TUGAS AKHIR - TF 181801

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *PH* DAN EC PADA SISTEM HIDROPONIK NUTRIENT FILM *TECHNIQUE* (*NFT*) DENGAN METODE *DECOUPLER* MENGGUNAKAN 2 X 2 MIMO KONTROL

KHOLIFAH NUR ANGGRAINI
NRP. 02311640000020

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 EC PADA SISTEM HIDROPONIK NUTRIENT FILM *TECHNIQUE* (*NFT*) DENGAN METODE *DECOUPLER* MENGGUNAKAN 2 X 2 MIMO KONTROL

KHOLIFAH NUR ANGGRAINI
NRP. 02311640000020

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

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT - **TF 181801**

DESIGN OF PH AND EC CONTROL SYSTEM ON NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) HYDROOPONIC SYSTEM WITH DECOUPLER METHOD USING 2 X 2 MIMO CONTROL

KHOLIFAH NUR ANGGRAINI
NRP. 02311640000020

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	: Kholifah Nur Anggraini
NRP	: 02311640000020
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 EC PADA SISTEM HIDROPONIK NUTRIENT FILM *TECHNIQUE* (*NFT*) DENGAN METODE *DECOUPLER* MENGGUNAKAN 2 X 2 MIMO KONTROL"** 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

6000

Kholifah Nur Anggraini

NRP. 02311640000020

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH DAN EC PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (*NFT*) DENGAN METODE *DECOUPLER* MENGGUNAKAN 2 X 2 MIMO KONTROL

Oleh:

Kholifah Nur Anggraini

NRP. 02311640000020

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 EC PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (*NFT*) DENGAN METODE *DECOUPLER* MENGGUNAKAN 2 X 2 MIMO KONTROL

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:

Kholifah Nur Anggraini
NRP. 02311640000020

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.rer.nat. Ir. Aulia M. T. Nasution, M.Sc. Surabaya/11/08/2020 (Penguji I)
4. Dr.rer.nat. Ruri Agung Wahyuono, S.T., M.T. ..... (Penguji II)

SURABAYA
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH DAN EC PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (*NFT*) DENGAN METODE *DECOUPLER* MENGGUNAKAN 2 X 2 MIMO KONTROL

Nama	**:**	**Kholifah Nur Anggraini**
NRP	**:**	**02311640000020**
Departemen	**:**	**Teknik Fisika FT-IRS ITS**
Dosen Pembimbing	**:**	**Hendra Cordova, S.T., M.T.**

ABSTRAK

Berkurangnya lahan khususnya di daerah perkotaan menyebabkan munculnya teknik pertanian baru seperti hidroponik. Dalam sistem hidroponik, diperlukan pengawasan yang ketat untuk mengatur kadar pH dan *electric conductivity (EC)* dalam air. Maka dari itu pada penelitian kali ini dilakukan sebuah peracangan sistem pengendalian pada sistem hidroponik *nutrient film technique* untuk mengontrol kadar pH dan EC pada tanaman hidroponik. Pengendalian yang dirancang menggunakan 2X2 MIMO *control* dengan metode *decoupler* dengan tipe kontroler PI dan PID. Simulasi perancangan dilakukan dengan s*imulink* pada *software* MATLAB R2019b. Adapun hasil yang diperoleh menunjukan bahwa sistem pengendali yang dibuat telah mampu untuk mengontrol kadar pH dan EC tetap pada *set point* yaitu pada nilai 7 untuk pH dan 1500-2000 µS /cm. Untuk sistem pengendali dengan kontroler PI didapatkan *output* pH sebesar 7 dan *output* EC sebesar 1496,4 µS /cm. Sedangkan untuk sistem pengendali dengan kontroler PID didapatkan *output* pH sebesar 7 dan *output* EC sebesar 1498.5 µS /cm

Kata Kunci: 2x2 MIMO *Control, Decoupler,* Hidroponik NFT

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF PH AND EC CONTROL SYSTEM ON NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) HYDROPONIC SYSTEM WITH DECOUPLER METHOD USING 2 X 2 MIMO CONTROL

Name	**:**	**Kholifah Nur Anggraini**
NRP	**:**	**02311640000020**
Department	**:**	**Engineering Physics FT-IRS ITS**
Supervisors	**:**	**Hendra Cordova, S.T., M.T.**

ABSTRACT

The decrease in land especially in urban areas has led to the emergence of new agricultural techniques such as hydroponics. In a hydroponic system, strict controlling is needed to regulate the pH level and electric conductivity (EC) in water. Therefore, in this study a control system was designed in the Nutrient Film Technique hydroponic system to control pH and EC levels in hydroponic plants. This system is designed using 2X2 MIMO control with the decoupler method and using the PI and PID controller types. The design simulation was done with Simulink on MATLAB *R2019b Software. The results show that the control system has been able to control the pH and EC levels remain at the set point, for pH remain at 7 and 1500-2000 µS / cm for EC. For the control system with the PI controller, pH output is 7 and EC output is 1496.4 µS / cm. While for PID controller, pH output is 7 and EC output is 1498.5 µS / cm*

Keywords: 2x2 MIMO Control, Decoupler, NFT Hydroponics

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah – Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian tugas akhir yang berjudul :

"**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH DAN EC PADA SISTEM HIDROPONIK *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (*NFT*) DENGAN METODE *DECOUPLER* MENGGUNAKAN 2 X 2 MIMO KONTROL**"

Pada kesempatan ini, penulis juga menyampaikan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada seluruh pihak yang turut membantu dalam pelaksanaan penelitian sampai penyelesaian laporan tugas akhir ini, yaitu:

1. Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Hendra Cordova, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan kepada penulis.
3. Ir. Zulkifli, M.Sc. selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan kepada penulis.
4. Keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan selama penulis melaksanakan penelitian tugas akhir.
5. Teman-teman yang menemani dan menolong penulis dalam pelaksanaan penelitian dan pengerjaan laporan tugas akhir.
6. Dan semua pihak yang telah turut membantu dalam kegiatan penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Harapan penulis adalah laporan ini dapat bermanfaat untuk pembaca, dapat memberikan informasi serta pengetahuan khususnya pada bidang instrumentasi. Terakhir, penulis menyampaikan permohonan maaf apabila dalam penyusunan laporan ini masih terdapat ketidaksempurnaan baik dalam segi penulisan maupun isi laporan.

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 Hidroponik.....5
2.2 Derajat Keasaman (pH) 6
2.3 Konduktivitas Elektrolit 6
2.4 PID *Controller*.....7
2.5 MIMO *Control System* 8
2.6 *Decoupler Control System*.....9

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 13
3.1 Skema *Plant* Hidroponik NFT 13
3.2 Pemodelan Matematis 15
3.3 Proses *Open Loop* 18
3.4 *Tuning* dengan PID Zieger Nichols 1 19
3.5 Uji *Close Loop* 20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 21
4.1 Hasil Uji *Open Loop* 21
4.2 Hasil Perhitungan PID *Controller* 24
4.3 Hasil Uji *Close Loop* 24
KESIMPULAN 35
4.4 Kesimpulan 35
4.5 Saran 35
DAFTAR PUSTAKA 37
LAMPIRAN 39
BIODATA PENULIS 47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Blok diagram MIMO *control system* 8
Gambar 2.2 Blok diagram MIMO c*ontrol system* dengan *decoupler* 9
Gambar 2.3 Blok diagram proses pada MIMO *control system* 9
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian 13
Gambar 3.2 Skema *plant* hidroponik NFT 14
Gambar 3.3 Diagram blok uji *open loop* 19
Gambar 3.4 Diagram blok uji *close loop*..... 20
Gambar 4.1 Simulasi uji *open loop* untuk pH 21
Gambar 4.2 Simulasi uji *open loop* untuk EC 21
Gambar 4.3 Perbandingan respon pH saat *input* foi2 tetap dan foi2 diubah..... 22
Gambar 4.4 Perbandingan respon EC saat *input* foi1 tetap dan foi1 diubah..... 22
Gambar 4.5 Hasil simulasi *open loop* dengan *decoupler* untuk pH 23
Gambar 4.6 Hasil simulasi *open loop* dengan *decoupler* untuk EC..... 23
Gambar 4.7 Hasil simulasi *close loop* dengan *decoupler* untuk pH..... 25
Gambar 4.8 Hasil simulasi *close loop* dengan *decoupler* untuk EC 25
Gambar 4.9 Simulasi uji c*lose loop* pH dengan *controller* PI-PI..... 26
Gambar 4.10 Simulasi uji *close loop* EC dengan *controller* PI-PI..... 26
Gambar 4.11 Simulasi uji c*loseloop* pH dengan *controller* PID-PID 27
Gambar 4.12 Simulasi uji c*loseloop* EC dengan *controller* PID-PID..... 27
Gambar 4.13 Simulasi *closeloop* perubahan *set point* pH dengan *controller* PI-PI 29
Gambar 4.14 Simulasi *closeloop* perubahan *set point* EC dengan kontroler PI-PI 29
Gambar 4.15 Simulasi *closeloop* perubahan *set point* pH dengan kontroler PID-PID 30
Gambar 4.16 Simulasi *closeloop* perubahan *set point* EC dengan kontroler PID-PID 30
Gambar 4.17 Respon pH uji *disturbance* 31
Gambar 4.18 Respon EC uji *disturbance* 32
Gambar 4.19 Respon pH saat uji *disturbance* 32

Gambar 4.20 Respon EC saat uji *disturbance* 33

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tuning Rules Zieger Nichols 1 20
Tabel 4.1 Parameter *Control* untuk pH 24
Tabel 4.2 Parameter *Control* untuk EC 24
Tabel 4.3 Karakteristik Respon Sistem dengan Kontroler PI-PI..... 28
Tabel 4.4 Karakteristik Respon Sistem dengan Kontroler PID-PID..... 28
Tabel 4.5 Karakteristik Respon Sistem dengan Kontroler PI-PI..... 33
Tabel 4.6 Karakteristik Respon Sistem dengan Kontroler PID-PID..... 33

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era sekarang lahan pertanian sudah menurun di Indonesia terutama di kota-kota besar. Hal ini dikarenakan terjadinya konversi lahan pertanian menjadi industri dan tujuan pemukiman akibat fenomena ekonomi dan sosial, keterbatasan sumber daya lahan, pertumbuhan populasi dan pertumbuhan ekonomi (Crisnapati dkk., 2017). Berkurangnya lahan khususnya di daerah perkotaan menyebabkan munculnya teknik pertanian baru yang memungkinkan memindahkan pertanian konvensional ke perkotaan, salah satunya yaitu teknik pertanian dengan hidroponik. Budidaya tanaman dengan hidroponik dilakukan dengan memanfaatkan air dan tidak menggunakan tanah sebagai media tanamnya. Sistem ini lebih menekankan pada pemenuhan kebutuhan nutrisi bagi tanaman. Dalam sistem pertanian hidroponik, air akan digunakan secara terus-menerus dan hanya berkurang karena penguapan oleh matahari atau oleh proses fotosintesis tanaman (Yolanda dkk., 2017). Sistem ini jauh lebih hemat jika dibandingkan dengan pertanian konvensional. Terdapat beberapa jenis teknik hidroponik yang dianggap mampu mengatasi masalah lahan di perkotaan, salah satunya adalah *nutrient film technique (NFT)* yang disusun dengan kemiringan tertentu (Jaimes-Ponce dkk., 2013).

Dalam sistem hidroponik, diperlukan pengawasan yang ketat untuk mengatur kadar pH dan *electric conductivity* dalam air . Kadar pH pada larutan nutrisi hidroponik berpengaruh pada penyerapan nutrisi tanaman. Tingkat pH yang ideal pada tanaman biasanya berkisar antara nilai 5-7 (Sharma dkk., 2018). Konduktivitas elektrolit atau *electric conductivity* (EC) pada tanaman juga penting dikontrol karena mempengaruhi keberlangsungan hidup tanaman. Semakin tinggi nilai konduktifitas elektrolit tanaman akan menyebabkan akar tanaman rusak dan tidak dapat menyerap nutrisi dengan baik, sedangkan apabila nilainya terlalu rendah akan menyebabkan defisiensi pada tanaman.

Kurangnya kemampuan petani dalam mengolah pertanian dengan sistem hidroponik menyebabkan pengawasan kadar pH dan EC masih dilakukan secara konvensional sehingga kurang efektif dan efisien dari segi tenaga dan waktu,

sehingga pada saat ini banyak dikembangkan sistem pengendalian otomatis untuk menjaga nilai pH dan EC pada tanaman hidroponik. Pada penelitian terakhir yang dilakukan, telah dikembangkan sistem pengendalian pH dan EC dengan menggunakan PID *controller*. Akan tetapi pengendalian pH dan EC menggunakan PID *controller* masih memiliki beberapa kekurangan seperti sulitnya menentukan parameter kontrol dan hasil yang belum bisa mencapai *set point*. Hal ini disebabkan nilai pH dan EC pada tanaman merupakan dua buah variabel yang saling berkaitan, sehingga apabila terjadi perubahan pada satu variabel akan merubah nilai pada variabel yang lain. Maka dari itu pada penelitian kali ini diusulkan simulasi perancangan pengendalian untuk pH dan EC pada tanaman dengan metode *decoupler* menggunakan 2x2 MIMO control. Penambahan *decopler* digunakan untuk memisahkan pengaruh dari interaksi pH dan EC sehingga diharapkan mendapat hasil yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka didapatkan rumusan masalah yang akan diselesaikan yaitu bagaimana merancang sistem pengendalian pH dan EC pada sistem hidroponik *nutrient film teqhnique* (NFT) dengan metode *decoupler* menggunakan 2x2 MIMO kontrol.

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah tersebut didapatkan tujuan penelitian adalah memperoleh hasil dari perancangan sistem pengendalian pH dan EC pada sistem hidroponik *nutrient film teqhnique* (NFT) dengan metode *decoupler* menggunakan 2x2 MIMO kontrol.

1.4 Lingkup Kajian

Lingkup kajian yang yang ditinjau pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a) Jenis hidroponik yang digunakan ialah *nutrient film technique* (NFT)
b) Simulasi dilakukan dengan *software* MATLAB R2019b.
c) Tanaman yang diujicobakan adalah tanaman pakcoy
d) Variabel yang dibahas dan dikontrol hanya pH dan EC

e) Tipe *controller* yang digunakan adalah PI dan PID dengan *tuning* Zieger Nichols 1.

1.5 Sistematika Laporan

Adapun sitematika laporan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

a) BAB I Pendahuluan

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

b) BAB II Teori Penunjang

Bab II ini membahas teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu meliputi PLTN HTGR, kemudian mengenai steam generator, lalu juga teori mengenai heat exchanger dan yang terakhir mengenai salah satu permasalahan yang diangkat yaitu mengenai fouling dan pemodelannya.

c) BAB III Metodologi

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 Hidroponik

Hidroponik merupakan salah satu metode bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai tempat menanam tanaman. Perbedaan bercocok tanam dengan tanah dan hidroponik yaitu, apabila dengan tanah, zat-zat makanan diperoleh tanaman dari dalam tanah. Sedangkan hidroponik, makanan diperoleh tanaman dari dalam air yang mengandung zat-zat anorganik. Sistem hidroponik dapat bersifat pasif dan aktif, terdapat perbedaan antara kedua sistem tersebut yaitu sistem aktif memiliki beberapa jenis perangkat otomatis, seperti sensor atau aktuator sedangkan untuk sistem pasif sidak memilikinya. Semua sistem hidroponik pada umumnya sama dalam beberapa hal seperti kebutuhan akan sumber cahaya, pasokan air, dan oksigen untuk respirasi sel dan nutrisi. Terdapat beberapa jenis sistem hidroponik yang berbeda, contohnya adalah *deep water culture*, *aeroponics*, *sistem drip*, dan *system nutrient film technique* (Mohammed & Sookoo, 2016).

Pada penelitian kali ini hidroponik yang digunakan ialah hidroponik dengan menggunakan sistem *nutrient film technique* atau NFT. NFT adalah sistem hidroponik dimana tanaman ditanam pada pipa-pipa yang memanjang yang memiliki kemiringan dengan sudut tertentu (Sharma dkk., 2018). Dalam pipa-pipa tersebut akan dialirkan larutan nutrisi untuk tumbuh kembang tanaman. Keuntungan dari sistem ini, ketika aliran listrik terputus maka cairan nutrisi masih tersisa di dalam sistem. Konstruksi pipa dapat dibuat bertingkat sehingga cairan nutrisi di pompa melalui pipa paling atas kemudian mengalir sampai pipa paling bawah, dan langsung ke wadah penampungan cairan pupuk. Sistem ini banyak disukai karena akar tanaman 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 (Jaimes-Ponce dkk., 2013).

2.2 Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH merupakan nilai yang mewakili berapa banyak ion hidrogen yang ada dalam volume tertentu suatu zat. Lebih akuratnya nilai pH diberikan oleh logaritma negatif dari aktivitas ion hidrogen korelatif (H +) dalam suatu larutan (Mahaidayu dkk., 2017).

$$pH = -\log_{10} (H^{+}) \tag{2.1}$$

Kadar pH dari larutan nutrisi sangat penting dan harus dijaga dengan baik untuk kinerja tanaman yang optimal. Hal ini karena perubahan pH dapat menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi dan tanaman akan menunjukkan beberapa defisiensi atau gejala toksisitas. Rentang pH optimal larutan nutrisi untuk pengembangan tanaman adalah 5,5 hingga 6,5. Akan tetapi, tanaman yg ditanam pada sistem hidroponik ini adalah pakcoy sehingga rentang pH optimalnya berkisar pada nilai 5,5-7 (Sharma dkk., 2018). Nilai pH pada tanaman akan berpengaruh pada ketersediaan mineral yang diperlukan tanaman. Akan tetapi pada realitanya, kadar pH pada tanaman mudah berubah, hal ini dikarenakan ketidaksetimbangan antara anion dan kation yang diserap akar tanaman dan juga besarnya konsentrasi larutan nutrisi yang diberikan di tangki pencampuran.

Untuk mengukur kadar pH pada penelitian ini digunakan sebuah sensor pH. Sensor pH adalah sensor yang dapat mengukur derajat keasaman (pH) pada suatu larutan (Kulkarni, 2017). Prinsip kerja sensor pH ini terletak pada elektrode referensi dan elektrode kaca yang memiliki ujung berbentuk bulat (*bulb*) yang berfungsi sebagai tempat terjadinya pertukaran ion positif (H+), pertukaran ion menyebabkan adanya beda potensial antara dua elektrode sehingga pembacaan potensiometer akan menghasilkan positif atau negatif (Domingues dkk., 2012).

2.3 Konduktivitas Elektrolit

Konduktivitas elektrolit adalah indeks konsentrasi garam dan indikator konsentrasi elektrolit pada larutan (Rodriguez & Loparo, 2004). EC pada larutan nutrisi berhubungan erat dengan banyaknya ion 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. Kisaran EC ideal untuk hidroponik untuk sebagian besar tanaman adalah antara 1500 dan 2500 µS /cm, Adapun kadar EC yang ideal untuk tanaman pakcoy adalah 1500 dan 2000 µS /cm (Sharma dkk, 2018). EC yang lebih tinggi akan mencegah penyerapan nutrisi karena tekanan osmotik yang lebih rendah sehingga sangat mempengaruhi kesehatan dan hasil tanaman. Sedangkan apabila nilainya terlalu rendah maka akan mengakibatkan defisiensi tanaman.

2.4 PID *Controller*

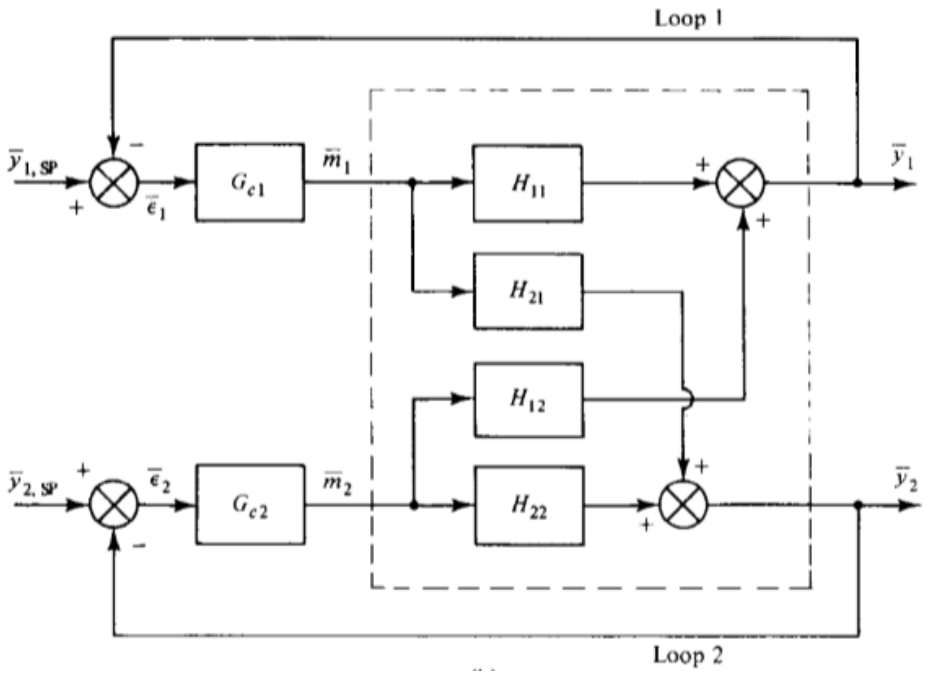
Kontroler Proporsional-Integral-Derivatif (PID *controller*) adalah kontroler yang menggunakan mekanisme umpan balik dan banyak digunakan dalam sistem kontrol industri (Astrom & Wittenmark, 1989). Pengendali PID menghitung nilai kesalahan sebagai perbedaan antara variabel proses yang diukur dan *set point* yang diinginkan. Pengontrol berusaha meminimalisasi kesalahan dengan menyesuaikan proses melalui penggunaan variabel yang dimanipulasi. Algoritma pengontrol PID melibatkan tiga parameter konstan yang terpisah, yaitu: nilai-nilai proporsional, integral dan derivatif, yang dilambangkan dengan notasi P, I, dan D. Adapun perumusan pengendali PID dapat dituliskan sebagai persamaan (2.2) berikut:

$$Gc(s) = Kp(1 + \frac{1}{Tis} + Tds) \tag{2.2}$$

Kp merupakan kontrol proporsional yang berlaku sebagai *gain* (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Kemudian kontrol *integrative* biasanya digunakan untuk memperbaiki sekaligus menghilangkan respon *steady-state*, namun pemilihan variabel Ki yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan Ki yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan *output* semakin berosilasi. Kemudian terakhir merupakan kontrol derivatif yang digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi *error* yang akan terjadi (Sutanto & Tanudjaja, 2017).

2.5 MIMO *Control System*

Multi input multi output atau biasa disebut MIMO merupakan jenis kontrol sistem yang memiliki 2 atau lebih variabel yang dikontrol dan membutuhkan 2 atau lebih variabel yang dimanipulasi. Dalam sistem MIMO apabila kita mengubah *input* pada salah satu *loop* maka tidak hanya merubah *output loop* 1 tetapi juga *loop* 2. Hal ini dikarenakan adanya interaksi pada kedua *loop* tersebut.



Gambar 2.1 Blok diagram MIMO *control system* (Stephanopoulos, 1983)

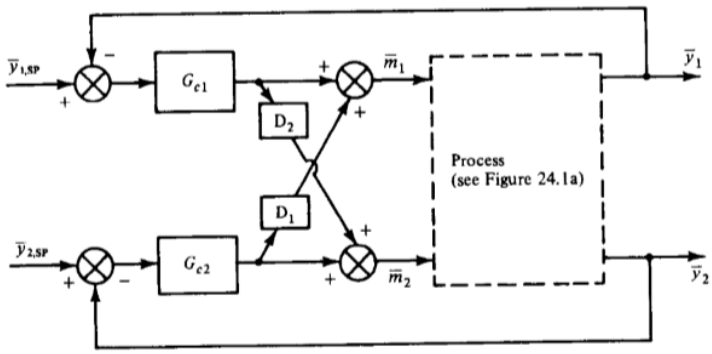
Blok Gc1 dan Gc2 merupakan pengendali yang digunakan untuk mengontrol sistem. Kemudian blok H11, H21,H12, dan H22 merupakan blok *plant* pada sistem MIMO, dimana blok H21 dan H12 merupakan hasil interaksi dari variable proses 1 dan variable proses 2. Hal ini dapat dilihat pada buku karangan Stephanopoulos yang berjudul "Chemical Process Control An Introduction to Theory and Practice Problem Sotving in Chemical Engineering with Numerical Methods Fluid Mechanics for Chemical Engineering". Pada gambar 2.1 di atas interaksi antara *input* dan *output* pada sistem dapat dituliskan seperti persamaan (2.3) dan persamaan (2.4) sebagai berikut:

$$y1(s) = H11(S)m1(s) + H12(s)m2(s) \quad (2.3)$$

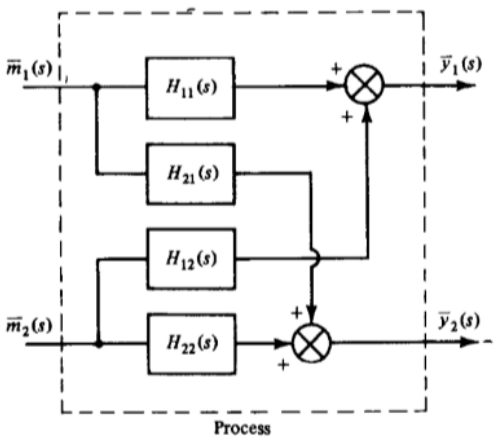
$$y2(s) = H21(s)m1(s) + H22(s)m2(s) \tag{2.4}$$

2.6 *Decoupler Control System*

Adanya interaksi antara *input* dan *output* dari sistem MIMO yang diwakili oleh matriks G(s) merupakan sebuah bentuk *coupling*. Dengan kata lain *coupling* merupakan interaksi antara variabel yang dikendalikan (PV) dan variabel yang memanipulasi (MV). Dalam praktiknya, hasil dari *coupling* ini akan menyebabkan sistem sulit untuk untuk dikontrol. Perubahan *manipulated variable* kesatu akan memiliki pengaruh untuk *process variable* yang kedua, begitupun sebaliknya (Stephanopoulos, 1983). Maka dari itu perlu digunakan *decopling control* untuk menghilangkan efek yang dihasilkan dari interaksi tersebut.



Gambar 2.2 Blok diagram MIMO *control system* dengan *decoupler* (Stephanopoulos, 1983)



Gambar 2.3 Blok diagram proses pada MIMO *control system* (Stephanopoulos,1983)

Terdapat dua jenis *decoupler* yang dapat digunakan yaitu *decoupler dynamic* dan *decoupler static*. *Decoupler dynamic* dapat ditulisakan dengan persamaan (2.5) dan persamaan (2.6) berikut (StepHanopoulos, 1983) :

$$D1(s) = -\frac{H12}{H11} \tag{2.5}$$

$$D2(s) = -\frac{H21}{H22} \tag{2.6}$$

sedangkan untuk *decoupler static* hanya menggunakan bagian *gain* dari fungsi transfer proses (Vhora & Patel, 2016). Setelah sistem diberi *decoupler* maka persamaan untuk *loop* sistem tersebut dapat ditulis seperti perssamaan (2.7) dan persamaan (2.8) berikut (Stephanopoulos, 1983) :

$$y1 = \frac{Gc1[H11 - \frac{H12H21}{H22}]}{1 + Gc1[H11 - \frac{H12H21}{H22}]} y1, sp \tag{2.7}$$

$$y2 = \frac{Gc2[H22 - \frac{H12H21}{H11}]}{1 + Gc2[H22 - \frac{H12H21}{H11}]} y2, sp \tag{2.8}$$

Keterangan:

Y1 : *output loop* 1

Gc1 : *controller* untuk *loop* 1

Y1, sp : *set point loop* 1

Y2 : *output loop* 2

Gc2 : *controller* untuk *loop* 2

Y2, sp : *set point loop* 2

H11, H12, H21, H22 : *process*

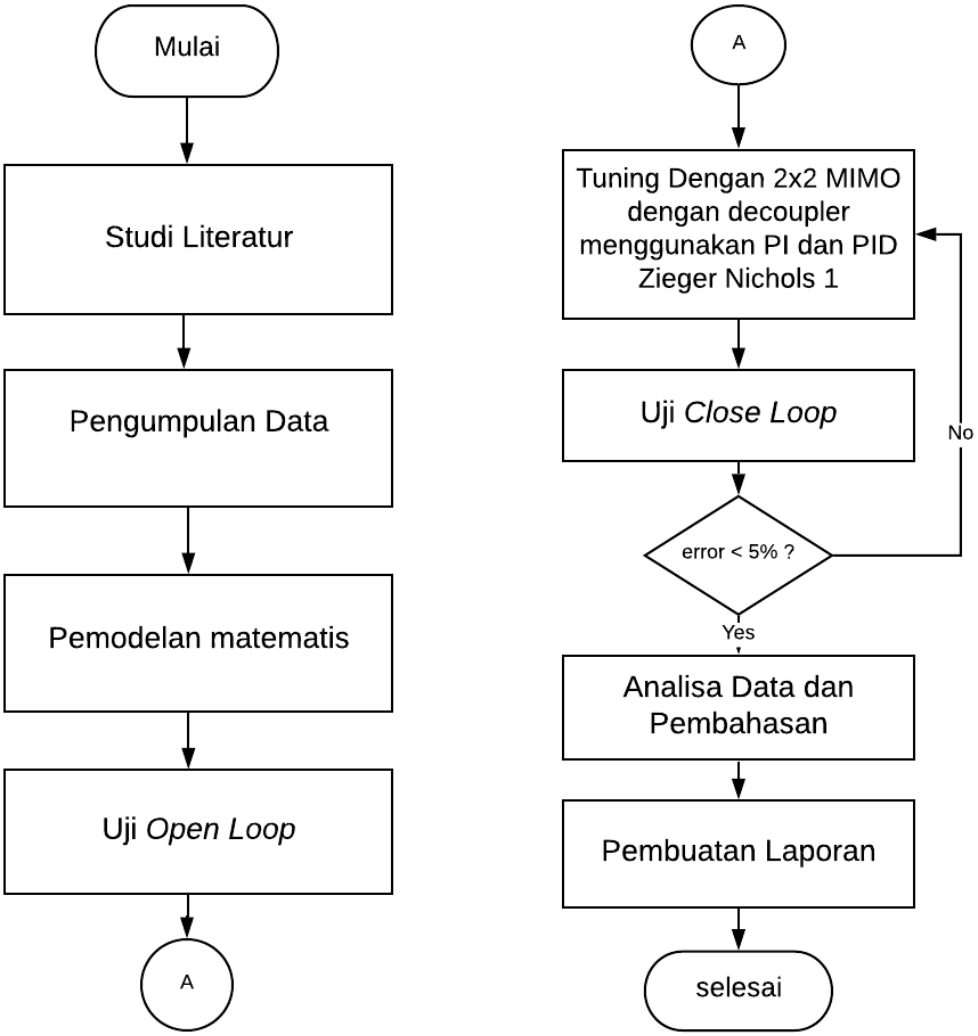
Dari persamaan (2.7) dan (2.8) dimana sistem sudah diberi *decoupler*, maka untuk melakukan perhitungan *output* y1 dan y2 tanpa adanya efek hasil interaksi kedua

variabel proses sudah dapat dilakukan. Hal ini juga memudahkan perhitungan karena sistem seolah-olah terpecah menjadi sistem *single input single output* (SISO).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

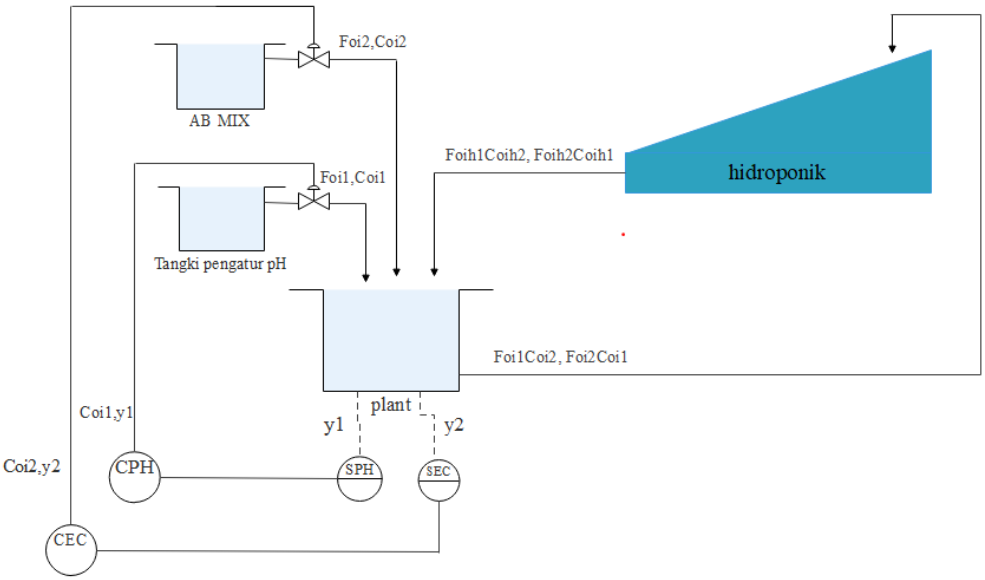
Metodologi pada penelitian kali ini dapat dijabarkan dalam *flowchart* seperti berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Skema *Plant* Hidroponik NFT

Adapun model *plant* yang digunakan pada penelitian tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Skema *plant* hidroponik NFT

Pada gambar 3.2 diatas menunjukan *plant* yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini, dengan keterangan sebagai berikut:

Foi1, Coi1	= *input* pH (ml/s, %)
Foi2, Coi2	= *input* AB *mix* (ml/s, %)
y1	= *output* pH
y2	= *output* EC (µS /cm)
Coi1, y1	= kontrol pH
Coi2, y2	= kontrol AB *mix*
Foih1, Coih1, Foih2, Coih2	= *input* dari hidroponik (ml/s, %)

Komponen yang digunakan untuk membuat *plant* hidroponik terdiri dari tiga tangki, sebuah pompa, sensor pH, dan sensor EC. Tangki AB *mix* berisi larutan yang digunakan sebagai pengatur kadar nutrisi pada tanaman, kemudian tangki pH berisi larutan yang digunakan sebagai pengatur kadar pH yang terlarut pada tanaman. Kedua larutan pada tangki tersebut nantinya akan dimasukan ke dalam tangki *plant* yang berisi air untuk selanjutnya dialirkan pada tanaman hidroponik. Kemudian untuk data yang digunakan merupakan data dari tugas akhir sebelumnya berupa data hasil eksperimen seperti *flow*, konsentrasi larutan nutrisi, nilai pH dan EC yang terukur oleh sensor, dan lain seba*gain*ya. Untuk data nilai pH dan EC dapat dilihat pada lampiran A. Seperti pada gambar 3.2 di atas untuk mengendalikan pH,

maka sensor SpH akan mengukur kadar pH pada tangka pencampuran kemudian mengirimkankan signal ke CpH yang merupakan kontroler pada sistem. Ketika nilai pH pada tangka pencampuran makan CpH akan memberikan signal ke aktuator yaitu *valve* keluaran tangka pengatur pH sehingga mengatur buka tutup *valve* yang mengalirkan konsentrasi dan *flow* untuk mengatur kadar pH pada tangka pencampuran. Hal serupa juga berlaku untuk mengendalikan EC.

3.2 Pemodelan Matematis

Dalam penelitian kali ini perlu dilakukan pemodelan matematis seperti pemodelan *plant*, dan pemodelan untuk *decoupler*.

3.2.1 Pemodelan *Plant* dan *Disturbance*

Terdapat 4 *plant* pada penelitian kali ini yaitu *plant* pH, *plant* EC, *plant* pH-EC (pengaruh pH terhadap EC) dan *plant* EC-pH (pengaruh EC terhadap pH). Penentuan diambilnya 4 data *plant* tersebut didasari oleh prinsip kerja dari MIMO *control* itu sendiri, yang mana membutuhkan empat data yang saling berkaitan antara *input* dan *output* pada sistem yang digunakan, dari empat data yang dibutuhkan dilakukan pemodelan *plant* untuk mendapatkan nilai fungsi alih dengan menggunakan metode *first order plus death time* (FOPDT) yang memiliki persamaan seba*gain* berikut (Bakerey dkk., 2016):

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

Dimana:

K - *Gain* proses : perubahan *ouput* akibat dari perubahan *input*

τ – *Time constant* : waktu yang diperlukan oleh proses untuk menyesuaikan dengan perubahan *input* (detik).

θ – *Delay* : waktu di mana *output* dari sistem mulai berubah dikurangi waktu di mana *step input* berubah (detik)

Dari persamaan di atas, sesuai dengan gambar 2.1 didapatkan pemodelan untuk keempat *plant* H11, H12, H21, dan H22 seperti pada persamaan (3.2) sampai dengan persamaan (3.5) berikut :

- *Plant* pH (H11)

$$G1(s) = \frac{0{,}017}{1{,}05s + 1} e^{-6{,}15s} \tag{3.2}$$

- *Plant* EC (H22)

$$G2(s) = \frac{6{,}17}{1{,}2s + 1} e^{-12{,}3s} \tag{3.3}$$

- *Plant* pH – EC (H21)

$$G3(s) = \frac{5{,}26}{5{,}1s + 1} \tag{3.4}$$

- *Plant* EC – pH (H12)

$$G4(s) = \frac{0.006}{4{,}566s + 1} \tag{3.5}$$

Blok *plant* H11 sendiri merepresentasikan *plant* untuk kadar pH pada sistem, blok *plant* H22 merepresentasikan *plant* kadar EC, Adapun *plant* H21(pengaruh pH terhadap EC) dan *plant* H12(pengaruh EC terhadap pH) merupakan efek dari interaksi variabel pH dan EC pada tangka pencampuran, dimana pH akan ikut berubah apabila *input* untuk EC atau larutan AB *mix* diubah, dan sebaliknya EC akan ikut berubah apabila *input* untuk pH dari tangki pengatur pH juga diubah. Nilai *gain* untuk H11 didapatkan dari pembagian rentang pH sebesar 5-8 sebagai *output* dengan rentang *flow* sebesar 20-190 ml/s sebagai *input*. Untuk nilai *gain* H22 didapatkan dari pembagian rentang EC sebesar 1000-2000 µS /cm dengan rentang *flow* sebesar 332-494 ml/s. Adapun untuk H21 nilai *gain* di dapatkan dari pembagian nilai EC sebagai *output* dengan rentang nilai *flow input*an untuk pH yaitu sebesar 190 ml/s dan nilai *gain* H12 didapatkan dari pembagian rentang nilai pH sebagai *output* dengan rentang nilai *flow input*an untuk EC sebesar 494 ml/s.

Kemudian *time constant* yang berbeda-beda antara *plant* H11, H12, H21, dan H22 dipengaruhi atau disebabkan oleh *flow inlet* yang berbeda untuk tiap *plant*.

Selain dilakukan pemodelan *plant*, dilakukan juga pemodelan untuk *disturbance* yang mana merupakan *output* dari hidroponik. *Output* dari hidroponik ini sendiri dianggap sebagai *disturbance* karena dapat mempengaruhi nilai pH dan EC yang telah dikendalikan di tangki pencampuran. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan persamaan (3.1). Nilai *gain disturbance* ini didapatkan dengan membagi nilai *flow* kosentrasi keluaran hidroponik dengan kenaikan pH atau penurunan EC. Adapun nilai *gain* yang didapatkan sebesar 0.07 untuk *disturbance* pH dan 0.0035 untuk *disturbance* EC.

3.2.2 Pemodelan *Control Valve* dan *Transmitter*

Untuk melakukan simulasi perancangan sistem pengendalian pH dan EC kali ini perlu dilakukan pemodelan untuk *control valve*. Pemodelan *control valve* dapat dilakukan dengan mendapatkan nilai *gain* atau K untuk *control valve* tersebut. Persamaan *gain* atau K dapat dituliskan sebagai persamaan (3.6) berikut :

$$K = \frac{Span\ Output}{Span\ variabel\ terukur} \tag{3.6}$$

Dimana nilai variabel masukannya merupakan nilai arus sebesar 4-20 mA. Sedangkan variabel *output* pada penelitian tugas akhir kali ini merupakan nilai *flow* sebesar 966,6 ml/s. sehingga didapatkan nilai K sebagai persamaan (3.7) berikut :

$$K = \frac{966{,}66 - 0}{20 - 4} = \frac{966{,}6}{16} = 60{,}42 \tag{3.7}$$

Pada penelitian ini digunakan *control valve* yang memiliki nilai *time constant* 2 detik sehingga apabila dilakukan pemodelan dengan metode FOPDT seperti pada persamaan (3.1) akan didapatkan hasil seperti persamaan (3.8) berikut:

$$Gcv = \frac{60{,}42}{2s + 1} \tag{3.8}$$

Kemudian pemodelan *transmitter* juga dilakukan dengan nilai K untuk pH sebesar 2.28 yang mana didapatkan dari pembagian rentang signal mA sebesar 4-20 mA dengan rentang pH 0-7, sedangkan untuk EC didapatkan nilai K sebesar

0,008 dari hasil pembagian rentang sinyal mA sebesar 4-20 mA dan rentang EC sebesar 2000 µS /cm. Kedua *transmitter* yang digunakan mempunyai *time constant* 1 detik, sehingga dengan persamaan (3.1) hasil pemodelan *transmitter* dapat dituliskan seperti persamaan (3.9) dan persamaan (3.10) berikut :

- Pemodelan *transmitter* untuk pH

$$GSpH(s) = \frac{2{,}28}{s+1} \tag{3.9}$$

- Pemodelan *transmitter* untuk EC

$$GSEC(s) = \frac{0{,}008}{s+1} \tag{3.10}$$

3.2.3 Pemodelan *Decoupler*

Seperti yang diketahui bahwa variabel pH dan EC pada tanaman merupakan dua buah variabel yang saling berkaitan. Dimana apabila salah satu variabel mengalami perubahan nilai, maka variabel yang lain juga akan mengalaminya. Maka dari itu perlu dilakukan pemodelan *decoupler* untuk menghilangkan efek yang diakibatkan dari interaksi antara pH dan EC pada penelitian tugas akhir ini. Pemodelan *decopler* ini dapat dilakukan menggunakan persamaan (2.3) pada bab II sehingga didapatkan hasil D1 dan D2 sebagaimana persamaan (3.11) dan persamaan (3.12) berikut ini :

- *Decoupler static*

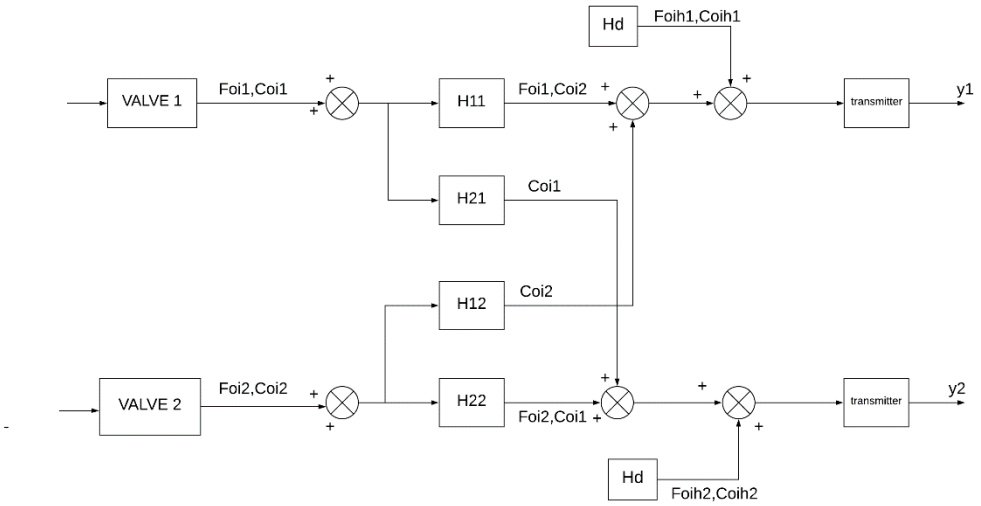
$$D1(s) = -\frac{0{,}006}{0{,}017} = -0{,}35 \tag{3.11}$$

$$D2(s) = -\frac{-5{,}26}{6{,}17} = -0{,}85 \tag{3.12}$$

3.3 Proses *Open Loop*

Pada penelitian ini uji *open loop* dilakukan dengan menggunakan *simulink* pada *software* MATLAB R2019b_win64. Uji *open loop* dilakukan untuk

mendapatkan nilai parameter *control* yang nantinya digunakan pada simulasi *close loop*. Berdasarkan gambar 2.1, maka diagram blok untuk simulasi uji *open loop* dapat dibuat sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram blok uji *open loop*

Berdasarkan gambar 3.3 di atas *input* untuk *valve* 1 dan *valve* 2 merupakan signal *step* berupa arus sebesar 4-20 mA. Adapun *valve* 1 sendiri merupakan *valve* keluaran tangki pengatur pH dan *valve* 2 merupakan *valve* keluaran tangki *AB mix* yang masing-masing terhubung dengan kontroler. Dari proses *open loop* yang dilakukan nantinya dapat diketahui apakah simulasi sistem yang dilakukan benar menerapkan prinsip MIMO 2x2 atau tidak. Untuk mengetahui simulasi sistem yang telah dibuat benar MIMO 2x2 dapat dilakukan pengujian dengan mengubah *input* Foi1 dan Foi2 pada simulasi di MATLAB R2019b, bila Foi1 diubah dan Foi2 dibuat tetap maka akan ada perubahan pada *output* yang dihasilkan y2, begitu juga sebaliknya, bila *input* Foi2 diubah dan Foi1 dibuat tetap maka akan terjadi perubahan *output* pada y1.

3.4 *Tuning* dengan PID Zieger Nichols 1

Pada penelitian kali ini, metode *tuning* yang digunakan adalah dengan Zieger Nichols 1 (Manju Kurien 1, Alka Prayagkar 2, 2014).

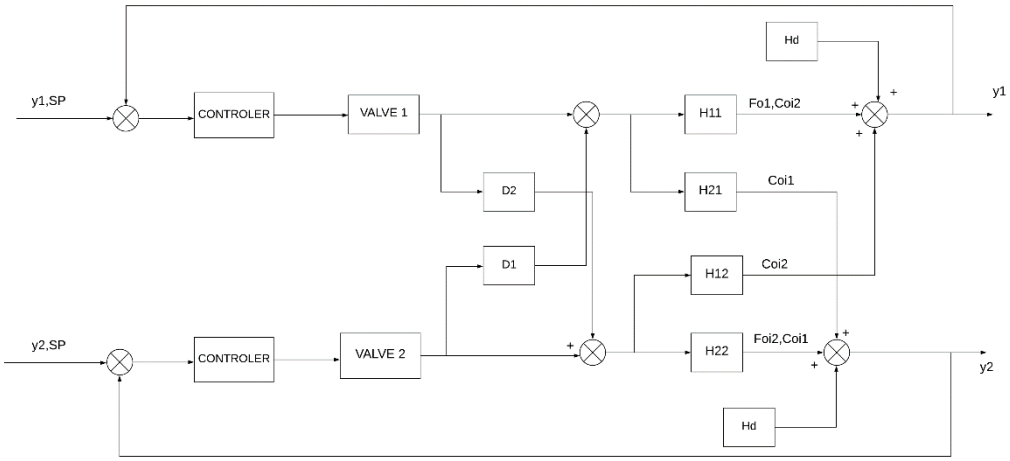
Tabel 3.1 *Tuning* Rules Zieger Nichols 1

Tipe kontroler	Kp	Ti	Td
P	T/L	∞	0
PI	0,9 T/L	L/0,3	0
PID	1,2 T/L	2L	0,5 L

Adapun tipe kontroler yang digunakan ialah PI dan PID *controller*. Kemudian nanti dilihat tipe kontroler mana yang paling sesuai.

3.5 Uji *Close Loop*

Berikut merupakan diagram blok untuk simulasi *close loop* pada penelitian kali ini :



Gambar 3.4 Diagram blok uji *close loop*

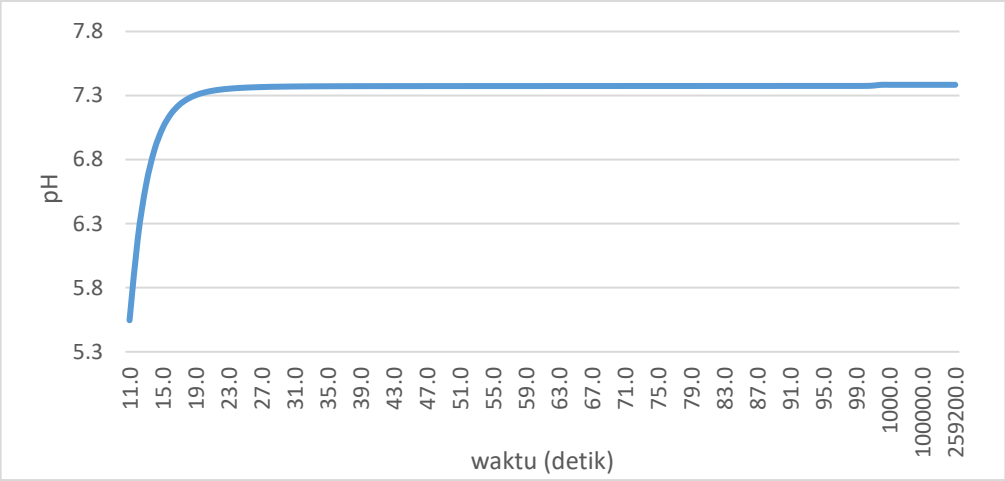
Pada penelitian ini uji *open loop* dilakukan dengan menggunakan *simulink* pada *software* MATLAB R2019b. Uji *close loop* dilakukan dengan memberikan umpan balik pada sistem yang nantinya akan menentukan apakah sistem yang telah dirancang mampu memberikan umpan balik yang baik pada *input* , bila pada 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.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

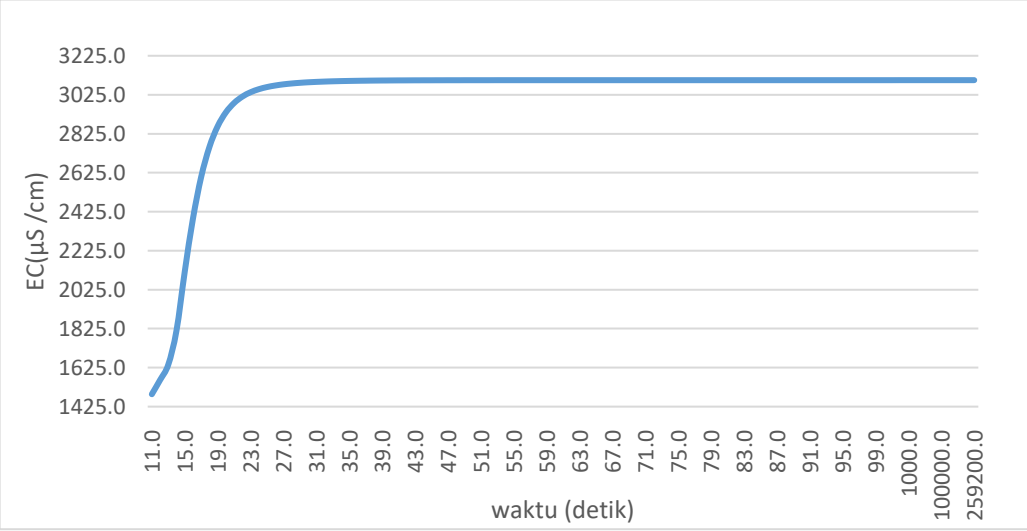
Adapun hasil yang didapatkan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

4.1 Hasil Uji *Open Loop*

Uji *open loop* pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan respon sistem berupa nilai *output* pH dan EC. Berikut merupakan hasil dari uji *open loop* yang telah dilakukan

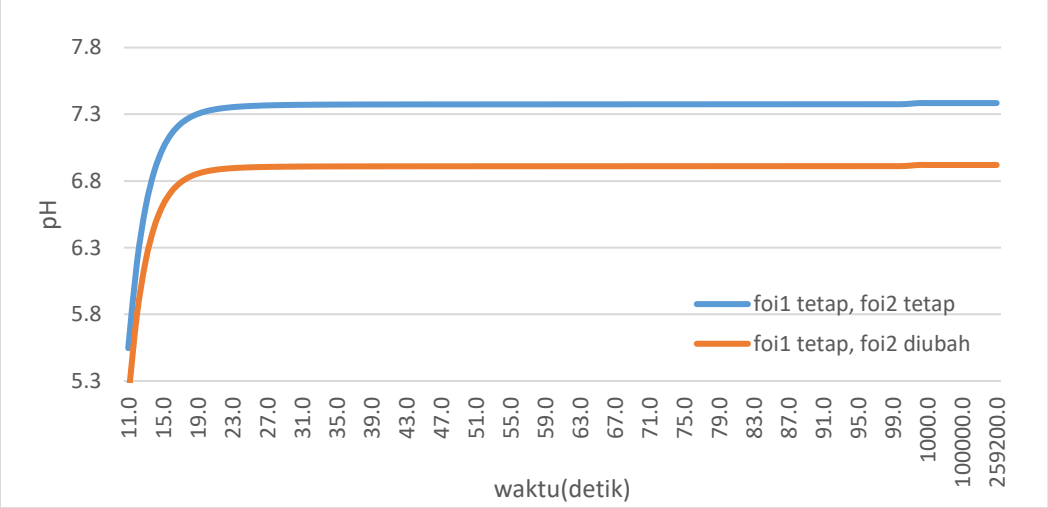


Gambar 4.1 Simulasi uji *open loop* untuk pH

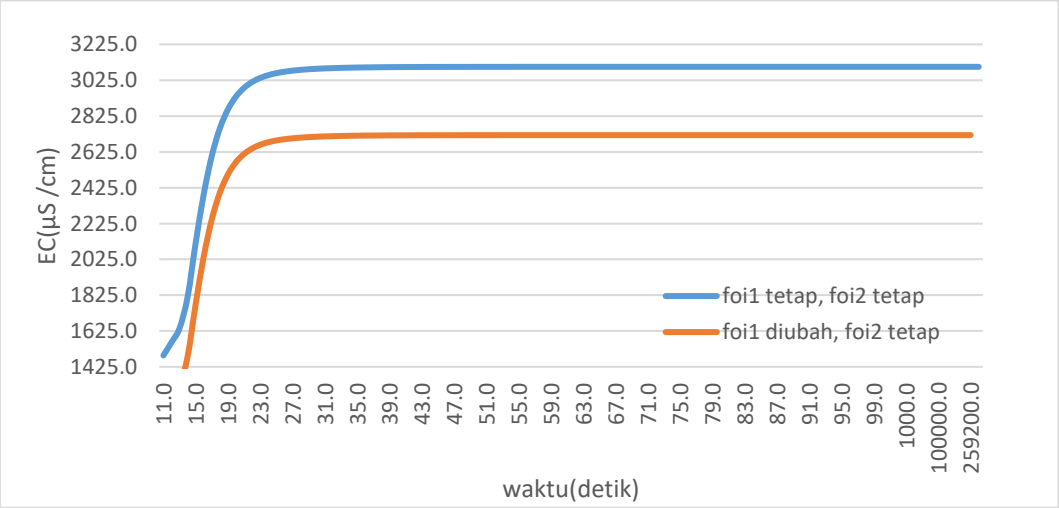


Gambar 4.2 Simulasi uji *open loop* untuk EC

Dari grafik respon yang diperoleh, dapat diketahui bahwa nilai pH yang didapatkan sebesar 7,34 dan nilai EC yang didapatkan sebesar 3050 µS /cm. Hasil uji *open loop* pada penelitian tugas akhir ini juga membuktikan bahwa sistem yang digunakan benar merupakan sistem MIMO 2x2. Hal ini dapat diketahui dengan mengubah nilai *input* Foi1 dan Foi2 pada simulasi MATLAB R2019b. Ketika nilai Foi1 diubah dan nilai Foi2 dibuat tetap, *output* yang dihasilkan y2 juga mengalami perubahan, begitu pula sebaliknya apabila Foi2 diubah dan Foi1 dibuat tetap maka nilai *output* y1 yang dihasilkan juga berubah, hal ini dapat dilihat pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 berikut

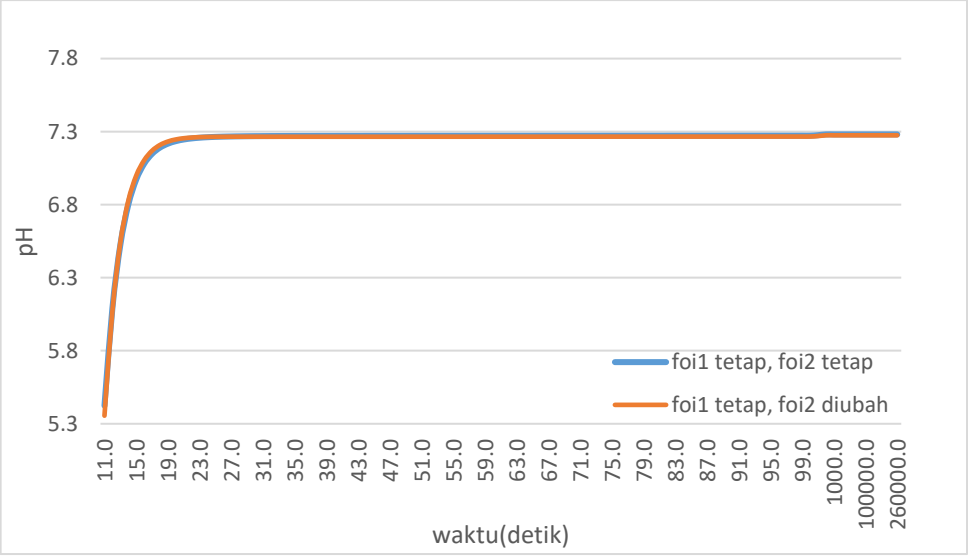


Gambar 4.3 Perbandingan respon pH saat *input* foi2 tetap dan foi2 diubah

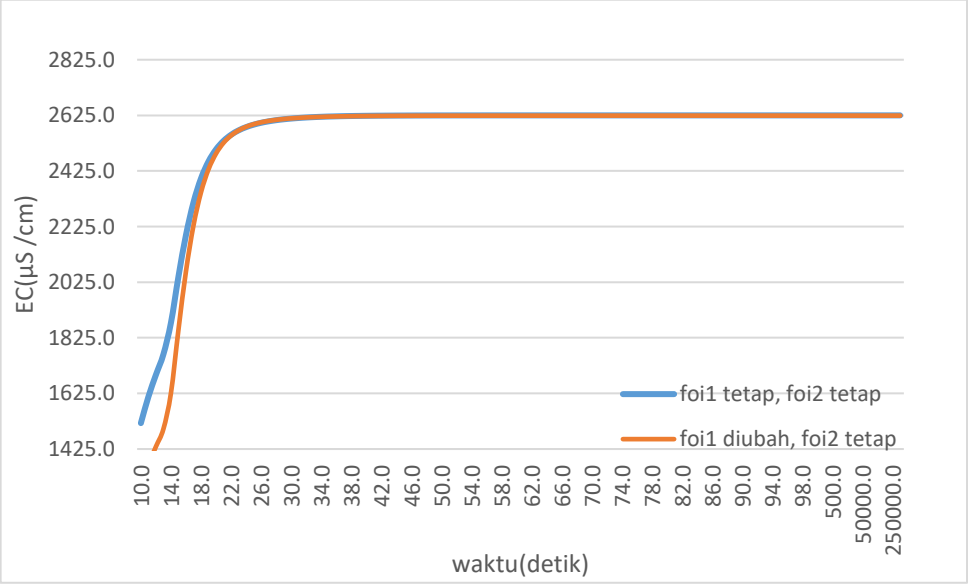


Gambar 4.4 Perbandingan respon EC saat *input* foi1 tetap dan foi1 diubah

Untuk menghilangkan adanya efek interaksi dari variabel pH dan EC pada sistem MIMO ini maka dilakukan simulasi *open loop* dengan menggunakan *decoupler*. Adapun hasil yang didapat menunjukan bahwa penggunaan *decoupler* berhasil meminimalisasi efek interaksi dari kedua variabel tersebut. Sehingga apabila foi1 diubah nilai y2 tidak berubah, begitupun apabila foi2 diubah nilai y1 tidak berubah.



Gambar 4.5 Hasil simulasi *open loop* dengan *decoupler* untuk pH



Gambar 4.6 Hasil simulasi *open loop* dengan *decoupler* untuk EC

4.2 Hasil Perhitungan PID *Controller*

Setelah mendapat hasil uji *open loop* yang berupa grafik kurva s, maka dapat dihitung nilai parameter *control* untuk pengendalinya. Berikut merupakan hasil perhitungan nilai parameter *control* dengan menggunakan metode *tuning* Zieger Nichols 1

Tabel 4.1 Parameter *Control* untuk pH

Type of Controller	Kp	Ki	Td
PI	0.74	0.06	0
PID	0.98	0,101	2.475

Tabel 4.2 Parameter *Control* untuk EC

Type of Controller	Kp	Ki	Td
PI	0.9	0,058	0
PID	1.2	0,09	2.55

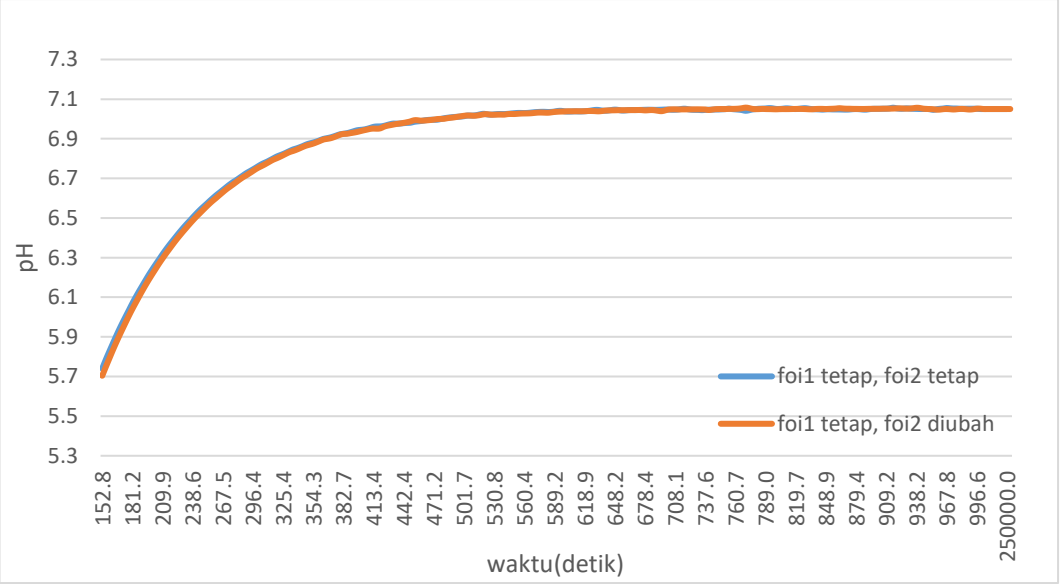
Setelah didapatkan nilai parameter kontrolnya maka dilakukan *tuning multivariable* dengan membagi nilai parameter *control* dengan rentang nilai 1,6-2 (Marlin, n.d.).

4.3 Hasil Uji *Close Loop*

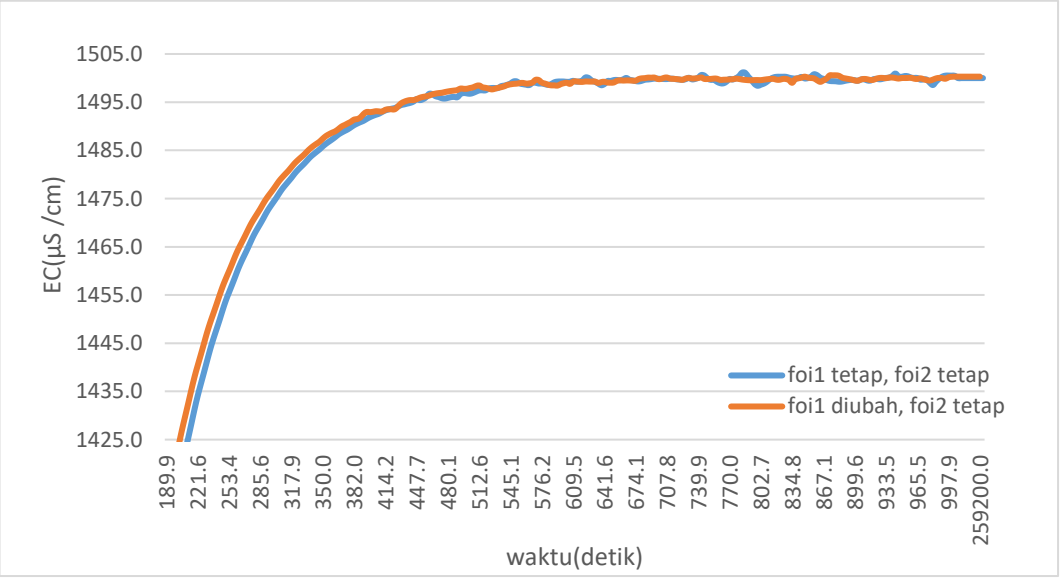
Setelah mendapat nilai *controller*nya, maka dapat dilakukan uji *close loop* dengan menambahkan blok *controller* dan blok *decoupler* pada simulasi MATLAB R2019b. Uji *closeloop* dapat dinyatakan benar apabila nilai *error steady state* yang diperoleh tidak lebih dari 5%. Maka dari itu respon pH saat keadaan tunak dengan *set point* 5,5 memiliki toleransi *error* ±0,25 dan saat *set pointnya* 7 maka toleransi *error* nya ±0,35. Adapun untuk *output* EC saat kondisi tunak memiliki toleransi *error* sebesar ±75 saat *set point* 1500 dan ±100 saat *set point* 2000. Pada uji *closeloop* ini juga dilakukan simulasi untuk membuktikan hilangnya keterkaitan pH dan EC akibat penggunakan *decoupler*. Berikut merupakan hasil yang didapatkan dari hasil uji *close loop* yang telah dilakukan.

4.3.1 Hasil Uji *Close Loop* dengan *Decoupler*

Uji *closeloop* dengan penggunakan *decoupler* ini dilakukan untuk memperlihatkan keterkaitan pH dan EC yang saling *independent* pada uji *closeloop* ini. Dengan penggunaan *decoupler* maka nilai *output* pH tidak mengalami perubahan saat EC dikendalikan, begitu pula sebaliknya. Berikut merupakan hasil simulasi yang didapatkan.



Gambar 4.7 Hasil simulasi *close loop* dengan *decoupler* untuk pH

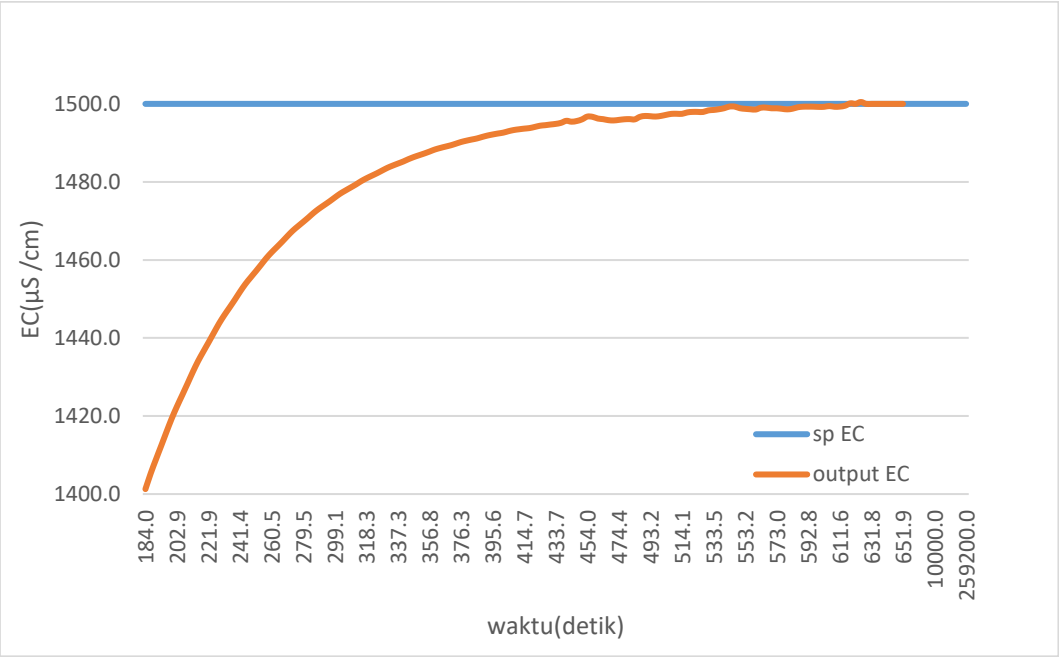


Gambar 4.8 Hasil simulasi *close loop* dengan *decoupler* untuk EC

4.3.2 Hasil Uji *Close Loop* dengan *Set point* pH=7 dan EC= 1500 µS /cm

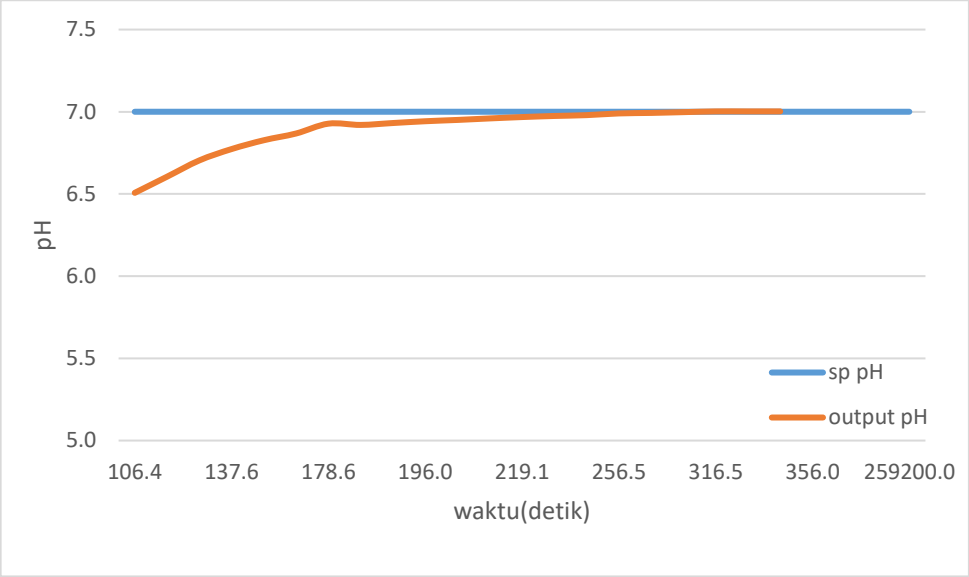
Simulasi Uji *close loop* yang dilakukan telah menyertakan penggunaan beban pada sistem. Adapun *set point* yang ditetapkan untuk pH sebesar 7 dan untuk EC sebesar 1500 µS /cm.

Gambar 4.9 Simulasi uji *close loop* pH dengan *controller* PI-PI

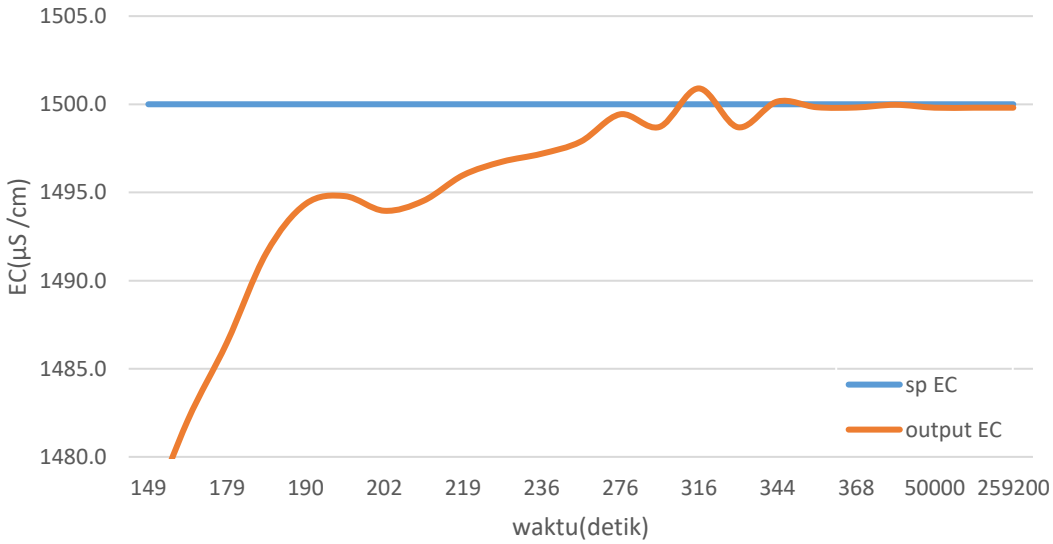


Gambar 4.10 Simulasi uji *close loop* EC dengan *controller* PI-PI

Ketika simulasi dilakukan dengan menggunakan *controller* PI-PI didapatkan *output* nilai pH sebesar 7 dan EC sebesar 1496.4 µS /cm



Gambar 4.11 Simulasi uji c*loseloop* pH dengan *controller* PID-PID



Gambar 4.12 Simulasi uji c*loseloop* EC dengan *controller* PID-PID

Ketika simulasi dilakukan dengan menggunakan *controller* PID-PID didapatkan *output* nilai pH sebesar 7 dan EC sebesar 1498.5 µS /cm. Jika dilihat dari *output* yang didapatkan, baik menggunakan kontroler PI-PI maupun PID-PID sudah

dapat mencapai *set point* yang ditentukan. Hanya saja untuk sistem dengan kontroler PI-PI membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai *set point*.

Dari grafik diatas dapat diketahui karakteristik respon yang dihasilkan dari sistem. Berikut merupakan penjabarannya:

Tabel 4.3 Karakteristik Respon Sistem dengan Kontroler PI-PI

Karakteristik Respon	pH	EC
Rise time	203,43 detik	147,64 detik
Settling time	376,49 detik	281,62 detik
Max tvershoot	0,07 %	0,04 %
Peak time	919,03 detik	778,93 detik
Error steady state	0,31%	0,24 %

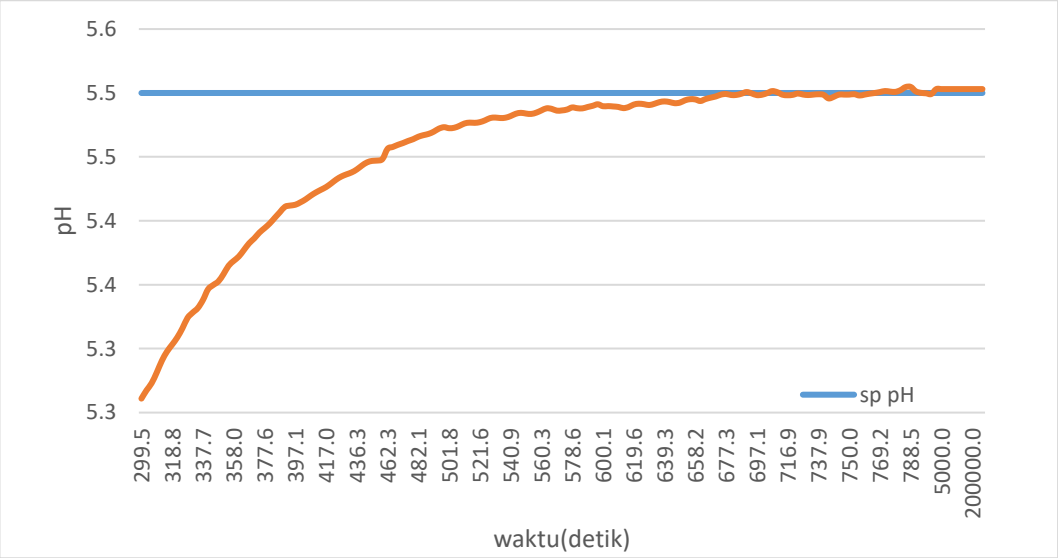
Tabel 4.4 Karakteristik Respon Sistem dengan Kontroler PID-PID

Karakteristik Respon	pH	EC
Rise time	85,81 detik	73,81 detik
Settling time	157,91 detik	139,15 detik
Max overshoot	0,02 %	0,08 %
Peak time	809,71detik	1501,1 detik
Error steady state	0,12%	0,10%

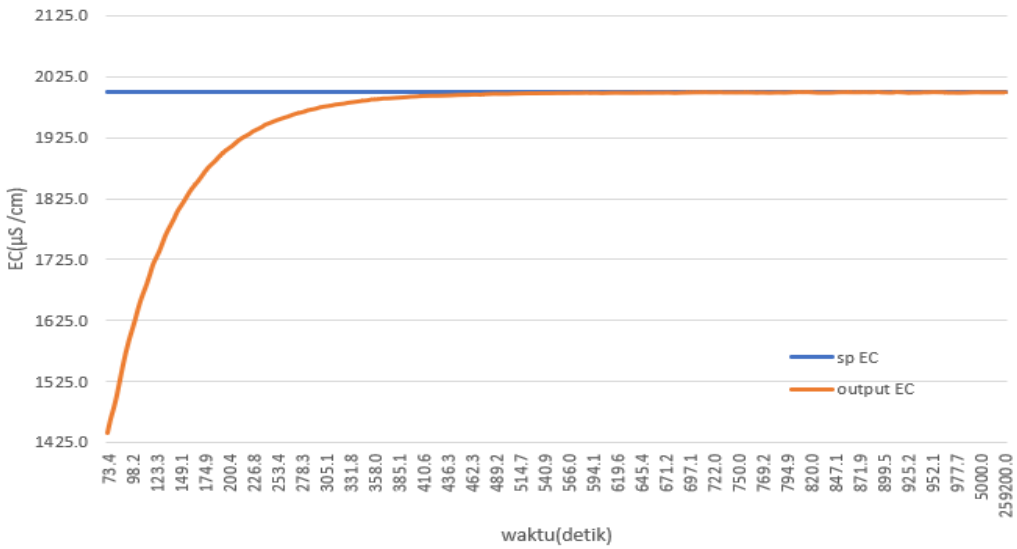
Hasil yang didapatkan pada simulasi ini menunjukan bahwa interaksi antara pH dan EC sudah dapat dihilangkan. Hal ini dapat dibuktikan dengan mengubah nilai *input* yang ada. Ketika nilai *input* Foi1, nilai *output* y2 tidak berubah begitu pula sebaliknya.

4.3.3 Hasil Uji *Closeloop* dengan Perubahan *Set point* pH=5,5 dan EC= 2000 µS /cm

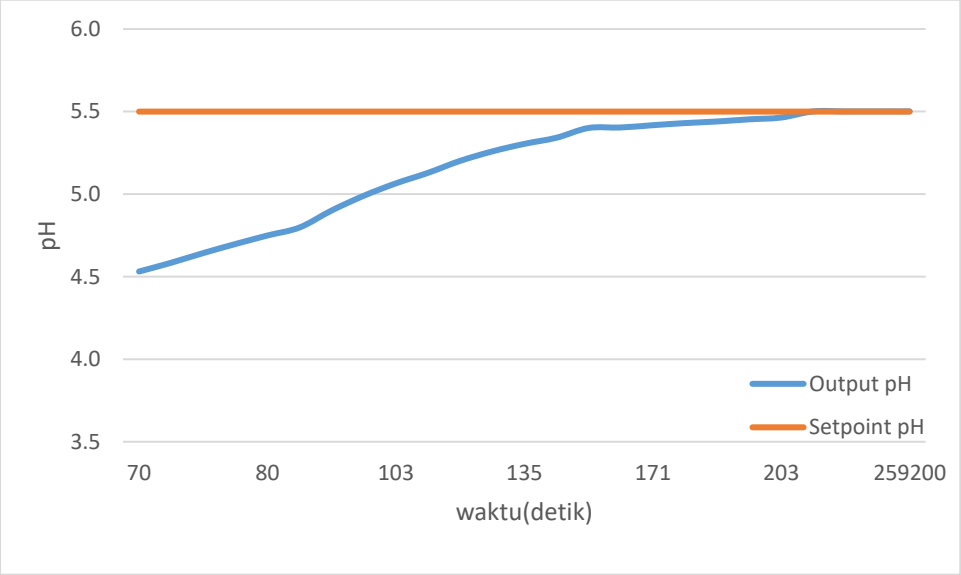
Setelah dilakukan uji *closeloop* dengan *set point* tetap, maka dilakukan uji *closeloop* dengan mengubah nilai *set point*. Uji ini dilakukan untuk melihat apakah sistem tetap stabil saat *set point*nya diubah.



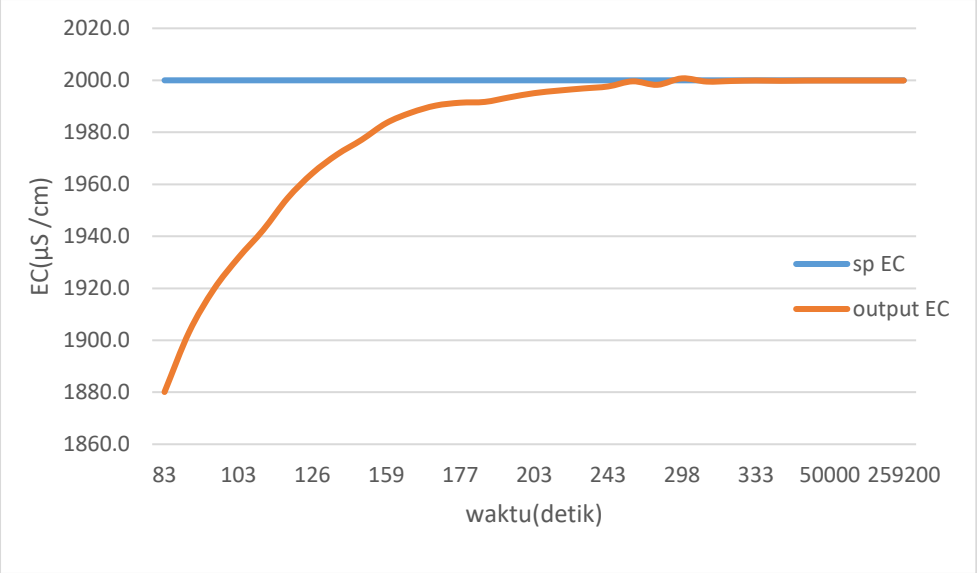
Gambar 4.13 Simulasi *closeloop* perubahan *set point* pH dengan *controller* PI-PI



Gambar 4.14 Simulasi *closeloop* perubahan *set point* EC dengan kontroler PI-PI



Gambar 4.15 Simulasi *closeloop* perubahan *set point* pH dengan kontroler PID-PID



Gambar 4.16 Simulasi *closeloop* perubahan *set point* EC dengan kontroler PID-PID

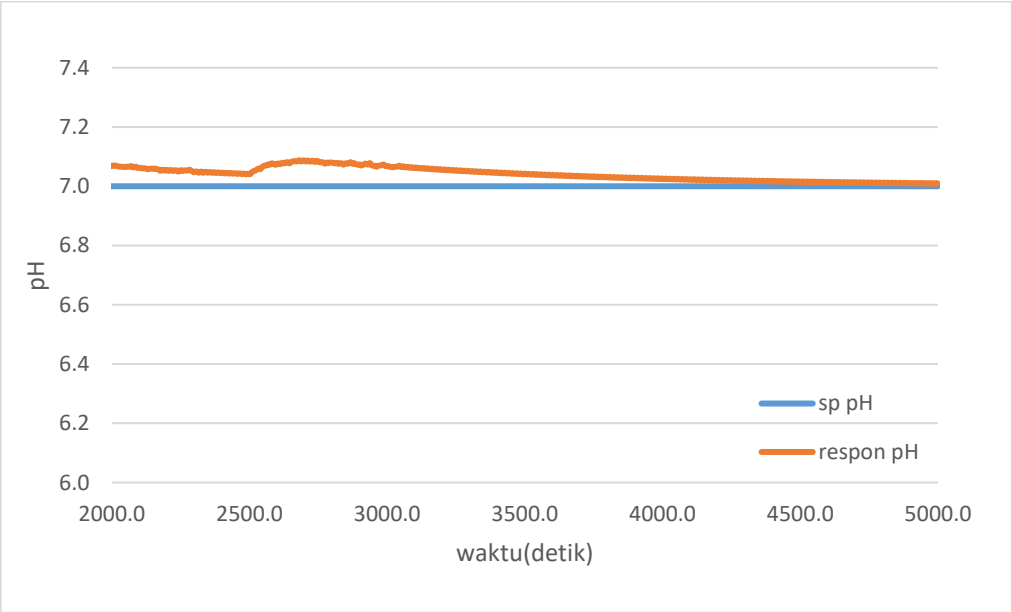
Ketika nilai *set point* diubah, untuk simulasi menggunakan kontroler PI-PI didapatkan *output* pH sebesar 5,5 dan EC sebesar 1995,8 µS /cm. Sedangkan ketika menggunakan *controller* PID-PID didapatkan *output* pH sebesar 5,5 dan EC sebesar 1997,77µS /cm.

4.3.4 Hasil Uji *Disturbance* pada Simulasi *Closeloop*

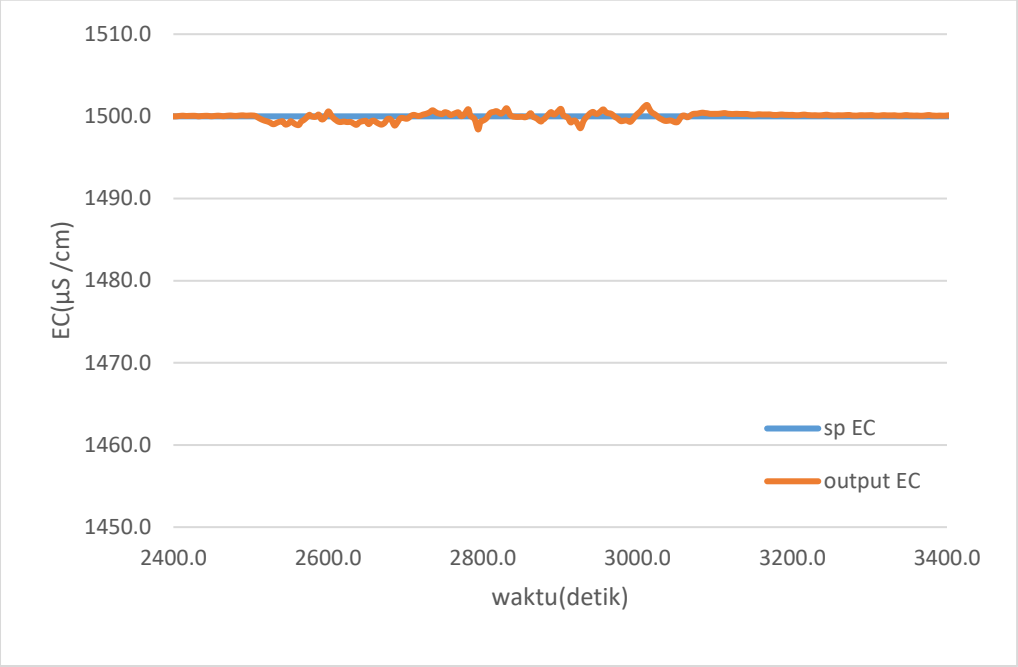
Simulasi closeloop dilakukan kembali dengan mengasumsikan *nilai time constant disturbance* turun menjadi 1000 detik, hal ini dilakukan untuk menunjukan apakah kontroler yang diberikan mampu menangani gangguan yang ada. Perubahan diberikan pada detik ke 2500 saat simulasi ketika menggunakan kontroler PI-PI dan pada detik ke 2500 untuk pH kemudian detik ke 2000 untuk EC saat menggunakan kontroler PID-PID. Dari grafik yang diperoleh menunjukan bahwa perubahan gangguan yang diberikan kurang begitu terlihat, hal ini dikarenakan resolusi perangkat yang digunakan untuk simulasi kurang memadai.

Adapun hasil simulasi dapat ditujukan oleh grafik dibawah:

- Hasil uji *disturbance* dengan kontroler PI-PI

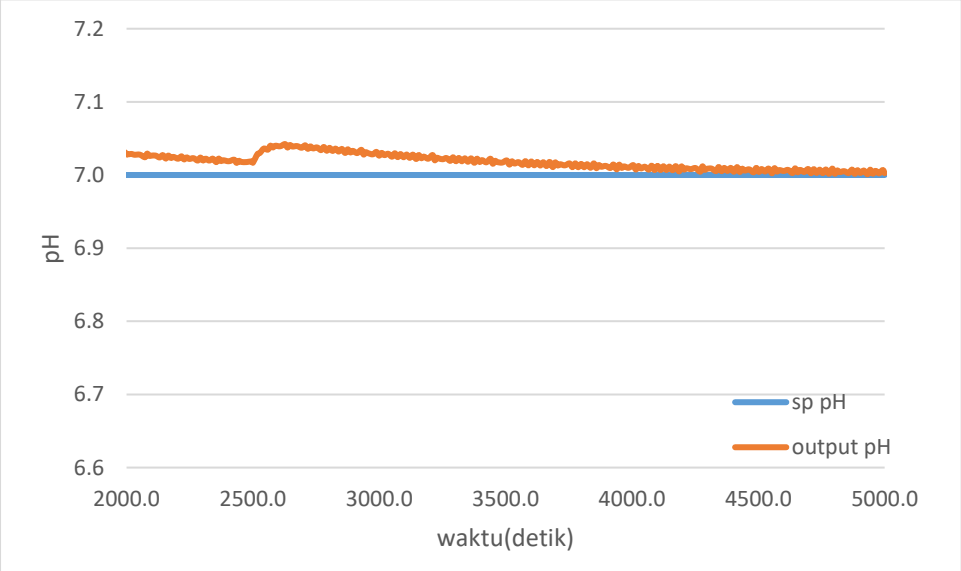


Gambar 4.17 Respon pH uji *disturbance*

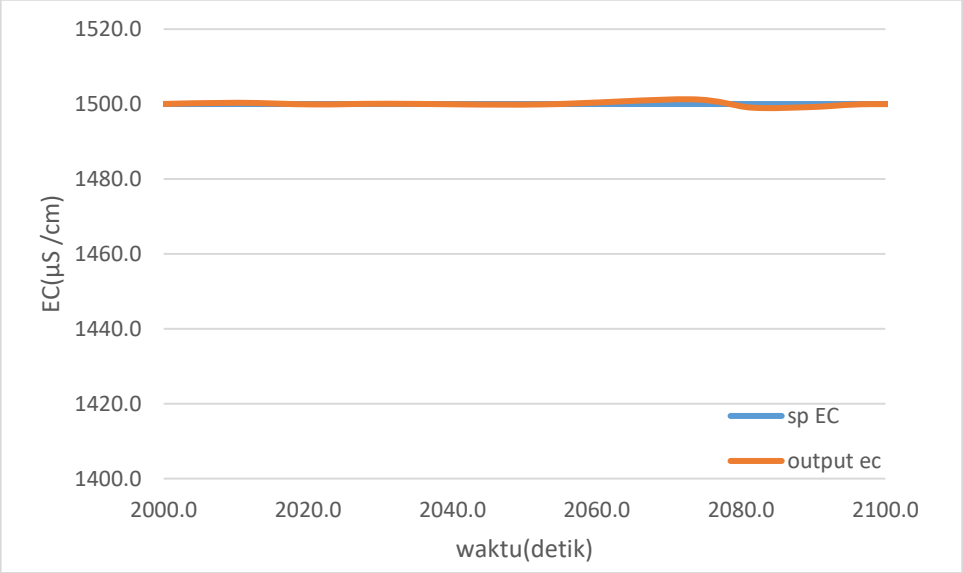


Gambar 4.18 Respon EC uji *disturbance*

- Hasil uji *disturbance* dengan kontroler PID-PID



Gambar 4.19 Respon pH saat uji *disturbance*



Gambar 4.20 Respon EC saat uji *disturbance*

Adapun karakteristik respon yang didapat adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Karakteristik Respon Sistem dengan Kontroler PI-PI

Karakteristik Respon	pH	EC
Rise time	170,50 detik	148,83 detik
Settling time	1224 detik	282,06 detik
Max overshoot	3,72 %	0,09 %
Peak time	548,58 detik	1501.5 detik
Error steady state	0,1 %	0,08 %

Tabel 4.6 Karakteristik Respon Sistem dengan Kontroler PID-PID

Karakteristik Respon	pH	EC
Rise time	77,72 detik	75,53 detik
Settling time	397,72 detik	141,09 detik
Max overshoot	2,17 %	0,1 %
Peak time	294,92 detik	4270 detik
Error steady state	0,01%	0,03%

Hasil yang didapatkan menunjukan, bahwa penggunaan kontroler dengan tipe PID-PID pada sistem ini memberikan respon yang lebih baik dari segi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* dan nilai *error* yang lebih kecil dibandingkan saat menggunakan kontroler PI-PI.

KESIMPULAN

4.4 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian tugas akhir ini adalah hasil perancangan sistem pengendalian pH dan EC pada sistem hidroponik *nutrient film teqhnique* (NFT) dengan metode *decoupler* menggunakan 2x2 MIMO kontrol didapatkan dengan melakukan simulasi pada MATLAB R2019b. *Output* pH yang dihasilkan sebesar 7 dan *output* EC 1496,4 μS /cm menggunakan *controller* PI-PI dengan *error steady state* sebesar 0,31% untuk pH dan 0,24% untuk EC. Adapun untuk simulasi dengan kontroler PID-PID didapatkan nilai pH sebesar 7 dengan *error steady state* sebesar 0,12% dan nilai EC sebesar 1498,5 dengan nilai *error steady state* 0,1%.

4.5 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya untuk *decoupler* yang digunakan mungkin dapat dikembangkan dari penggunaan *decoupler static* diganti menjadi *decoupler* dinamik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Astrom, K. J., & Wittenmark, B. (1989). *Adaptive Control - Astrom.pdf* (p. 537).

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

ControlSoft Inc. (2013). *TUNING RULES FOR PI AND PID*. 1–2.

Crisnapati, P. N., Wardana, I. N. K., Aryanto, I. K. A. A., & Hermawan, A. (2017). Hommons: Hydroponic management and monitoring system for an IOT based NFT farm using web technology. *2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management, CITSM 2017, August*. https://doi.org/10.1109/CITSM.2017.8089268

Domingues, D. S., Takahashi, H. W., Camara, C. A. P., & Nixdorf, S. L. (2012). Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture*, *84*, 53–61. https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006

Jaimes-Ponce, J., Liceaga-Castro, J. U., Alcántara-Ramírez, R., & Siller-Alcalá, I. I. (2013). Electrical conductivity and water *flow* control of a NFT system. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, *7*(2), 134–141.

Kulkarni, B. P. (2017). Automation of Hydroponic System. *IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering*, *3*(09), 600–602.

Mahaidayu, M. G., Helmy, H., Nursyahid, A., Setyawan, T. A., & Hasan, A. (2017). Nutrient Film Technique (NFT) Hydroponic Monitoring System. *Journal of Applied Information and Communication Technologies (JAICT)*, *1*(1), 1–6. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.12.002

Manju Kurien 1, Alka Prayagkar 2, V. R. (2014). *OVERVIEW OF DIFFERENT APPROACHES OF PID CONTROLLER TUNING*. *2*(1), 167–175.

Marlin, T. E. (n.d.). Process Control: Designing Processes and Control Systems for

Dynamic Performance. In *McGraw-Hill* (2nd ed., Vol. 2). McGraw-Hill.

Mohammed, S. B., & Sookoo, R. (2016). Nutrient Film Technique for Commercial Production. *Agricultural Science Research Journal*, *6*(11), 269–274. http://resjournals.com/journals/agricultural-science-research-journal.html

Rodriguez, J. L., & Loparo, K. A. (2004). Modeling and identification of pH processes. *Proceedings of the American Control Conference*, *6*(August 2014), 5483–5488. https://doi.org/10.1109/ACC.2004.249190

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

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.

Sutanto, A., & Tanudjaja, H. (2017). PENERAPAN KONTROLER PID PADA SISTEM PENGATUR KETINGGIAN AIR BERBASIS LABVIEW. *Jurnal Elektro*, *10*(2), 1–12.

Vhora, H., & Patel, J. (2016). Design of Static and Dynamic *Decoupler* for Coupled Quadruple Tank Level System. *Nirma University Journal of Engineering and Technology*, *5*(2), 8–12.

Yolanda, D., Hindersah, H., Hadiatna, F., & Triawan, M. A. (2017). Implementation of real-time fuzzy logic control for NFT-based hydroponic system on Internet of Things environment. *Proceedings of the 2016 6th International Conference on System Engineering and Technology, ICSET 2016*, 153–159. https://doi.org/10.1109/FIT.2016.7857556

LAMPIRAN

A. Data pH AB *mix* dan EC AB *mix*

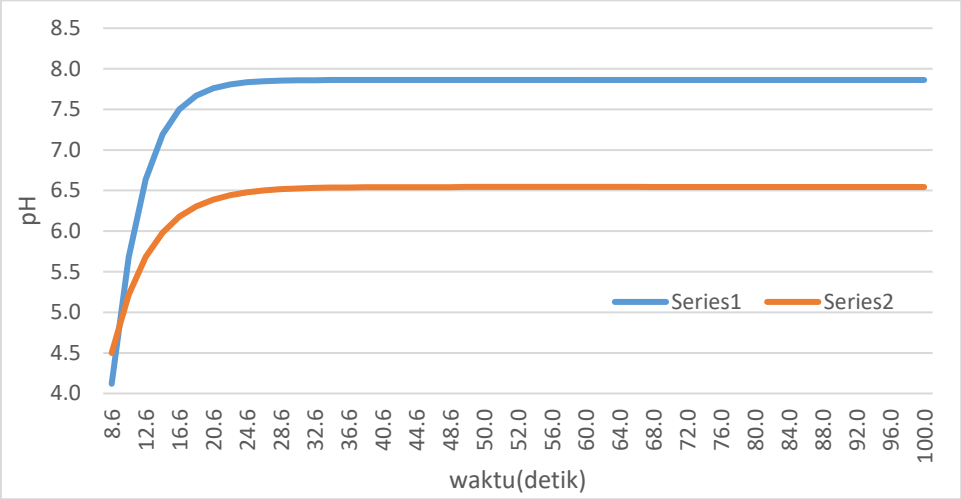
Waktu (s)	pH AB *mix*
1	7,12
2	7,14
3	7,15
4	7,23
5	7,25
6	7,32
7	8,05
8	8,56
9	8,55
10	8,68

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

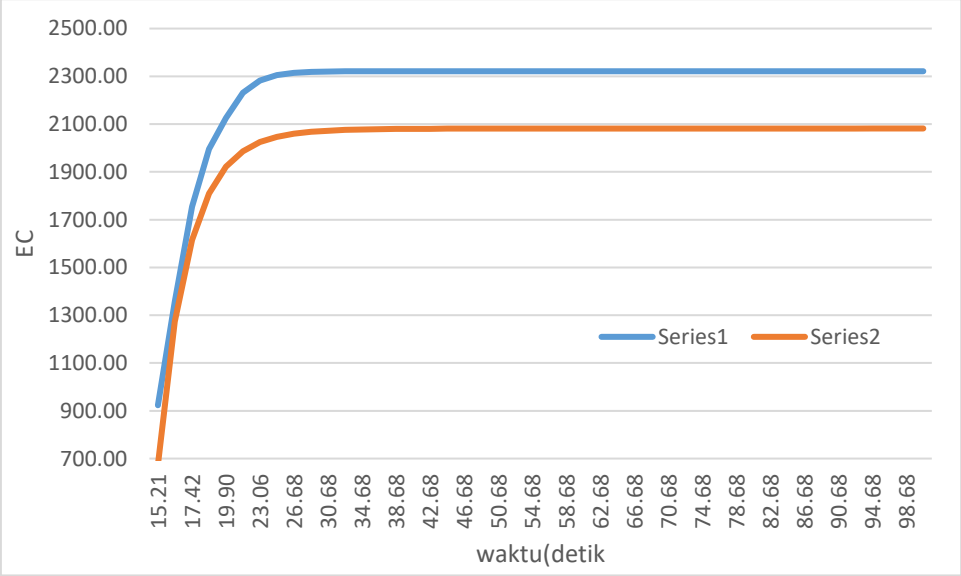
16	1567
17	1542
18	1535
19	1923
20	1660

B. Validasi data

Validasi data dilakukan dengan membandingkan grafik *openloop* yang didapat dengan grafik penelitian sebelumnya

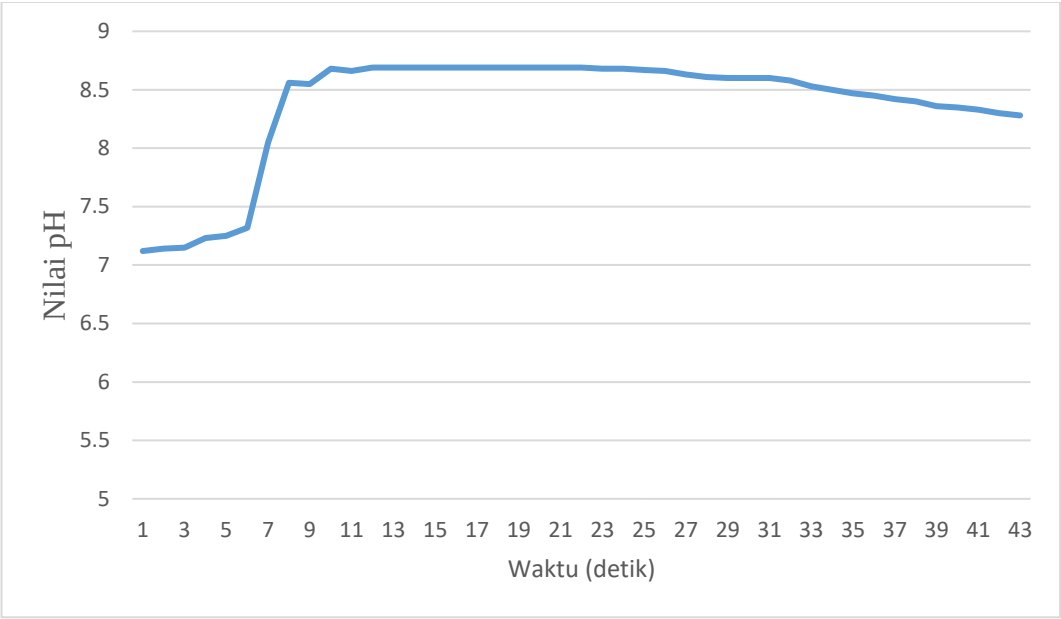


Gambar B.1 Grafik perbandingan hasil *openloop* untuk pH



Gambar B.2 Grafik perbandingan hasil *openloop* untuk EC

C. Perhitungan *time constant* dan delay time

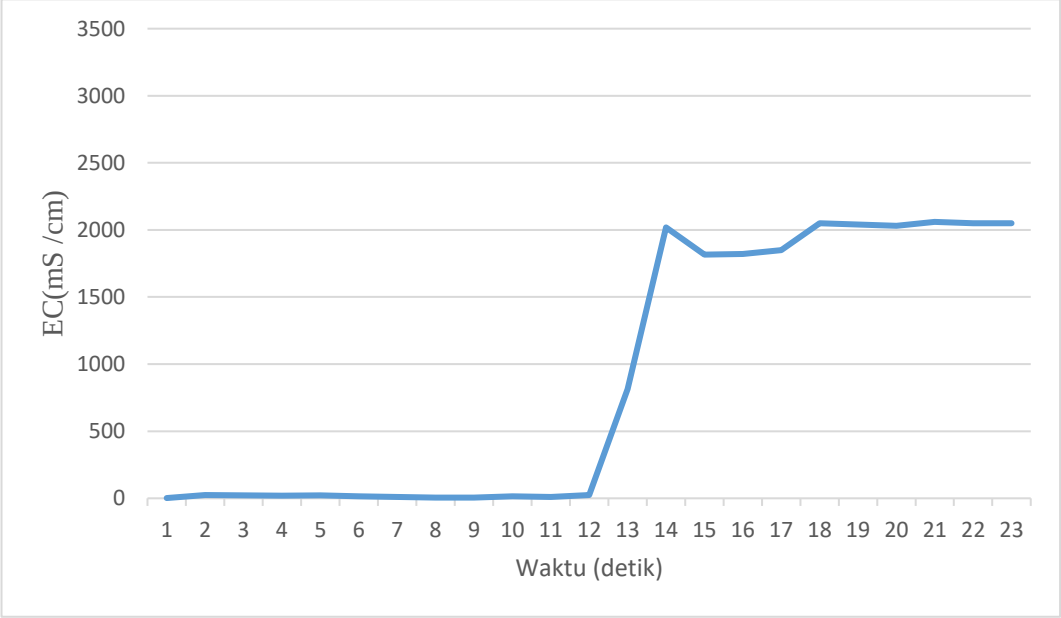


Gambar C.1 Grafik pengukuran pH eksperimen

Dari grafik diatas didapatkan nilai t63% = 7,2 detik, dan nilai t28%= 6,5. Sehingga nilai *time constant* dan *delay time*nya dapat dihitung sebagai berikut :

Time constant = 1,5(t63%-T28%)= 1,05

Delay time = t63%- *timekonstan*= 6,15



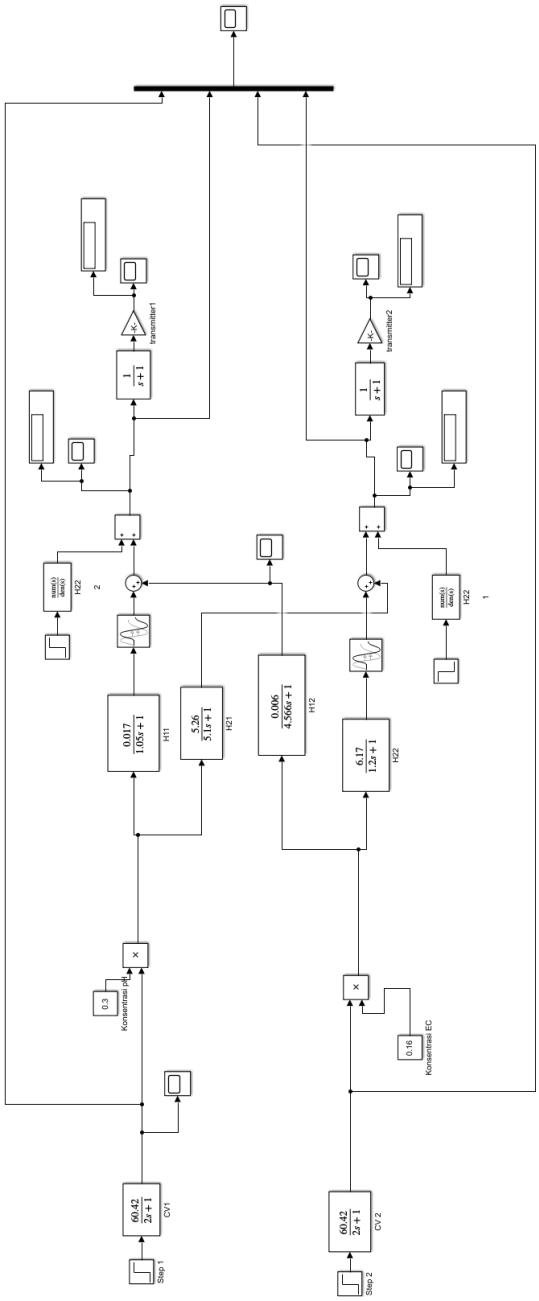
Gambar C.1 Grafik pengukuran EC eksperimen

Dari grafik diatas didapatkan nilai t63% = 13,5 detik, dan nilai t28%= 12,7. Sehingga nilai *time constant* dan delay timenya dapat dihitung sebagai berikut :

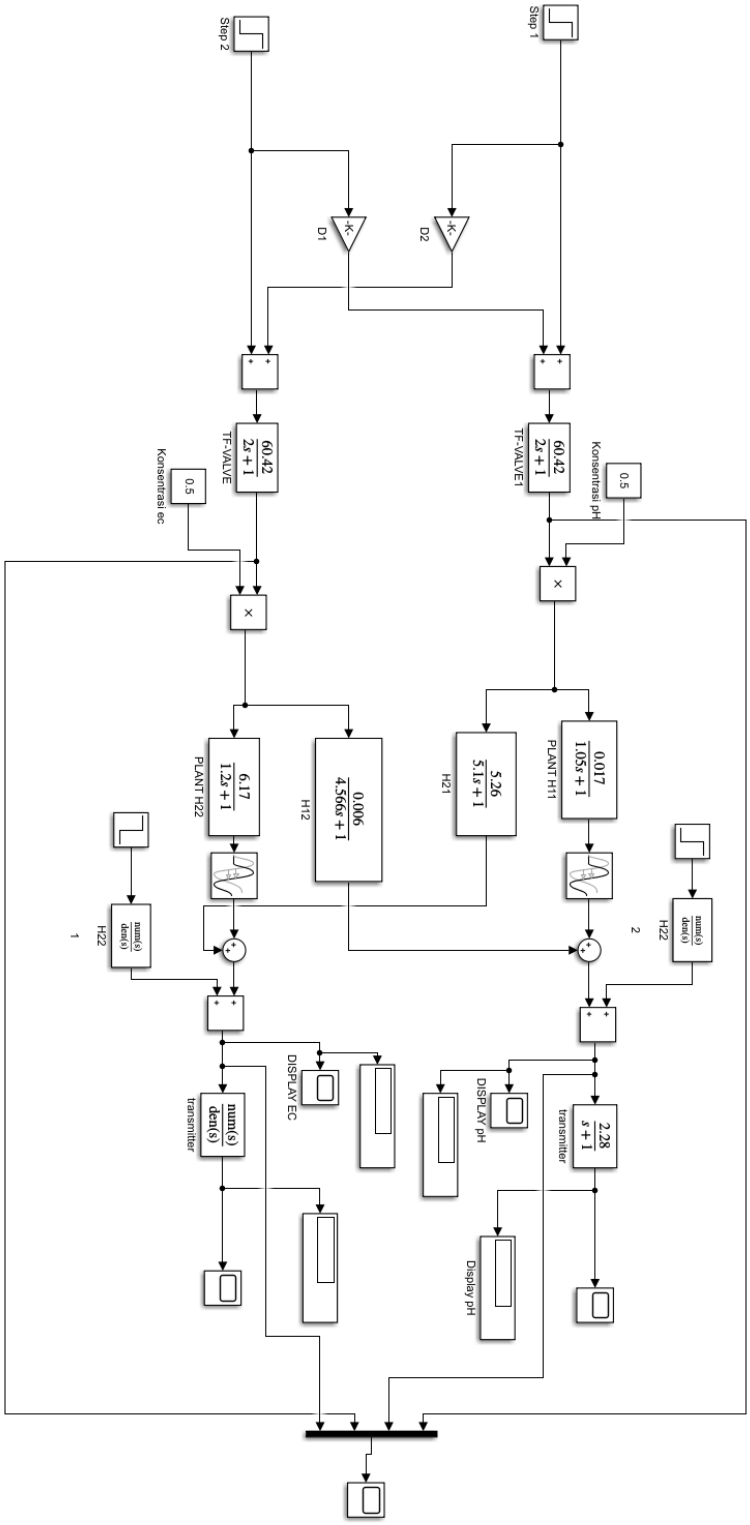
Time constant = 1,5(t63%-T28%)= 1,2

Delay time = t63%-*timekonstan*= 12,3

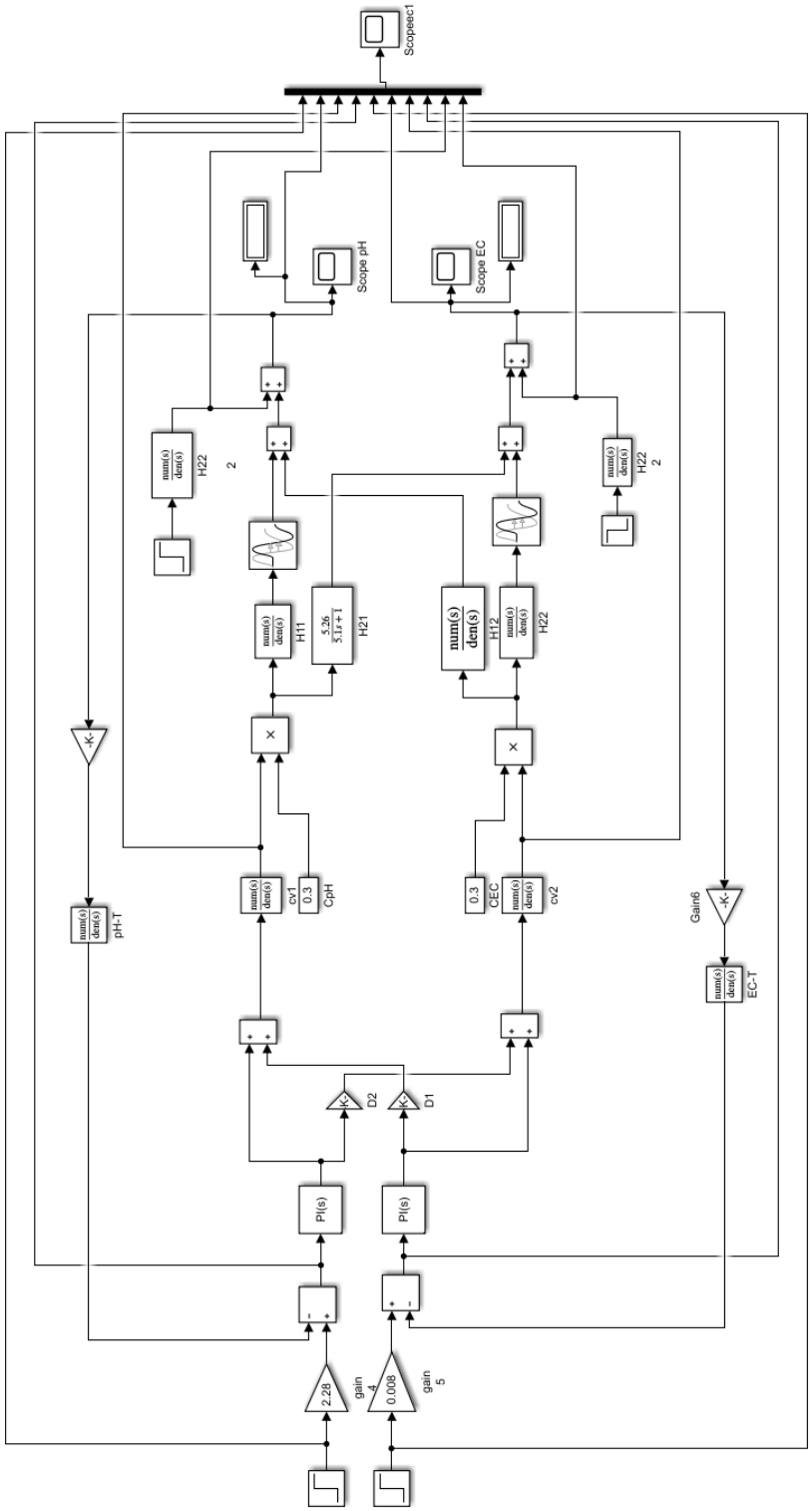
D. Design simulasi pada simulink



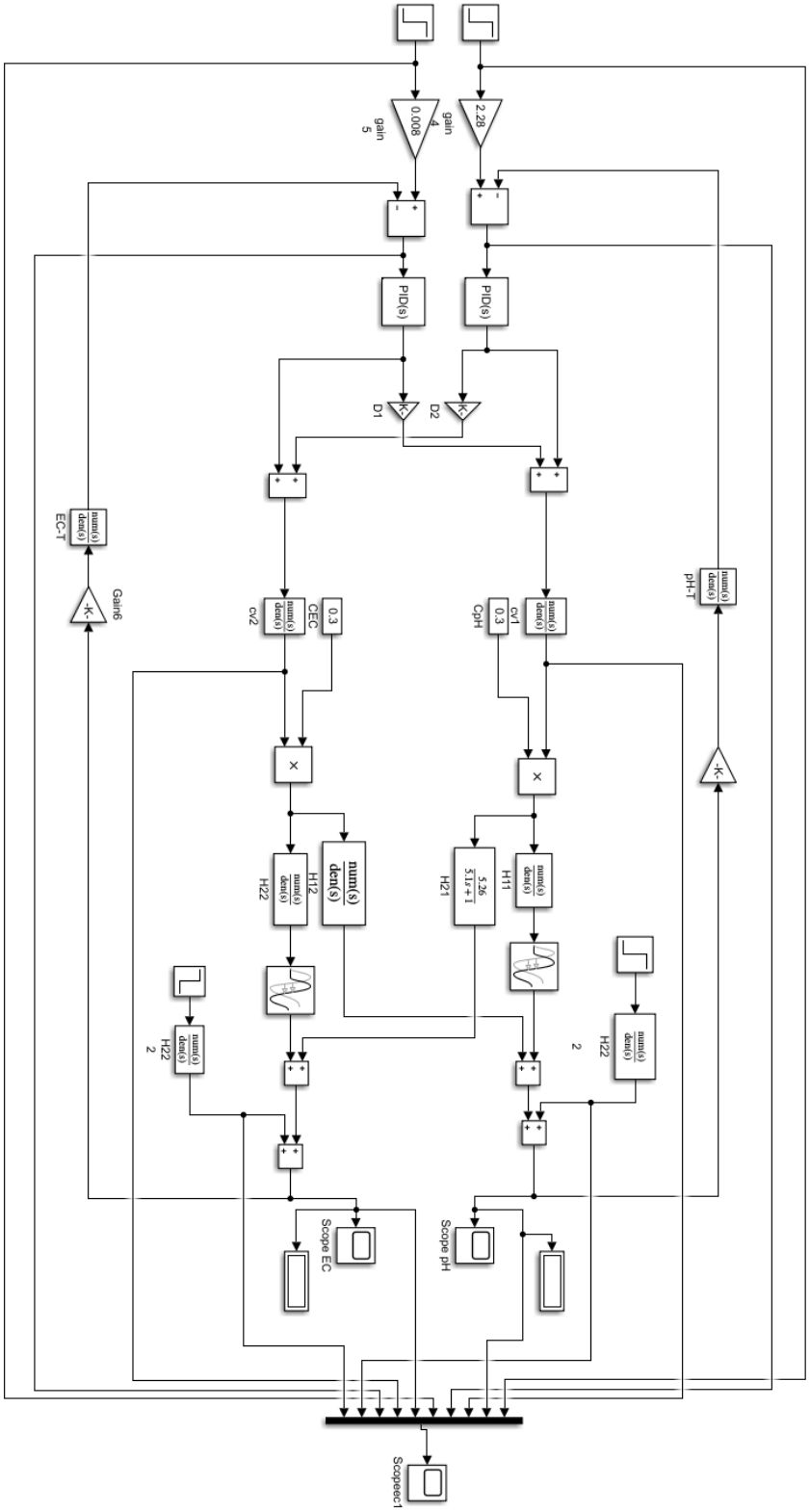
Gambar C.1 Simulasi *openloop* tanpa *Decoupler*


Step 1
Step 2
D2
D1
60.42
2s + 1
TF-VALVE1
60.42
2s + 1
TF-VALVE
Konsentrasi pH
0.5
Konsentrasi ec
0.5
0.017
1.05s + 1
PLANT H11
5.26
5.1s + 1
H21
0.006
4.566s + 1
H12
6.17
1.2s + 1
PLANT H22
num(s)
den(s)
H22
2
num(s)
den(s)
H22
1
2.28
s + 1
transmitter
num(s)
den(s)
transmitter
DISPLAY pH
DISPLAY EC
Display pH

Gambar C.2 Simulasi *openloop* dengan *decoupler*



Gambar C.3 Simulasi *closeloop* dengan kontroler PI-PI



Gambar C.4 Simulasi *closeloop* dengan kontroler PID-PID

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Kholifah Nur Anggraini lahir di Sukoharjo 13 Septembr 1998. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menyelesaikan Pendidikan di SD N 1 Gentan pada tahun 2010, SMP N 1 Bulu pada tahun 2013, SMA N 1 Sukoharjo pada tahun 2016, dan sedang menempuh Pendidikan S1 Teknik Fisika di Intitut Teknologi Sepuluh nopember Surabaya. Penulis memiliki pengalaman program internship selama 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 EC PADA SISTEM HIDROPONIK NUTRIENT FILM *TECHNIQUE* (*NFT*) DENGAN METODE *DECOUPLER* MENGGUNAKAN 2 X 2 MIMO KONTROL**" . Apabila terdapat kritik dan saran dalam penulisan dan isi pada laporan tugas akhir ini, maka dapat dikirimkan melalui *email* : kholifah.nur.anggraini98@gmail.com