadap respon pH.



Gambar 4. 3 Respon uji *open loop* pH dengan *set point* EC 15mA



Gambar 4. 4 Respon uji *open loop* EC dengan *setpoint* 15mA

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa nilai pH pada sistem belum sesuai rentang *set point* yang telah ditentukan untuk tanaman hidroponik dan pada gambar 4.2 diatas dapat dilihat juga bahwa hasil respon dari sistem menunjukan nilai EC yang jauh di atas nilai rentang EC yang ideal untuk tanaman dan juga dengan sistem MIMO tanpa pengendali apapun akan sulit untuk mengontrol agar kedua nilai tersebut dalam rentang *set point* yang diinginkan karena adanya keterkaitan antara suatu masukan terhadap keluaran lainnya seperi pada gambar 4.3 dan gambar 4.4. Hal ini tentu tidak baik untuk pertumbuhan tanaman hidroponik yang mana artinya harus di kontrol dengan pengendali agar nilai pH dan nilai EC stabil pada rentang *set point* yang ideal untuk pertumbuhan tanaman hidroponik.

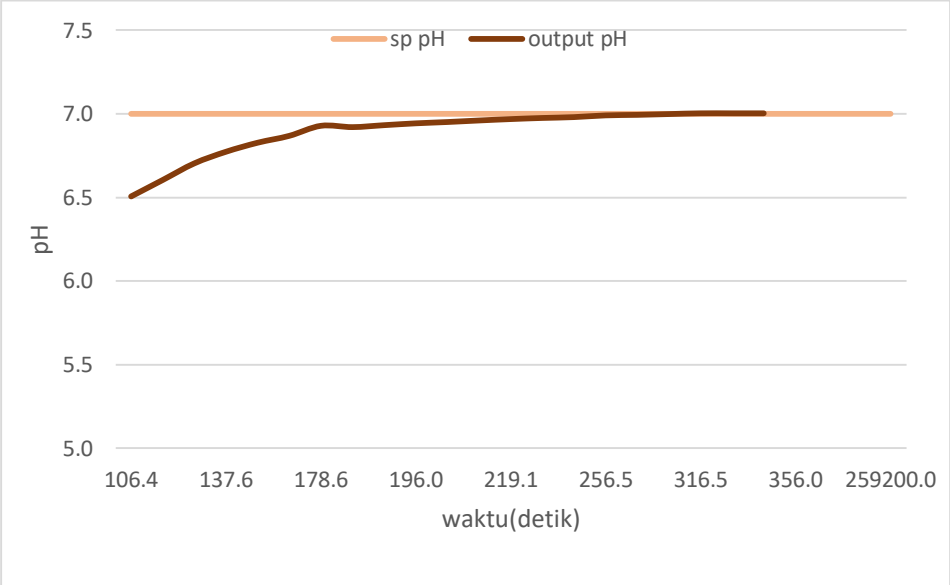
4.2 Uji *Close Loop* Sistem MIMO pH dan EC

Setelah uji *open loop* dilakukan pada sistem MIMO pH dan EC, dilakukan pengujian *close loop* dengan menentukan parameter pengendali agar sistem tetap stabil pada rentang *set point* walau diberikan perubahan *input* dan diberikan masukan pula aliran dari hidroponik dari detik ke 1 pada sistem. Maka kemudian didapatkan pengendali yang mana disetarakan dengan nilai PID eksperimen dengan

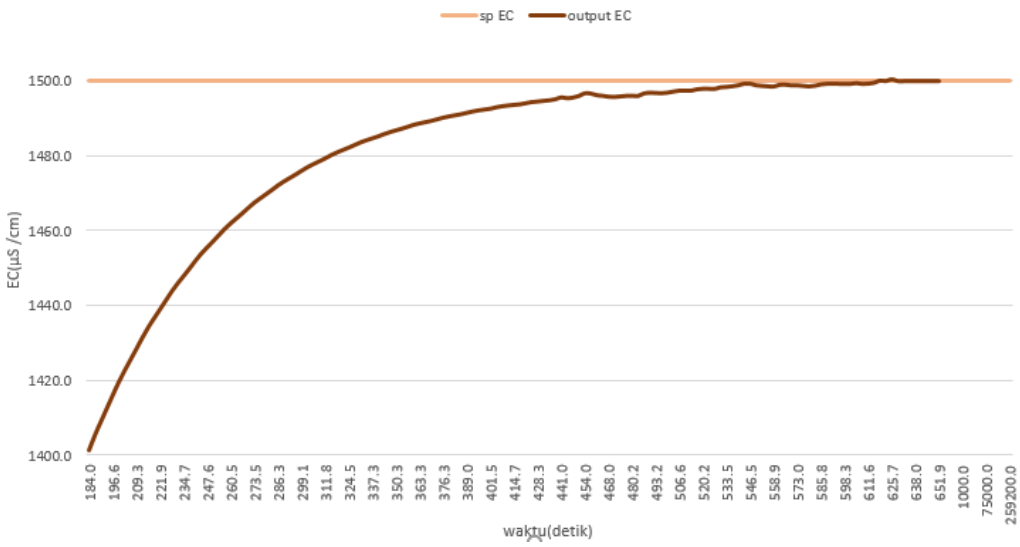
parameter Kp=0.5, Ti=0.1, Td=2.5 untuk pH dan Kp=0.6, Ti= 0.1, Td=2.5 untuk EC

4.2.1 Uji *Close Loop* dengan *Set Point* pH 7 dan EC 1500 µS/cm

Uji *close loop* dilakukan dengan memberikan *set point* pH 7 dan nilai EC 1500 µS/cm adapun hasil yang diperoleh dari uji *close loop* adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 5 Hasil uji *close loop* pH dengan *set point* 7



Gambar 4. 6 Hasil uji *close loop* EC dengan *set point* 1500 µS/cm

Gambar 4.5 dan gambar 4.6 merupakan hasil dari uji *close loop* pH dan EC yang dilakukan pada penelitian, hal ini dilakukan untuk melihat apakah respon

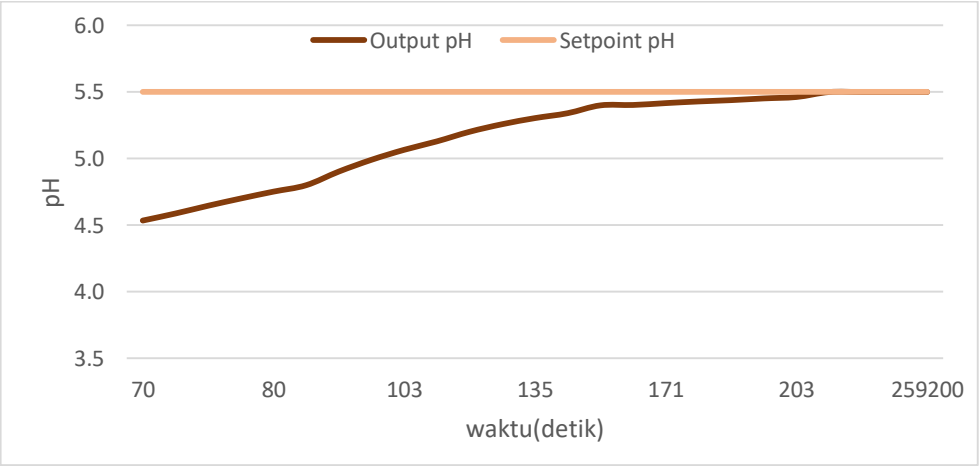
sistem dapat stabil pada nilai *set point* setelah diberikan pengendali. Dari kedua hasil uji *close loop* diatas terlihat bahwa ketika *set point* pH dan EC diberikan pada nilai 7 dan 1500 µS/cm , pengendali dapat membuat sistem hidroponik MIMO tersebut stabil dengan menjaga hasil keluaran sistem pada rentang *set point* yang telah ditentukan walaupun dari detik ke 1 diberikan masukan pula aliran dari hidroponik, sistem tetap menyesuaikan kembali agar tetap kembali sesuai *set point*. Selain mendapatkan grafik untuk melihat sistem dapat stabil atau tidak, uji *close loop* juga dapat menentukan karakteristik respon sistem tersebut, adapun karakterisitik respon pada sistem adalah seperti yang tertera pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Karakteristik Respon *Set Point* pH 7 dan EC 1500 µS/cm

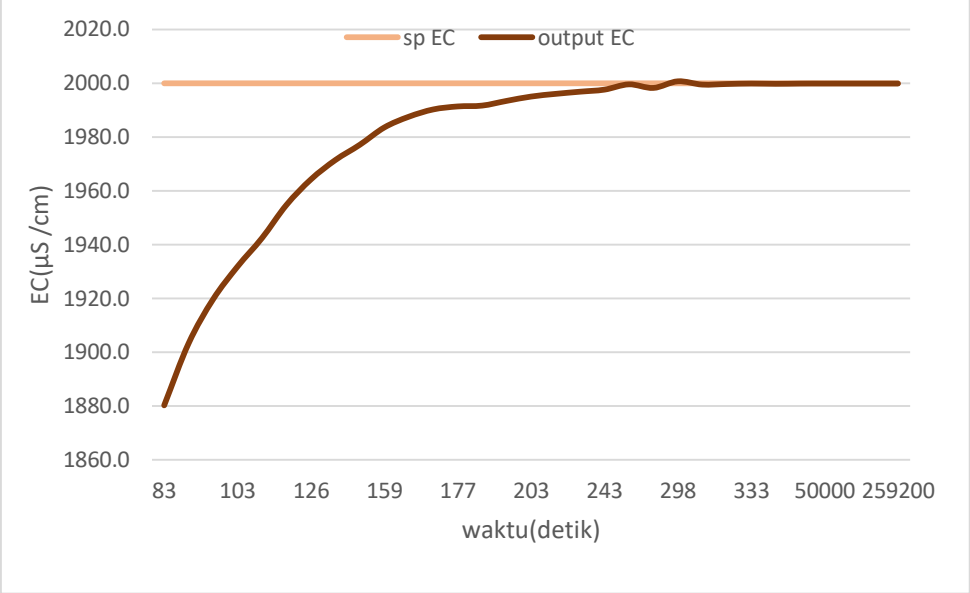
Karakteristik Respon	pH	EC
Rise Time	84.41 detik	63.5 detik
Settling Time	156.6 detik	126.9 detik
Max. Overshoot	0%	0%
Error Steady State	0.38%	0.339%
Peak Time	498.8 detik	482.2 detik

4.2.2 Uji *Close Loop* dengan *Set Point* pH 5.5 dan EC 2000 µS/cm

Untuk melihat apakah pengendali benar benar mampu mempertahankan kestabilan sistem pada rentang *set point*, maka dibuat variasi *set point* lain dengan nilai pH 5.5 dan nilai EC 2000 µS/cm. Adapun grafik respon uji *close loop* dengan memvariasikan nilai pH dan EC adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 7 Hasil uji *close loop* pH dengan *set point* 5.5



Gambar 4. 8 Hasil uji *close loop* EC dengan *set point* 2000 µS/cm

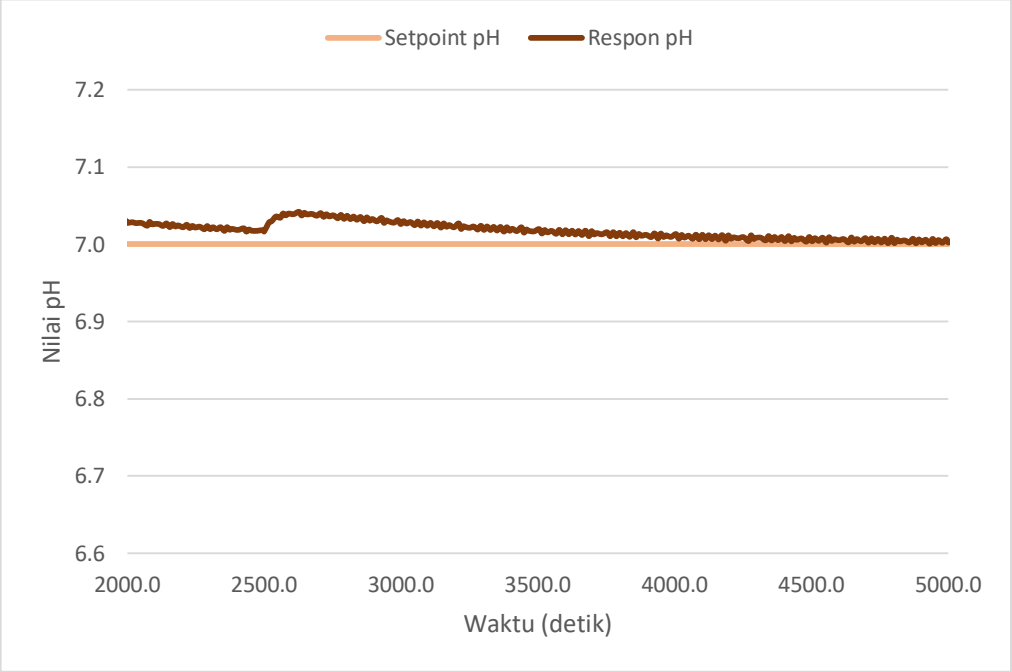
Gambar 4.7 dan gambar 4.8 merupakan hasil grafik dari uji *close loop* ketika dirubah nilai *set point*, pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah ketika *set point* divariasikan sesuai dengan kebutuhan, respon dari sistem masih dapat distabilkan oleh pengendali yang ada. Maka dari grafik pada gambar 4.7 dan gambar 4.8 dapat terlihat bahwa pengendali yang digunakan pada uji *close loop* ini tetap dapat menstabilkan sistem walau diberi masukan berupa aliran dari hidroponik, sistem terlihat stabil pada rentang *set point* yang telah divariasikan yaitu pada pH bernilai 5.5 dan untuk EC bernilai 2000 µS/cm. Adapun dari uji *close loop* dengan memvariasikan *set point* didapatkan karakteristik respon dari sistem adalah seperti yang tertera pada tabel 4.2 dibawah ini

Tabel 4. 2 Karakteristik Respon *Set Point* pH 5.5 dan EC 2000 µS/cm

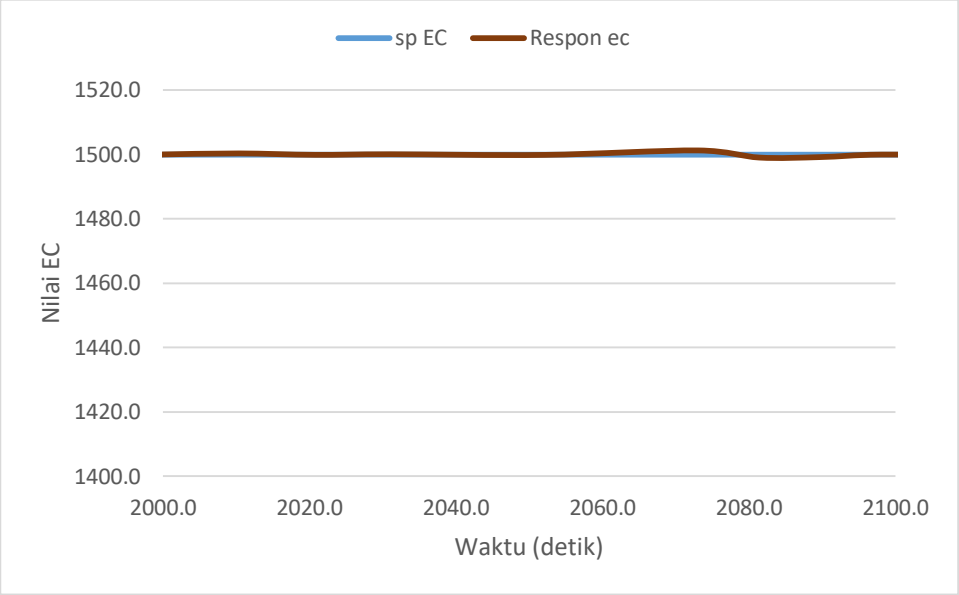
Karakteristik Respon	**pH**	**EC**
Rise Time	85.5 detik	65.8 detik
Settling Time	158.04 detik	127.05 detik
Max. Overshoot	0%	0 %
Error Steady State	0.37%	0.324%
Peak Time	497.6 detik	494.3 detik

4.2.3 Uji *Close Loop* dengan Perubahan Keluaran Hidroponik

Pada uji *close loop* juga dilakukan perubahan keluaran dari sistem hidroponik untuk membuktikan pula apakah pengendali tetap mampu menstabilkan sistem ketika diberikan perubahan. Simulasi ini dilakukan dengan melakukan perubahan nilai pH pada detik ke 2500 dan untuk nilai EC dirubah pada detik ke 2000. Dari grafik yang didapatkan pada gambar 4.9 dan gambar 4.10, ketika uji ini dilakukan kurang begitu terlihat perubahannya disebabkan resolusi perangkat yang kurang memadahi untuk melakukan simulasi. Adapun grafik yang dihasilkan adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 9 Hasil uji *close loop* pH dengan perubahan keluaran hidroponik



Gambar 4. 10 Hasil uji *close loop* EC dengan perubahan keluaran hidroponik

Pada gambar 4.9 dan gambar 4.10 menunjukan bahwa kedua grafik diatas ketika nilai keluaran dari hidroponik dirubah maka pengendali tetap dapat menstabilkan sistem, walau pada detik ke 2500 pada pH dan 2000 pada EC terlihat adanya perubahan namun sistem tetap menyesuaikan agar stabil di *set point.* Adapun karakteristik respon dari grafik diatas adalah seperti yang tertera pada Tabel 4.3 dibawah ini

Tabel 4. 3 Karakteristik Respon Perubahan Keluaran Hidroponik

Karakteristik Respon	**pH**	**EC**
Rise Time	77.72 detik	75.52 detik
Settling Time	397.72 detik	141.08 detik
Max. Overshoot	2.1%	0.107%
Error Steady State	0.12%	0.078%
Peak Time	294.92 detik	620.1 detik

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tugas akhir yang telah dilakukan untuk merancang sistem pengendali derajat keasaman (pH) dan *electric conductivity* (EC) pada sistem hidroponik menggunakan sistem MIMO, didapatkan hasil identifikasi dengan parameter pengendali untuk pH dan EC berupa P:0.5, I:0.1, D:2.5, dengan karakteristik respon sistem yaitu *rise time* = 84.41 detik, *settling time* = 156.6 detik, *overshoot* = 0%, *peak time* = 498.8 detik, *error steady state* = 0.38% untuk pH dan *rise time* = 63.5 detik, *settling time* = 126.9 detik, *overshoot* = 0%, *peak time* = 482.2 detik, *error steady state* = 0.33% untuk EC , memiliki respon sistem yang telah stabil.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah merancang pengendali dengan metode lain yang sekiranya bisa langsung baik dalam menstabilkan sistem selain itu dapat juga mengganti atau menambahkan variabel yang di kontrol.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Bakerey, R., Elssadig, K., Eltahir, D., & Hussien, M. (2016). Function using FOPDT, SOPDT and SKOGESTAD in Control System. *International Journal of Engineering, Applied and Management Sciences Paradigms*, *42*(01), 1. www.ijeam.com

Chen, D., & Seborg, D. E. (2002). PI/PID controller design based on direct synthesis and disturbance rejection. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, *41*(19), 4807–4822. https://doi.org/10.1021/ie010756m

Ghatage, S. M., Done, S. R., Akhtar, S., Jadhav, S., & Havaragi, R. (2019). a Hydroponic System for Indoor Plant Growth. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) E*, *06*(June), 1279–1286.

Golnabi, H. (2009). *electrolyte solutions Archive of SID*. *November 2014*.

Gozali, R. B. M. (2005). Desain Kontrol Pid Dengan Metoda Tuning Direct Synthesis Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Dc. *Teknoin*, *10*(4), 283–293. https://doi.org/10.20885/teknoin.vol10.iss4.art3

Iqbal, H., & Cordova, H. (n.d.). *Bagaimana merancang MIMO kontrol (level dan pressure) pada unit deaerator dengan menggunakan metode decoupler . • Variabel matematika yang digunakan linear dan property dari proses diasumsikan konstan*. 1–14.

Karastogianni, S., Girousi, S., & Sotiropoulos, S. (2015). pH: Principles and Measurement. In *Encyclopedia of Food and Health* (1st ed., Issue October). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00538-9

Katsuhiko Ogata. (2017). Modern control engineering. In *Modern Control Engineering*. https://doi.org/10.1201/9781315214573

Kharche, D. N. R. (2019). Design and Development of Arduino based Nutrient Film Technique System. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *7*(5), 3959–3963. https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.5653

Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmautz, Z., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review.

Italian Journal of Agronomy, *13*(1), 1–11. https://doi.org/10.4081/ija.2017.1012

Padhan, D. G., & Majhi, S. (2012). Synthesis of PID tuning for a new parallel cascade control structure. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 2, Issue PART 1). IFAC. https://doi.org/10.3182/20120328-3-it-3014.00096

Putra, E. S., Jamaludin, J., & Djatmiko, M. D. (2018). Comparation of Hydroponic System Design for Rural Communities in Indonesia. *Journal of Arts and Humanities*, *7*(9), 14–21. https://doi.org/10.18533/journal.v7i9.1490

Sayara, T., Amarneh, B., Saleh, T., Aslan, K., Abuhanish, R., & Jawabreh, A. (2016). Hydroponic and Aquaponic Systems for Sustainable Agriculture and Environment. *International Journal of Plant Science and Ecology*, *2*(3), 23–29. http://www.aiscience.org/journal/ijpsehttp://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Seborg, D. E., & Thomas F. Edgar. (2011). *Process Dynamics and Control Third Edition Dale*.

Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, *17*(4), 364. https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5

Singh, H., & Dunn Bruce. (2016). *Electrical Conductivity and pH Guide for Hydroponics*. *October*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20271.94885

Stephanopoulos, G. (1983). Chemical Process Control An Introduction to Theory and Practice Problem Sotving in Chemical Engineering with Numerical Methods Fluid Mechanics for Chemical Engineering. *Elements*, 696.

Subandi, M., Salam, N. P., & Frasetya, B. (2015). Pengaruh Berbagai Nilai Ec (Electrical Conductivity) Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Bayam (Amaranthus Sp .) Pada Hidroponik Sistem Rakit Apung (Floating Hydroponics System). *Jurnal Agro*, *IX*(2), 136–152. http://digilib.uinsgd.ac.id/3097/1/article subadi2.pdf

LAMPIRAN

A. Data pH AB mix dan EC AB mix

Waktu (s)	pH AB *mix*
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

Waktu (s)	EC(µS /cm)
1	10
2	24
3	814
4	2020
5	1816
6	1820
Waktu (s)	**EC(µS /cm)**
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

B. Hasil Perhitungan dengan Metode DST

Adapun hasil perhitungan untuk fungsi transfer keseluruhan sistem MIMO pH dan EC adalah sebagai berikut:

$$Gp1=\frac{2.403s^2+0.94s+0.073}{150.9s^3+206.3s^2+66.125s+6.17}$$

$$Gp2=\frac{2.403s^2+0.94s+0.073}{150.9s^3+206.3s^2+66.125s+6.17}$$

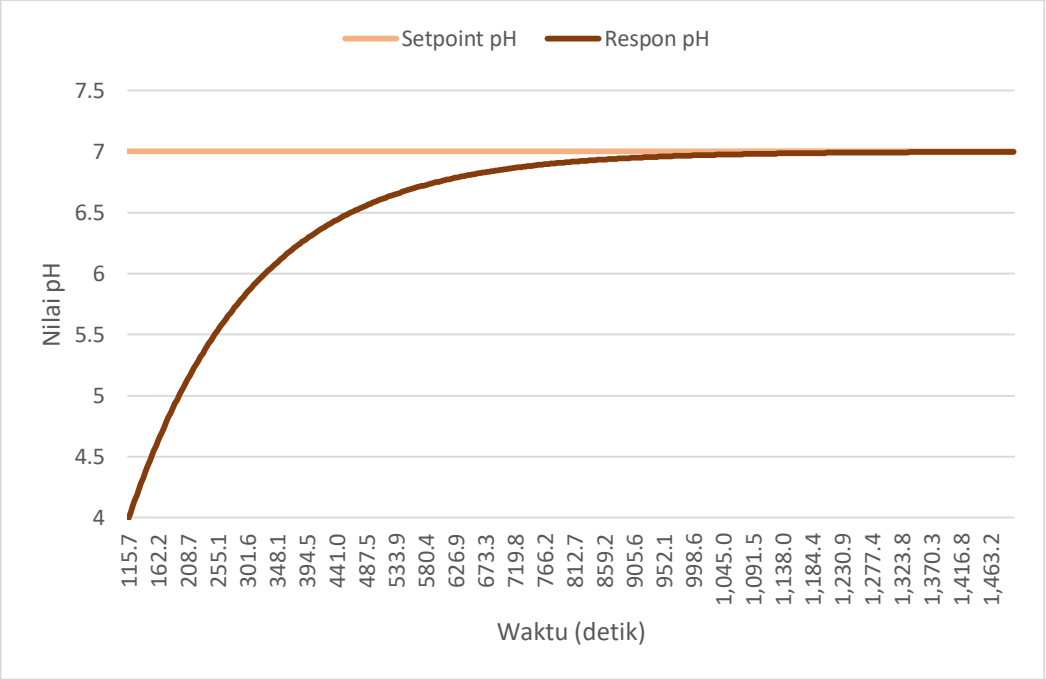
Dimana Gp 1 merupakan fungsi transfer dari *plant* pH dan Gp2 adalah fungsi transfer untuk *plant* EC. Dan adapun hasil dari perhitungan Gc atau pengendali dari kedua *plant* tersebut adalah sebagai berikut:

$$GC1 = \frac{331.03s^2+129.5s+9.64}{301.8s^5+856.3s^4+902s^3+417.04s^2+84.6s+6.17}$$

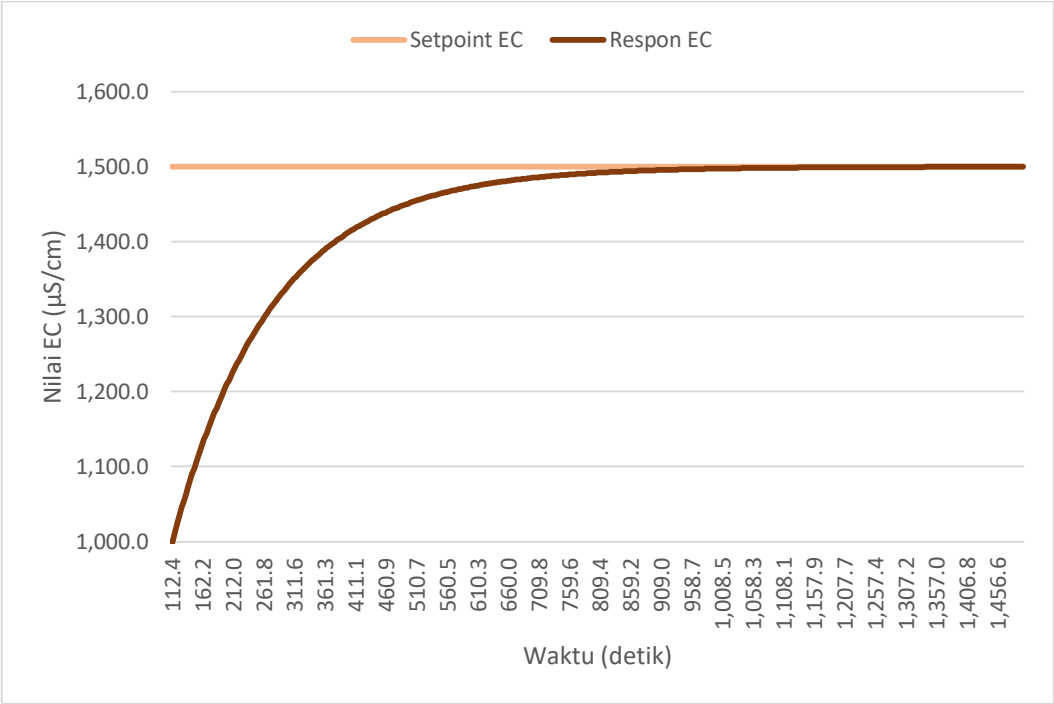
$$GC2 = \frac{1.15s^2+0.45s+0.035}{0.95s^5+2.6s^4+2.6s^3+1.12s^2+0.23s+0.017}$$

C. Hasil Simulasi Parameter Kontrol Eksperimen

- Respon pH dan EC dengan parameter kontrol P:0.5, I:0.025, D:0.05

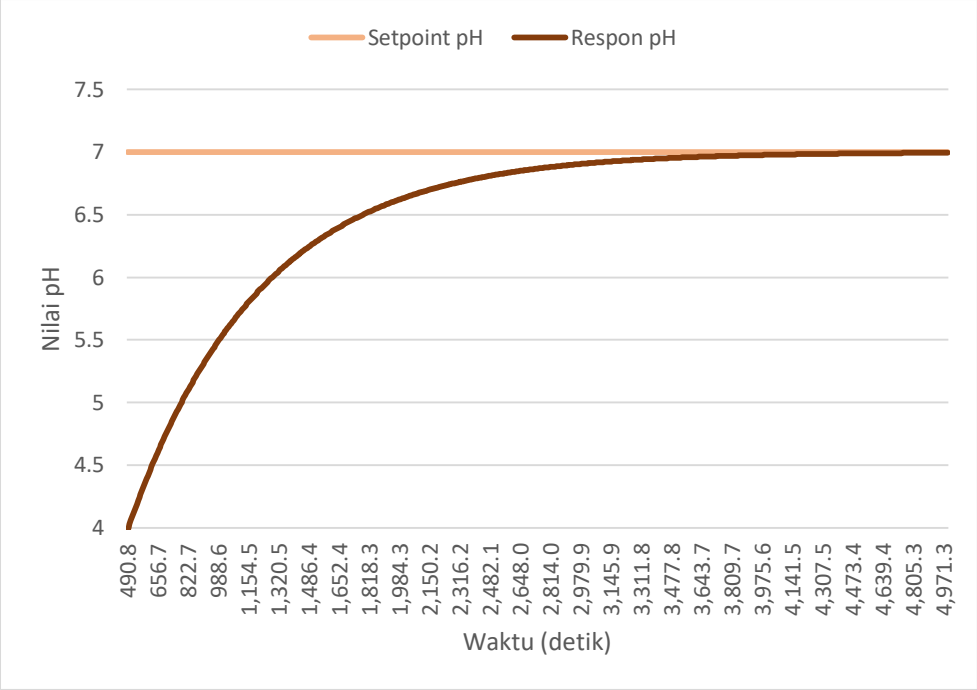


Gambar C.1 Respon pH untuk parameter P:0.5, I:0.025, D:0.05

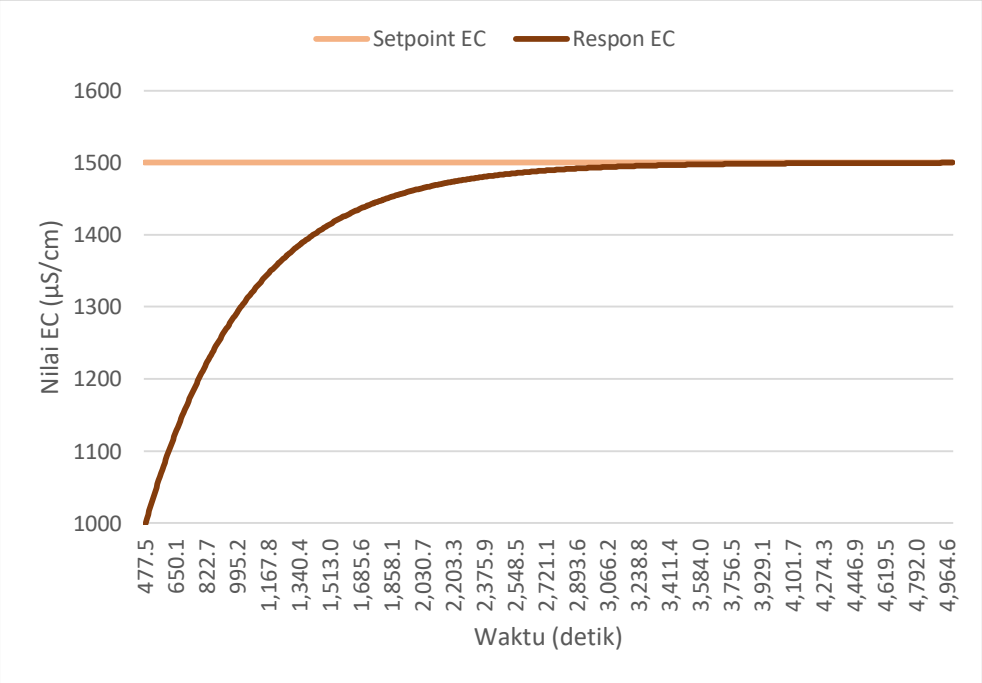


Gambar C.2 Respon EC untuk parameter P:0.5, I:0.025, D:0.05

- Respon pH dan EC dengan parameter kontrol P:0.25, I:0.0125, D:0.025



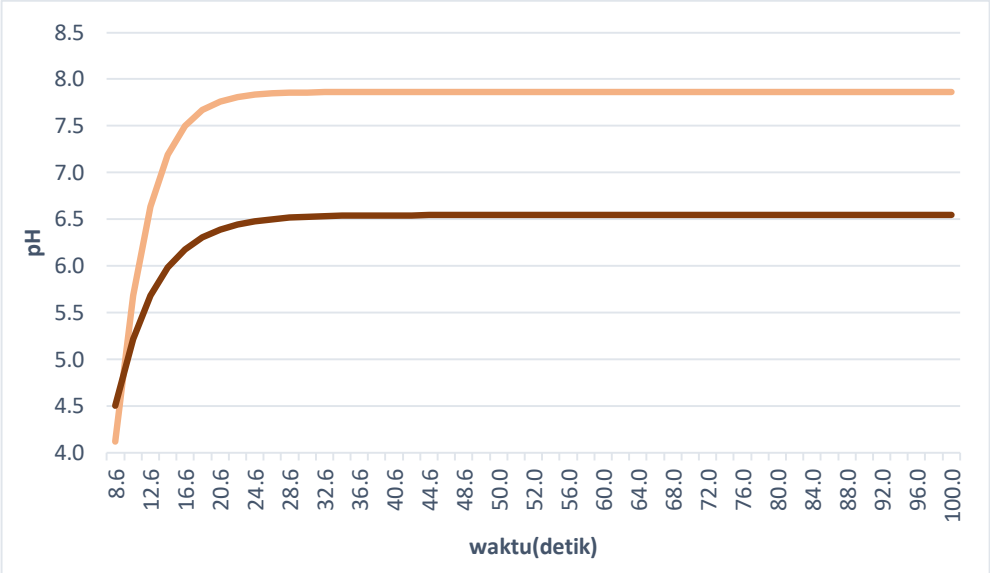
Gambar C.3 Respon pH untuk parameter P:0.25, I:0.0125, D:0.025



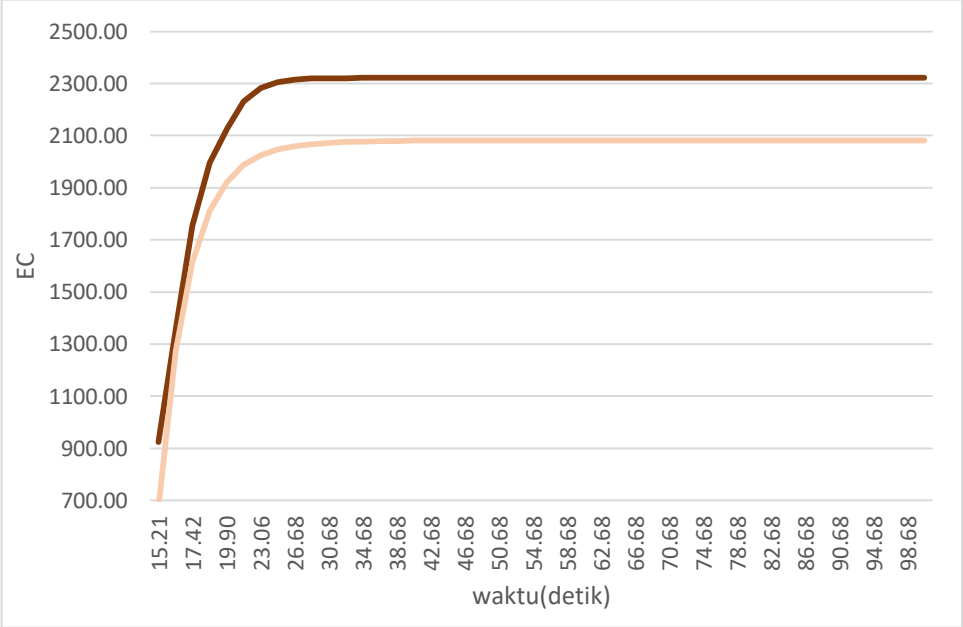
Gambar C.4 Respon EC untuk parameter P:0.25, I:0.0125, D:0.025

D. Design simulasi pada Simulink

Validasi data dilakukan dengan membandingkan grafik *open loop* yang didapat dengan grafik penelitian sebelumnya

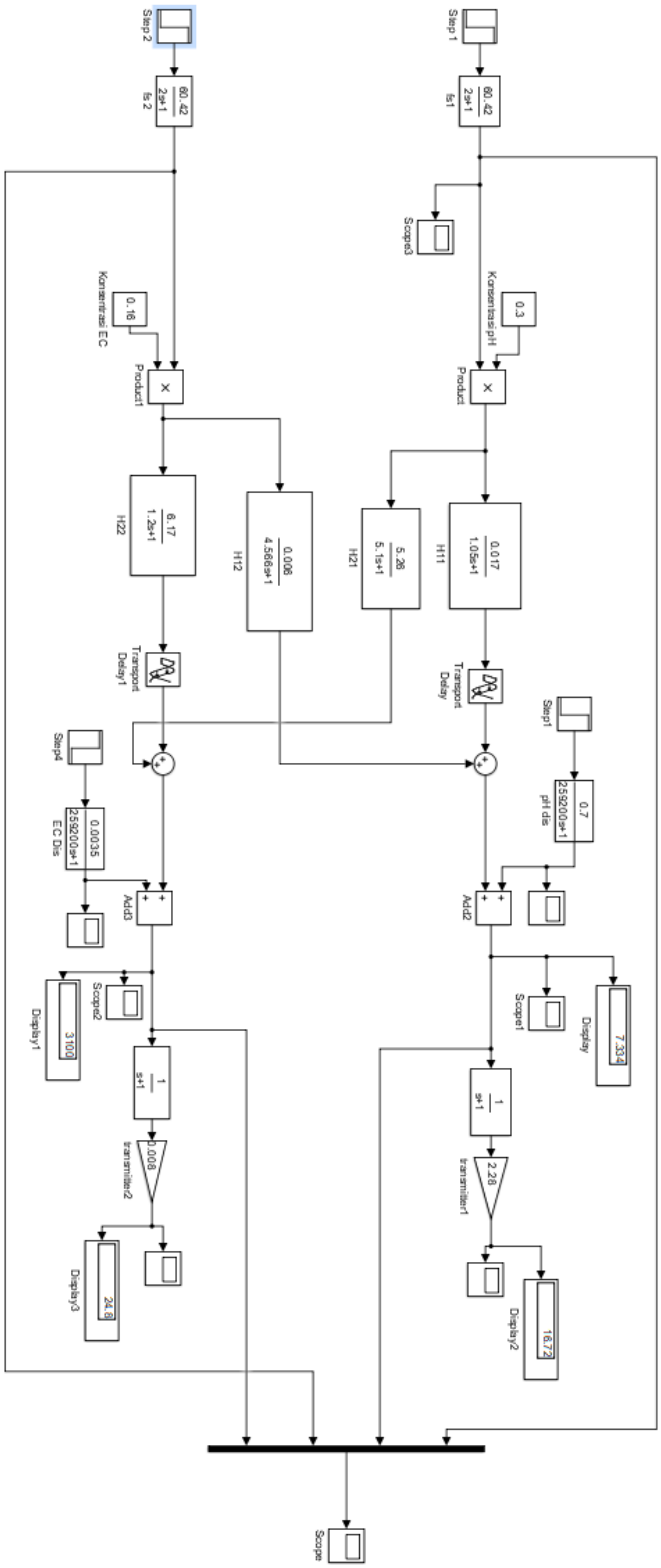


Gambar D.1 Grafik perbandingan hasil *open loop* untuk pH

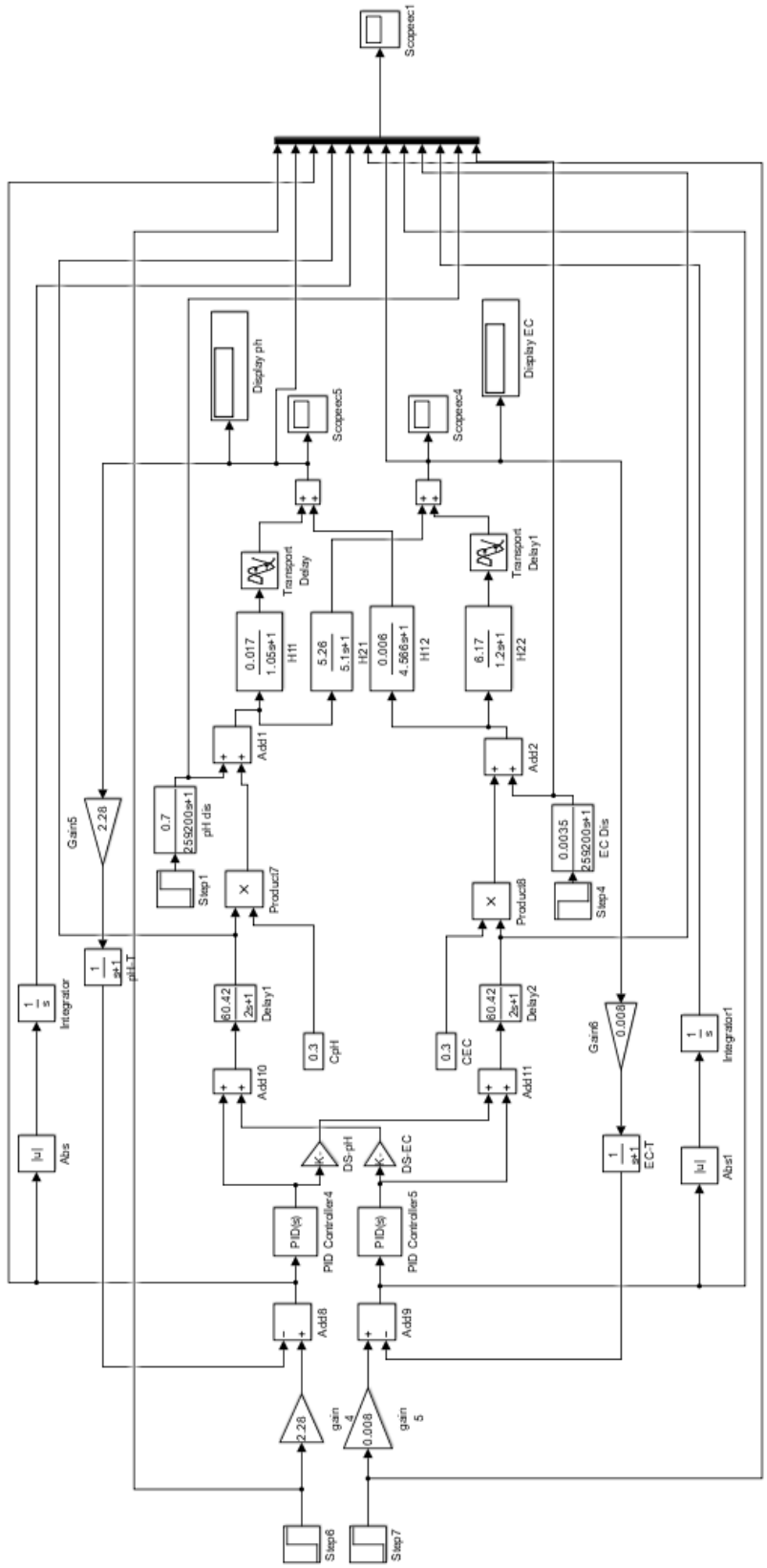


Gambar D.2 Grafik perbandingan hasil *open loop* untuk EC

E. Design simulasi pada Simulink



Gambar E.1 Simulasi *open loop*



Gambar E.2 Simulasi *close loop* dengan Kontroler PID

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis adalah Fairuz Meidiana Irbah Harahap dilahirkan di Purwokerto, 17 Mei 1998. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDI Bani Saleh I pada tahun 2010, SMPIT Albinaa Islamic Boarding School pada tahun 2013, SMAI Darussalam pada tahun 2016, dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FT-IRS di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis memiliki pengalaman program *intership* 3 bulan di PT Siemens Indonesia di divisi *Energy Management – Digital Grid (Software Solution).* Pada bulan Juni 2020 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH DAN *ELECTRIC CONDUCTIVITY (*EC) PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM* TECHNIQUE (NFT) DENGAN METODE PID *DIRECT SYNTHESIS TUNING".*** Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi melalui *email*: *meidiana.fairuz@gmail.com*

Halaman ini sengaja dikosongkan