



TUGAS AKHIR - TF 181801

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *FUZZY-PID*
KONSENTRASI NUTRISI (PPM) PADA HIDROPONIK PAKCOY
NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) BERBASIS EC**

MARTINUS DANANG KRISTIANDO
NRP. 0231164000058

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 *FUZZY*-PID
KONSENTRASI NUTRISI (PPM) PADA HIDROPONIK PAKCOY
NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) BERBASIS EC**

MARTINUS DANANG KRISTIANDO
NRP. 0231164000058

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 FUZZY-PID NUTRIENT CONCENTRATION (PPM)
CONTROL SYSTEM OF NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT)
HYDROPONICS PAKCOY BASED ON EC***

**MARTINUS DANANG KRISTIANDO
NRP. 0231164000058**

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 : Martinus Danang Kristiando
NRP : 02311640000058
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / SI Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "*PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN FUZZY-PID KONSENTRASI NUTRISI (PPM) PADA HIDROPONIK PAKCOY NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) BERBASIS EC*" 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,



Martinus Danang Kristiando
NRP. 02311640000058

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI *FUZZY*-PID
KONSENTRASI NUTRISI (PPM) PADA HIDROPONIK PAKCOY
NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) BERBASIS EC**

Oleh:

Martinus Danang Kristiando

NRP. 0231164000058

Surabaya, 3 Agustus 2020

Menyetujui,

Pembimbing I



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

NIP. 196905301994121001

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FT IRS ITS



Dr. Suvanto, S.T., M.T.

NIP. 197111131995121002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *FUZZY-PID* KONSENTRASI NUTRISI (PPM) PADA HIDROPONIK PAKCOY *NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT)* BERBASIS EC

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:

MARTINUS DANANG KRISTIANDO

NRP. 0231164000058

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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



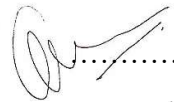
..... (Pembimbing I)

2. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.



..... (Ketua Penguji)

3. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.



..... (Penguji I)

4. Dr.rer.nat. Ruri Agung Wahyuono, S.T., M.T.



..... (Penguji II)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *FUZZY*-PID
KONSENTRASI NUTRISI (PPM) PADA HIDROPONIK
PAKCOY *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* (NFT) BERBASIS
EC**

Nama : Martinus Danang Kristiando
NRP : 02311640000058
Departemen : Teknik Fisika FT IRS ITS
Dosen Pembimbing : Hendra Cordova, S.T., M.T

ABSTRAK

Hidroponik adalah solusi pertanian dengan banyak kelebihan, salah satunya adalah tidak membutuhkan media tanah dan bisa tumbuh dengan lebih cepat. Dalam pemberian nutrisi harus sesuai agar tanaman tumbuh dengan optimal. Untuk menjaga nutrisi yang diberikan, dibutuhkan pengendali yang dapat menjaga PPM hidroponik pada rentang 1050-1400 mg/L. Didapatkan nilai parameter PID berupa $K_p = 0,25$, $K_i = 0,2$, dan $K_d = 0,85$. Menggunakan metode *Fuzzy*-PID sebagai pengendali didapatkan hasil karakteristik respon yang lebih unggul pada nilai *rise time* yang lebih cepat dari pengendali PID. Untuk pengendali PID didapatkan nilai *rise time* = 19,11 detik, *settling time* = 65,19 detik, maksimum *overshoot* = 5,09 %, *error steady state* = 0,002% dan IAE = 394,08. Sedangkan untuk pengendali *Fuzzy*-PID didapatkan nilai *rise time* = 9,98 detik, *settling time* = 132,23 detik, maksimum *overshoot* = 32,12 %, *error steady state* = 0,007%, dan IAE = 420.

Kata Kunci: *Fuzzy*-PID, Hidroponik, PPM

Halaman ini sengaja dikosongkan

***DESIGN FUZZY-PID NUTRIENT CONCENTRATION (PPM)
CONTROL SYSTEM OF NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT)
HYDROPONICS PAKCOY BASED ON EC***

Name : Martinus Danang Kristiando
NRP : 0231164000058
Department : Engineering Physics FT IRS ITS
Supervisors : Hendra Cordova, S.T., M.T.

ABSTRACT

Hydroponics is an agriculture solution with many advantages, such as it does not need soil media and can grow faster. Nutrition must be appropriate for plants to grow optimally. For nutrition, PPM hydroponics is needed in the range of 1050-1400 mg/L. The PID parameter values consist of $K_p = 0,25$, $K_i = 0,2$, $K_d = 0,85$. Using Fuzzy-PID method as a controller obtain superior result in the faster rise time value than the PID controller. For PID controller, the value of risetime = 19,11 second, settling time = 65,19 seconds, maximum overshoot = 5,09%, steady state error = 0,002%, and IAE = 394,08. As for Fuzzy-PID controller, the rise time value = 9,98 seconds, settling time = 132,23 seconds, maximum overshoot = 32,12%, steady state error = 0,007%, and IAE = 420.

Keywords: Fuzzy-PID, Hydroponics, PPM

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan berkat – Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian tugas akhir yang berjudul :

**“PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *FUZZY-PID*
NUTRISI (PPM) PADA HIDROPONIK PAKCOY *NUTRIENT FILM*
TECHNIQUE (NFT) BERBASIS EC”.**

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 dalam mengerjakan tugas akhir ini kepada penulis.
3. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku kepala laboratorium rekayasa instrumentasi dan kontrol yang telah memberikan sarana dan prasarana serta ilmu bagi penulis
4. Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan kepada penulis.
5. Keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan selama penulis melaksanakan penelitian 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
<i>ABSTRACT</i>	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	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Hidroponik <i>Nutrient Film Technique</i> (NFT).....	5
2.2 Karakteristik dan Nilai PPM dalam Hidroponik Pakcoy.....	6
2.3 Teori dan Operasi Himpunan <i>Fuzzy</i>	6
2.4 Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i>	8
2.5 Kendali Logika <i>Fuzzy</i>	10
2.6 Pengendali PID.....	12

2.7	Aturan <i>Tuning</i> Ziegler-Nichols Metode Pertama	13
2.8	Pengendali <i>Fuzzy</i> -PID.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		17
3.1	Skema <i>Plant</i> Hidroponik.....	18
3.2	Pemodelan Matematis.....	18
3.3	Proses <i>Open Loop</i>	20
3.4	Penentuan Parameter PID dan Logika <i>Fuzzy</i>	20
3.5	Proses <i>Close Loop</i>	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Hasil Simulasi <i>Open Loop</i>	25
4.2	Hasil Simulasi <i>Close Loop Set Point</i> Tetap	25
4.3	Hasil Simulasi <i>Close Loop Uji Tracking Turun Set Point</i>	28
4.4	Hasil Uji <i>Disturbance</i> pada Simulasi <i>Closetloop</i>	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		35
5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran	35
DAFTAR PUSTAKA		37
LAMPIRAN		39
BIODATA PENULIS		44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Sistem hidroponik NFT.....	5
Gambar 2. 2	Contoh grafik fungsi keanggotaan segitiga.....	8
Gambar 2. 3	Contoh grafik fungsi keanggotaan trapesium.....	9
Gambar 2. 4	Contoh grafik fungsi keanggotaan gaussian.....	9
Gambar 2. 5	Contoh grafik fungsi keanggotaan bell.....	10
Gambar 2. 6	Sistem kendali logika <i>Fuzzy</i>	11
Gambar 2. 7	Sistem kontrol PID.....	12
Gambar 2. 8	Respon <i>unit-step</i>	13
Gambar 2. 9	Respon kurva-S.....	14
Gambar 3. 1	Diagram alir.....	17
Gambar 3. 2	Skema <i>plant</i> hidroponik.....	18
Gambar 3. 3	Diagram blok <i>open loop</i>	20
Gambar 3. 4	Desain logika <i>Fuzzy</i>	21
Gambar 3. 5	<i>Membership function</i> masukan <i>error</i>	21
Gambar 3. 6	<i>Membership function</i> keluaran <i>Kp</i>	22
Gambar 3. 7	<i>Rule editor</i>	23
Gambar 3. 8	<i>Rule viewer</i>	23
Gambar 3. 9	Diagram <i>close loop</i> sistem kontrol <i>Fuzzy-PID</i>	24
Gambar 4. 1	Hasil simulasi <i>open loop</i>	25
Gambar 4. 2	Hasil simulasi <i>close loop set point</i> tetap menggunakan sistem pengendali PID	26
Gambar 4. 3	Hasil simulasi <i>close loop set point</i> tetap menggunakan sistem pengendali <i>Fuzzy-PID</i>	26
Gambar 4. 4	Perbandingan respon simulasi <i>close loop set point</i> tetap dengan menggunakan sistem pengendali PID dan <i>Fuzzy-PID</i>	27
Gambar 4. 5	Respon <i>Kp</i> simulasi <i>close loop set point</i> tetap	27
Gambar 4. 6	Hasil simulasi uji <i>tracking</i> turun <i>set point</i> menggunakan sistem pengendali PID	28

Gambar 4. 7	Hasil simulasi uji <i>tracking</i> turun <i>set point</i> menggunakan sistem pengendali <i>Fuzzy</i> -PID	29
Gambar 4. 8	Perbandingan respon simulasi uji <i>tracking</i> turun <i>set point</i> dengan menggunakan sistem pengendali PID dan <i>Fuzzy</i> -PID	29
Gambar 4. 9	Respon K_p simulasi uji <i>tracking</i> turun <i>set point</i>	30
Gambar 4. 10	Respon <i>error</i> simulasi uji <i>tracking</i> turun <i>set point</i>	30
Gambar 4. 11	Hasil uji <i>disturbance</i> pada simulasi <i>close loop</i> menggunakan sistem pengendali PID	31
Gambar 4. 12	Hasil uji <i>disturbance</i> pada simulasi <i>close loop</i> menggunakan sistem pengendali <i>Fuzzy</i> -PID	32
Gambar 4. 13	Perbandingan respon uji <i>disturbance</i> pada simulasi <i>close loop</i> dengan menggunakan sistem pengendali PID dan <i>Fuzzy</i> -PID ...	32
Gambar 4. 14	Respon K_p uji <i>disturbance</i> pada simulasi <i>close loop</i>	33
Gambar 4. 15	Respon <i>error</i> uji <i>disturbance</i> pada simulasi <i>close loop</i>	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Tabel Respon Kontrol PID.....	12
Tabel 2. 2	Tabel Basis Aturan <i>Tuning</i> Ziegler-Nichols pada Respon <i>Step</i> Metode Pertama	14
Tabel 3. 1	<i>Tuning</i> PID secara Eksperimen	21
Tabel 4. 1	Perbandingan Karakteristik Respon <i>Close Loop Set Point</i> Tetap dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan <i>Fuzzy</i> -PID	28
Tabel 4. 2	Perbandingan Karakteristik Respon Uji <i>Tracking Turun Set Point</i> dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan <i>Fuzzy</i> -PID	31
Tabel 4. 3	Perbandingan Karakteristik Respon Uji <i>Disturbance</i> pada Simulasi <i>Close Loop</i> dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan <i>Fuzzy</i> -PID.....	34

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hidroponik adalah solusi pertanian dengan banyak kelebihan. Hidroponik bisa diterapkan dilahan terbatas. Tidak harus menggunakan tanah, bahkan tanaman bisa tumbuh lebih cepat dan lebih berkualitas. Larutan AB *mix* adalah istilah yang biasa digunakan sebagai nutrisi pada pertanian model hidroponik.

Pada hidroponik, kualitas nutrisi dan keadaan lingkungan yang sesuai untuk penyerapan optimal, akan sangat mempengaruhi. Terlalu sedikit nutrisi akan membuat tanaman tidak berkembang dengan semestinya, terlalu banyak akan membuat tanaman kelebihan gizi atau overdosis nutrisi (Tirto, 2014). Ada beberapa hal yang bisa dijadikan indikator dalam melihat kualitas nutrisi terhadap penyerapan tanaman, diantaranya adalah PPM.

Dalam hidroponik, PPM merupakan satuan yang digunakan pada nutrisi hidroponik. Karena dalam penanaman hidroponik dibutuhkan kadar PPM yang baik agar tanaman dapat tumbuh dengan baik (Martinez, 2016).

Dalam usaha untuk menentukan kadar PPM yang baik maka diperlukan adanya pengontrol agar dapat diukur dengan tepat. Salah satu sistem pengendalian yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan sistem pengendali *Fuzzy*-PID.

Metode *Fuzzy*-PID ini digunakan dengan alasan untuk mengurangi *error* yang terdapat pada kontrol PID. Karakteristik lain yang dapat diambil dari logika *Fuzzy* adalah dapat dibangun dari pengalaman seorang ahli, yaitu dapat memformulasikan pengetahuan dari seorang ahli dengan konfigurasi dasar yang terdiri dari fuzzifikasi, basis pengetahuan, logika pengambil keputusan, dan defuzzifikasi (Pancawati & Yulianto, 2016).

Rencana tugas akhir ini bertujuan untuk merancang suatu sistem pengendalian yang berfungsi untuk mengatur kadar PPM pada hidroponik NFT yang berbasis pada EC.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan diangkat dalam tugas akhir ini, adalah bagaimana hasil perancangan sistem pengendalian PPM pada hidroponik pakcoy NFT berbasis EC.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang akan dilakukan pada tugas akhir ini, adalah memperoleh hasil perancangan sistem pengendalian PPM pada hidroponik pakcoy NFT berbasis EC.

1.4 Lingkup Kajian

Adapun lingkup kajian yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Jenis hidroponik yang digunakan adalah hidroponik NFT
- b) Kontrol yang digunakan adalah *Fuzzy*-PID
- c) Variabel yang dikontrol adalah PPM
- d) Menggunakan sistem *Fuzzy* mamdani
- e) Menggunakan *software* MATLAB Simulink R2020a

1.5 Sistematika Laporan

Dalam tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab. Adapun sistematika laporan tugas akhir ini tersusun atas lima bab dengan rincian sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab I berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, lingkup kajian, dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab II berisikan pustaka-pustaka dan teori-teori penunjang yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab III berisikan diagram alur, metode, dan pemodelan yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV berisikan hasil, analisa data, dan pembahasan yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab V berisikan hasil kesimpulan dari tugas akhir ini dan saran untuk pengembangan kedepannya.

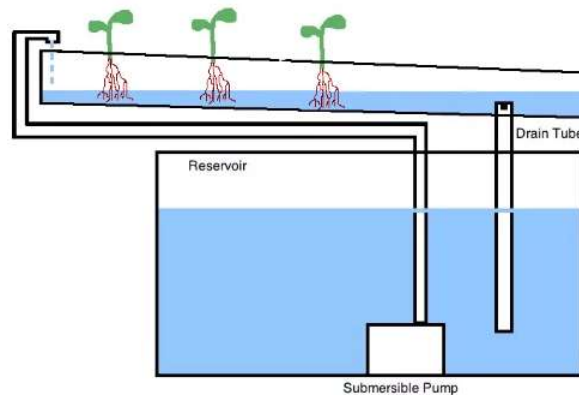
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Hidroponik *Nutrient Film Technique* (NFT)

Nutrient film technique (NFT) merupakan sistem hidroponik yang banyak digunakan. Sistem hidroponik NFT ini menggunakan pompa untuk mengalirkan air bernutrisi ke baki tumbuh dan saluran pembuangan untuk mendaur ulang larutan nutrisi yang tidak terpakai. Nutrisi hidroponik NFT akan secara kontinyu mengalir melewati akar-akar tanaman. Gaya gravitasi yang membuat air mengalir. Baki tumbuh ditempatkan pada sudut yang memungkinkan air dapat mengalir kebawah menuju saluran pembuangan, dan larutan baru dipompa terus-menerus ke ujung pipa dari baki tumbuh. NFT merupakan sistem yang aktif, yang berarti bergantung pada bagian yang bergerak untuk bekerja (D'Anna, 2019).



Gambar 2. 1 Sistem hidroponik NFT (D'Anna, 2019)

Larutan nutrisi mengalir pada lapisan tipis NFT melewati akar-akar tanaman, dengan memastikan bahwa sudah diberikan air dan nutrisi tetapi tidak sepenuhnya basah. Lapisan tipis ini memastikan bagian atas akar akan tetap kering dan memiliki akses untuk mendapatkan oksigen (D'Anna, 2019).

Sistem hidroponik NFT ini digunakan paling baik untuk tanaman-tanaman yang tidak memerlukan banyak keperluan pendukung. Sistem ini digunakan untuk tanaman yang memiliki pertumbuhan yang cepat, dan dapat dipanen dengan cepat (D'Anna, 2019).

2.2 Karakteristik dan Nilai PPM dalam Hidroponik Pakcoy

Parts per million (PPM) merupakan nilai yang digunakan dalam zat terlarut sebagai satuan dari *total dissolved solids* (TDS). Perhitungan TDS menggambarkan banyaknya ion terlarut didalam larutan yang secara khusus dalam hidroponik berupa konsentrasi garam dan jumlah dari larutan nutrisi (Chartier, 2015). PPM dapat dinyatakan dalam satuan *milligram per liter* (mg/L) (Max, 2019).

Pemberian nutrisi hidroponik merupakan sesuatu yang penting dikarenakan pemberian nutrisi yang melebihi batas penggunaan akan mengakibatkan tanaman mengalami kondisi *fertilizer burn*. Hal ini dapat mengakibatkan daun pada tanaman menjadi coklat dan layu, dan akhirnya dapat membuat tanaman menjadi mati (Chartier, 2015).

Perhitungan PPM pada hidroponik bisa didapatkan dengan menggunakan ekstrapolasi dari perhitungan *electrical conductivity* (EC). Didalam sistem hidroponik, EC dapat digunakan untuk mengetahui banyaknya garam terlarut yang terdapat di hidroponik dan mengetahui jumlah dari larutan nutrisi yang dibutuhkan. EC dapat dinyatakan dalam satuan *microsiemens per centimeter* ($\mu\text{S}/\text{cm}$) atau *milisiemens per centimeter* (mS/cm). Nilai EC yang digunakan dalam hidroponik untuk larutan nutrisi memiliki rentang dari 500 sampai 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, atau 0,5 sampai 2 mS/cm. Dalam ketentuan dalam melakukan konversi digunakan faktor konversi. Faktor konversi yang digunakan sebesar 0,7 sehingga didapat nilai PPM dalam hidroponik (Chartier, 2015) sebagai berikut

$$PPM (mg/L) = 0,7 \times EC (\mu\text{S}/\text{cm}) \quad (2.1)$$

Dengan menggunakan rumus konversi pada persamaan (2.1) didapatkan hasil PPM yang dapat digunakan dalam hidroponik. Kondisi ideal dari pakcoy menggunakan sistem hidroponik memiliki rentang EC berkisar 1,5 – 2,5 (Storey, 2016), dengan rentang PPM sebesar 1050-1400 (Home Hydro Systems, n.d.).

2.3 Teori dan Operasi Himpunan *Fuzzy*

Teori himpunan *Fuzzy* merupakan teori yang didasarkan pada logika *Fuzzy* (Bart, 1992). Tingkat kebenaran yang ada pada teori himpunan *Fuzzy* mempunyai

nilai logika antara 0 dan 1. Jika dimisalkan V merupakan kumpulan objek yang dinyatakan dengan sebutan $\{v\}$, dimana dapat bernilai diskrit atau kontinyu. V akan disebut sebagai semesta pembicaraan, dan v akan mewakili elemen-elemen yang terdapat pada semesta pembicaraan V . Suatu himpunan *Fuzzy* A dalam semesta pembicaraan V dapat dinyatakan dengan menggunakan fungsi keanggotaan μ_A (*membership of function*) yang mewakili nilai dalam rentang nilai logika antara 0 dan 1 untuk setiap elemen dalam semesta pembicaraan, yang dinyatakan dengan (Rahmat & Nugroho, 2019):

$$\mu_A = V \rightarrow [0,1] \quad (2.2)$$

Dalam himpunan semesta V , himpunan *Fuzzy* A bisa dinyatakan sebagai pasangan antara elemen v dan tingkat fungsi keanggotaan, yaitu (Rahmat & Nugroho, 2019):

$$A = \{(v, \mu_A(v)) / v \in V\} \quad (2.3)$$

Penyokong (*support*) dari nilai himpunan *Fuzzy* yang bersangkutan terdiri dari semua elemen v dalam himpunan semesta V yang memberikan nilai $\mu_A > 0$, jika nilai $\mu_A = 0.5$ maka v disebut sebagai titik persilangan (*crossover*) dan disaat himpunan *Fuzzy* memiliki nilai penyokong sebesar 1.0 disebut sebagai *Fuzzy* tunggal (*singleton*) (Rahmat & Nugroho, 2019).

Dalam operasi himpunan *Fuzzy* terdapat dua himpunan *Fuzzy* dalam himpunan semesta yang memiliki fungsi keanggotaan masing- masing. Fungsi keanggotaan ini bisa didapatkan dengan beberapa operasi yang digunakan dalam himpunan *Fuzzy* (Rahmat & Nugroho, 2019):

1. Komplemen dari $A(A')$, dimana

$$\mu_{A'}(v) = 1 - \mu_A(v) \quad (2.4)$$

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

$$\mu(A \cap B) = \min(\mu A(v), \mu B(v)) \quad (2.5)$$

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

$$\mu(A \cup B) = \max(\mu A(v), \mu B(v)) \quad (2.6)$$

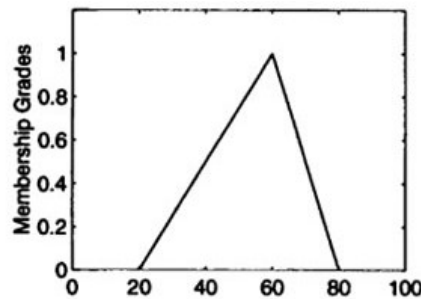
2.4 Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

Fungsi keanggotaan *Fuzzy* merupakan suatu fungsi yang menyatakan suatu himpunan dalam semesta pembicaraan yang mewakili rentang nilai logika antara 0 dan 1 untuk setiap kumpulan elemen dalam semesta. Dalam fungsi keanggotaan *Fuzzy* akan memiliki masing-masing parameter dengan formulasi persamaan yang berbeda sehingga akan didapatkan hasil fungsi keanggotaan *Fuzzy* yang akan menunjukkan rentang keanggotaan dari masing masing derajat keanggotaan. Fungsi-fungsi keanggotaan *Fuzzy* yang sering digunakan adalah sebagai berikut (Rahmat & Nugroho, 2019) (Research hubs, 2015):

- a) Fungsi keanggotaan segitiga

Fungsi keanggotaan segitiga mempunyai tiga parameter a , b , c yang terdapat pada persamaan (2.7) berikut:

$$\begin{aligned} \text{segitiga}(x; a, b, c) = \\ \max \left[\min \left(\left(\frac{x-a}{b-a} \right), \left(\frac{c-x}{c-b} \right) \right), 0 \right] = \\ \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \end{aligned} \quad (2.7)$$



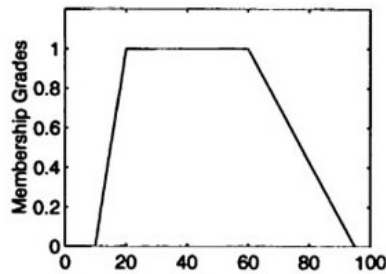
Gambar 2. 2 Contoh grafik fungsi keanggotaan segitiga
(Research hubs, 2015)

b) Fungsi keanggotaan trapesium

Fungsi keanggotaan trapesium mempunyai empat parameter a, b, c, d yang terdapat pada persamaan (2.8) berikut:

$$\begin{aligned} \text{trapesium}(x; a, b, c, d) = \\ \max \left[\min \left(\min \left(\left(\frac{x-a}{b-a} \right), 1 \right), \left(\frac{d-x}{d-c} \right) \right), 0 \right] = \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}$$

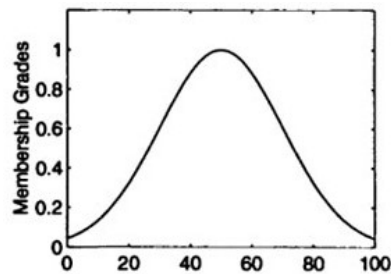


Gambar 2.3 Contoh grafik fungsi keanggotaan trapesium
(Research hubs, 2015)

c) Fungsi keanggotaan Gaussian

Fungsi keanggotaan Gaussian mempunyai parameter σ, c yang terdapat pada persamaan (2.9) berikut:

$$\text{gaussian}(x; \sigma, c) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (2.9)$$



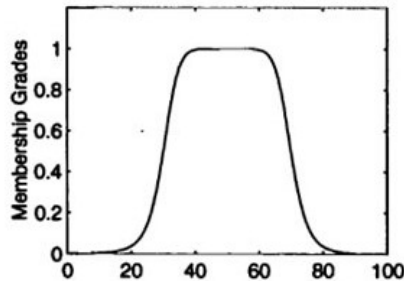
Gambar 2.4 Contoh grafik fungsi keanggotaan Gaussian
(Research hubs, 2015)

d) Fungsi keanggotaan bell

Fungsi keanggotaan bell mempunyai parameter a , b , c yang terdapat pada persamaan (2.10) berikut:

$$bell(x; a, b, c) = \frac{1}{\left(1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}\right)} \quad (2.10)$$

Dengan nilai b adalah positif. Jika b bernilai negatif maka akan menjadi fungsi keanggotaan bell terbalik.



Gambar 2.5 Contoh grafik fungsi keanggotaan bell
(Research hubs, 2015)

2.5 Kendali Logika Fuzzy

Logika *Fuzzy* merupakan sistem kontrol dasar yang bergantung pada derajat keanggotaan *input* dan *output*. *Output* dari logika *Fuzzy* ini tergantung pada keadaan *input* dan laju perubahan keadaan. Dengan kata lain, sistem logika *Fuzzy* bekerja berdasarkan prinsip penugasan *output* tergantung pada kemungkinan-kemungkinan yang ada pada keadaan *input* (Elprocus, n.d.).

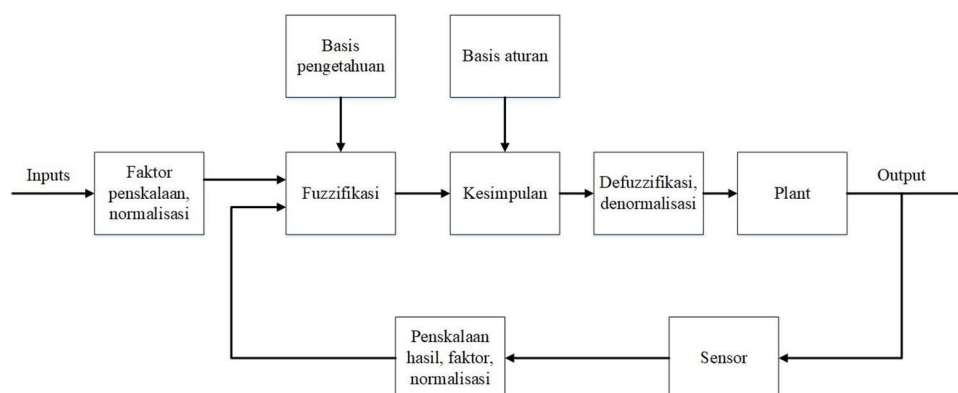
Logika *Fuzzy* berjalan dengan menggunakan konsep menentukan *output* berdasarkan asumsi. Logika ini bekerja dengan berdasarkan himpunan. Setiap himpunan mewakili beberapa variabel linguistik yang dapat mendefinisikan kemungkinan pada keadaan *output*. Hal ini bekerja menggunakan prinsip *if-else-the*, yang dapat dituliskan sebagai logika dengan *if A and B then Z* (Elprocus, n.d.).

Kendali logika *Fuzzy* terdiri dari beberapa komponen yang terdiri dari *input*, *fuzzifier*, blok kontrol, *defuzzifier*, dan sistem yang akan dikontrol. Dimana masukan berupa *error* dari *setpoint* kemudian akan masuk ke *fuzzifier* yang akan

mengubah variabel masukan dalam bentuk numerik menjadi variabel linguistik. Fungsi kontrol blok untuk melakukan operasi logika *Fuzzy* untuk menetapkan *output* berdasar informasi linguistik. Hal ini melakukan penalaran berdasarkan cara interpretasi manusia untuk mencapai logika kontrol. Pengontrol terdiri dari basis pengetahuan yang terdiri dari fungsi keanggotaan *Fuzzy* dan aturan *Fuzzy*. *Defuzzifier* berfungsi untuk mengubah hasil keluaran *Fuzzy* menjadi keluaran yang diperlukan untuk mengontrol suatu sistem (Elprocus, n.d.).

Dalam perancangan sistem pengendali sederhana *Fuzzy*, dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

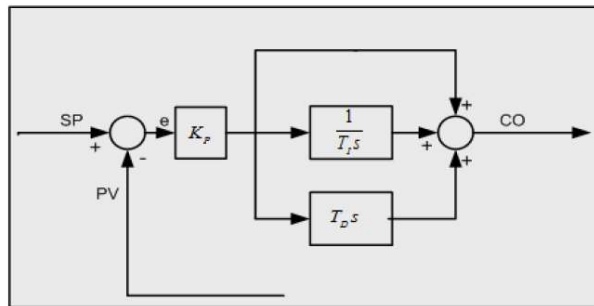
- a) Identifikasi variabel (masukan, keadaan, keluaran) dari *plant*
- b) Partisi semesta pembicaraan dengan masing-masing variabel ke dalam jumlah himpunan *Fuzzy*
- c) Menentukan fungsi keanggotaan untuk setiap himpunan *Fuzzy*
- d) Membuat basis aturan *Fuzzy*
- e) Memilih faktor skala yang sesuai untuk variabel masukan dan keluaran
- f) *Fuzzify* masukkan ke pengendali
- g) Menggunakan perkiraan *Fuzzy* untuk menyimpulkan keluaran dalam setiap aturan
- h) Menggabung *Fuzzy output* yang direkomendasikan dengan setiap aturan
- i) Menerapkan defuzzifikasi untuk membentuk keluaran *crisp*



Gambar 2. 6 Sistem kendali logika *Fuzzy*

2.6 Pengendali PID

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



Gambar 2. 7 Sistem kontrol PID (Setiawan, 2008)

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

Dalam perubahan nilai K_p , K_i , K_d akan mempengaruhi proses kerja dari sistem kontrol tersebut, hal tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah

Tabel 2. 1 Tabel Respon Kontrol PID (Setiawan, 2008)

Respon Tertutup	Loop	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Kestabilan
Pembesaran K_p		Berkurang	Bertambah	Sedikit bertambah	Menurun
Pembesaran K_i		Sedikit berkurang	Bertambah	Bertambah	Menurun
Pembesaran K_d		Sedikit berkurang	Bertambah	Berkurang	Menurun

dengan:

Rise time : Waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10% sampai dengan 90% dari nilai steady state

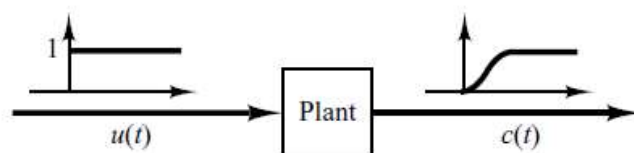
Overshoot : Merupakan lonjakan maksimum yang dialami oleh respon proses

Settling time: Waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai dan menetap didalam kisaran nilai akhir tertentu. (2% atau 5%)

2.7 Aturan *Tuning* Ziegler-Nichols Metode Pertama

Aturan Ziegler-Nichols digunakan untuk mendapatkan parameter PID berupa *gain propotional* K_p , waktu naikan T_i , dan waktu turunan T_d berdasarkan karakteristik respon transien *plant*. Terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan parameter PID menggunakan *Tuning* Ziegler-Nichols (Ogata, 2010).

Pada metode pertama, didapatkan respon eksperimen *plant* ke masukan *unit-step*. Metode ini dapat digunakan disaat hasil respon dari masukan *step* menghasilkan kurva-S. didalam kurva ini terdapat dua konstanta berupa, waktu delay (L) dan waktu konstan (T) yang ditentukan dari gambar garis singgung pada titik belok kurva-S dan menentukan garis singgung dengan sumbu waktu dan garis $c(t) = K$ (Ogata, 2010).

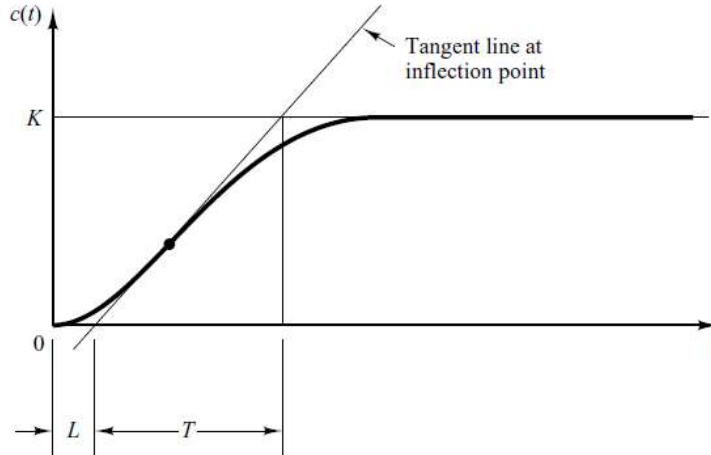


Gambar 2. 8 Respon *unit-step*

Dapat dilihat dalam gambar 2.8 menunjukkan gambar hasil respon *unit-step* dan didapatkan fungsi transfer $C(s)/U(s)$ dengan estimasi sistem orde pertama dengan waktu tunda pada persamaan (2.11) (Ogata, 2010):

$$G(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-L}}{Ts+1} \quad (2.11)$$

Secara lebih detail dapat dilihat gambar 2.9 hasil respon kurva S dengan parameter konstanta dari waktu tunda (L) dan waktu konstan (T) sebagai berikut.



Gambar 2. 9 Respon kurva-S

Dengan menggunakan aturan Ziegler-Nichols metode pertama didapatkan hasil parameter K_p , T_i , T_d pada tabel 2.2:

Tabel 2. 2 Tabel Basis Aturan *Tuning* Ziegler-Nichols pada Respon *Step* Metode Pertama

Tipe Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5 L$

Pengendali PID disetel dengan aturan metode pertama Ziegler-Nichols menghasilkan persamaan $G_c(s)$ pada persamaan (2.12):

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.12)$$

2.8 Pengendali *Fuzzy*-PID

Proses dalam menentukan nilai K_p , T_i , T_d pada pengendali PID dapat diatur secara manual ataupun secara terprogram menggunakan algoritma sistem cerdas. Salah satu algoritma sistem cerdas yang dapat digunakan adalah sistem *Fuzzy*. Proses menentukan nilai K_p , T_i , T_d pada pengendali PID menggunakan sistem *Fuzzy* ditentukan dengan berdasar pembacaan dari *error* $e(t)$ dan *delta_error* $\Delta e(t)$. Pembacaan *error* dan *delta_error* ini digunakan sebagai masukan untuk menentukan perubahan nilai dari K_p , T_i , dan T_d pada sistem *Fuzzy*. Jika *error* sudah mendekati ke arah nol, maka nilai K_p , T_i , T_d dipertahankan. Tetapi jika *error* masih jauh dari nol, maka proses penentuan K_p , T_i , T_d akan mengikuti aturan (*base*) yang telah dibuat (Rahmat & Nugroho, 2019).

Dalam pengendali *Fuzzy* proporsional dengan tipe SISO (*single input and single output*) dapat dibuat sebuah aturan basis menggunakan mode simetris dengan *error* (e) dan keluaran *Fuzzy* (u) sebagai berikut (Passino & Yurkovich, 1998):

- a) **Jika** e adalah NB **Maka** u adalah NB
- b) **Jika** e adalah NM **Maka** u adalah NM
- c) **Jika** e adalah NS **Maka** u adalah NS
- d) **Jika** e adalah ZE **Maka** u adalah ZE
- e) **Jika** e adalah PS **Maka** u adalah PS
- f) **Jika** e adalah PM **Maka** u adalah PM
- g) **Jika** e adalah PB **Maka** u adalah PB

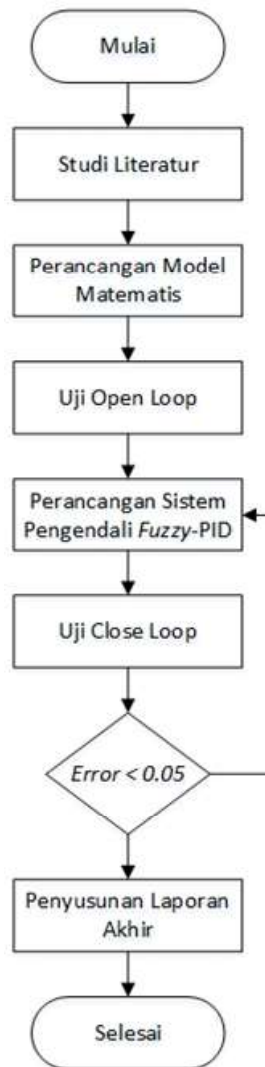
Dalam penggunaan *Fuzzy inference system* (FIS) terdapat metode yang digunakan, salah satunya menggunakan sistem Mamdani, dimana pada sistem ini memiliki kelebihan yaitu, intuitif, cocok dengan masukan yang sering digunakan manusia, *rule base* yang mudah ditafsirkan, dan dapat diterima secara luas (The MathWorks, Inc, n.d.).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

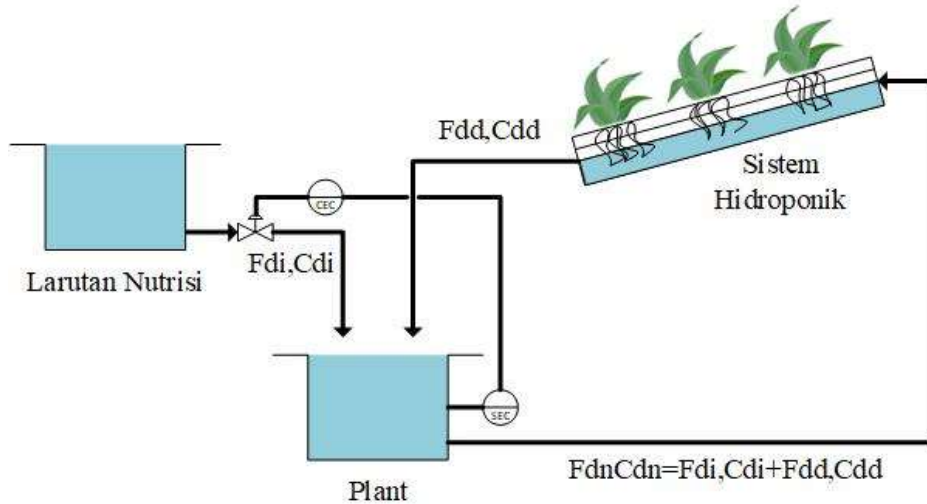
Pada penelitian tugas akhir ini dirancang dengan beberapa tahapan yang digambarkan pada diagram alir dibawah ini. Tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir

3.1 Skema *Plant* Hidroponik

Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan model *plant* seperti gambar dibawah:



Gambar 3. 2 Skema *plant* hidroponik

Pada gambar 3.2 menunjukkan gambar *plant* yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini dengan:

F_{di}, C_{di} = masukan *flow* (mL/s, %)

F_{dd}, C_{dd} = keluaran *flow* hidroponik (mL/s, %) dan konsentrasi hidroponik

F_{dn}, C_{dn} = masukan ke hidroponik berupa *flow* (mL/s, %) dan konsentrasi

Dalam penelitian ini digunakan pemodelan dengan 2 tangki, dimana pada tangki pertama berisi dengan larutan nutrisi untuk tanaman hidroponik dan akan dialirkan ke tangki *plant* yang selanjutnya akan dialirkan ke sistem hidroponik.

Pada penelitian ini menggunakan data dari tugas akhir sebelumnya yang berupa besaran *flow*, konsentrasi larutan nutrisi, dan nilai EC yang digunakan.

3.2 Pemodelan Matematis

Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan model matematis proses *EC* dengan menggunakan persamaan *first order plus dead time* (FOPDT) yang mengacu pada persamaan (2.11) pada bab 2,

$$\text{Proses EC} = G(s) = \frac{6,17e^{-12,3s}}{1,2s+1} \quad (3.1)$$

Dalam penentuan pemodelan *transmitter* dapat diketahui dengan mencari gain *transmitter* dari perbandingan rentang keluaran (*mA*) dibagi dengan rentang masukan *PPM* (*mg/L*) seperti pada persamaan (3.5) dimana:

$$\Delta PPM \text{ (mg/L)} = 1400 - 0 = 1400 \quad (3.2)$$

$$\Delta \text{rentang keluaran (mA)} = 20 - 4 = 16 \quad (3.3)$$

$$K = \frac{\text{span output}}{\text{span variabel terukur}} \quad (3.4)$$

$$K_t = \frac{16}{1400} \quad (3.5)$$

Dalam penelitian ini *transmitter* yang digunakan memiliki nilai *time constant* sebesar 1s sehingga didapat pemodelan *transmitter* dengan metode FOPDT yang mengacu pada persamaan (2.11) pada bab 2 yaitu:

$$G_t(s) = \frac{16/1400}{s+1} \quad (3.6)$$

Dalam penentuan *gain valve* dapat diketahui dari perbandingan rentang keluaran *flow* (*mL/s*) dibagi dengan rentang masukan (*mA*) seperti pada persamaan (3.9):

$$\Delta \text{keluaran flow (mL/s)} = 966,67 - 0 = 966,67 \quad (3.7)$$

$$\Delta \text{masukan (mA)} = 20 - 4 = 16 \quad (3.8)$$

$$K_{\text{valve}} = \frac{966,67}{16} = 60,42 \quad (3.9)$$

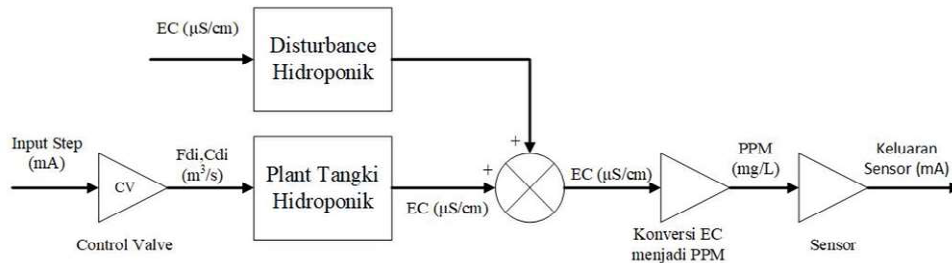
Dalam penelitian ini *control valve* yang digunakan memiliki nilai *time constant* sebesar 2s sehingga didapat pemodelan *control valve* dengan metode FOPDT yang mengacu pada persamaan (2.11) pada bab 2 yaitu:

$$G_t(s) = \frac{60,42}{2s+1} \quad (3.10)$$

Dalam pemodelan *disturbance*, keluaran dari hidroponik dianggap sebagai *disturbance* dikarenakan hasil dari keluaran hidroponik mempengaruhi nilai PPM yang ada dalam tangki nutrisi. Nilai *gain disturbance* didapat dari pembagian nilai *flow* konsentrasi keluaran hidroponik dengan penurunan rentang *EC* dalam 3 hari. Nilai *gain* yang didapat sebesar 0,0035.

3.3 Proses *Open Loop*

Simulasi *open loop* dilakukan untuk melihat respon sistem ketika tanpa kendali logika *Fuzzy*-PID. Uji *open loop* dilakukan juga untuk melihat respon transien dari plant yang akan diuji. Dimana pada simulasi ini mendapat masukan berupa nilai dengan rentang 4-20 mA.



Gambar 3. 3 Diagram blok *open loop*

3.4 Penentuan Parameter PID dan Logika *Fuzzy*

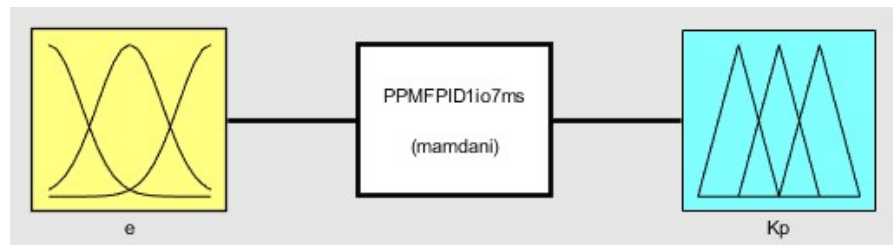
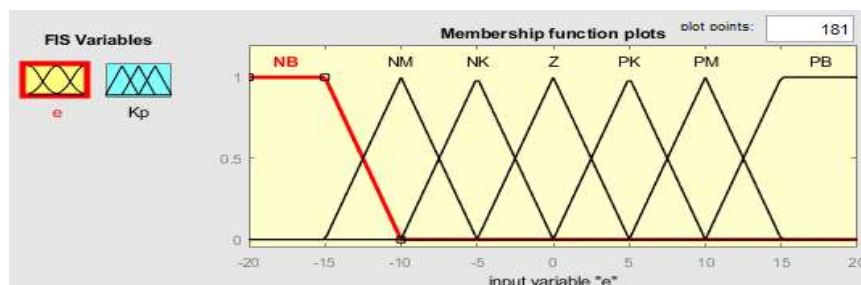
Untuk mendapatkan respon pengendalian yang stabil dan optimal maka dibutuhkan penentuan parameter tuning PID berupa K_p , T_i , dan T_d dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols yang mengacu pada tabel 2.2 pada bab 2 yang merupakan aturan basis *tuning* Ziegler-Nichols metode pertama. Hasil yang diperoleh, didapat nilai K_p sebesar 0,242 ; K_i sebesar 0,01 ; dan K_d sebesar 1,576. pada percobaan simulasi dengan menggunakan sistem pengendali PID, hasil *tuning* yang didapat tidak dapat memenuhi kriteria untuk sistem yang diinginkan. Sehingga dilakukan *tuning* secara eksperimen untuk memperbaiki respon dengan menggunakan nilai K_p , K_i , K_d sebagai berikut.

Tabel 3. 1 *Tuning* PID secara Eksperimen

	Eksperimen 1	Eksperimen 2	Eksperimen 3
Kp	0,5	0,25	0,125
Ki	0,4	0,2	0,1
Kd	1,7	0,85	0,425

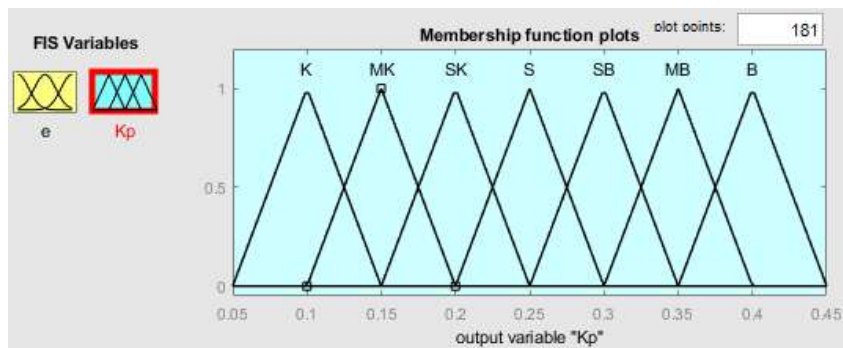
Berdasarkan nilai-nilai yang ditentukan didapat hasil simulasi yang paling baik dari segi *settling time*, maksimum *overshoot*, dan *error* didapat pada pengendali PID pada nilai-nilai di eksperimen kedua, sehingga didapat nilai Kp sebesar 0,25, Ki sebesar 0,2 dan Kd sebesar 0,85

Logika *Fuzzy* berfungsi untuk menentukan nilai pengendali PID atau biasa yang disebut *Fuzzy*-PID. Dalam tugas akhir ini hanya menggunakan 1 *input* berupa *error* sebagai masukan dan nantinya nilai Kp akan menjadi hasil keluaran dari proses sistem *Fuzzy* ini dikarenakan dalam kontrol PID, Kp akan sebanding dengan besaran *error* sehingga besaran keluaran Kp dapat diatur dengan menggunakan *membership function* dengan *rule base* yang dibuat. Berikut merupakan desain logika *Fuzzy* untuk sistem pengendali yang digunakan.

**Gambar 3. 4** Desain logika *Fuzzy***Gambar 3. 5** *Membership function* masukan *error*

Pada bagian *error* digunakan 7 buah *membership function* yang berupa segitiga dan trapesium dengan rentang nilai -20 sampai 20 yang didapat dari *error* pada simulasi PID. Perancangan *error* ditunjukkan seperti pada gambar 3.5.

Pada bagian keluaran berupa parameter K_p , dimana merupakan tahapan selanjutnya berupa pemetaan nilai *crisp* keluaran. Data pada proses pengendalian berbentuk *crisp* dengan mengalami proses fuzzifikasi sehingga nantinya nilai *crisp* akan dipetakan ke dalam nilai *Fuzzy* yang bersesuaian dengan rentang kerja setiap variabel masukan. Rentang yang digunakan dalam *membership* ini memiliki nilai dari 0,05 sampai dengan 0,45.



Gambar 3. 6 *Membership function* keluaran K_p

Dalam perancangan logika *Fuzzy* terdapat sebuah *rule base* sebagai aturan untuk menghubungkan antara masukan dan keluaran. Dimana nantinya dalam *rule base* ini yang akan memproses data masukan dari *Fuzzy* yang berupa *error* untuk menentukan keluaran dari sistem *Fuzzy* yang berupa nilai K_p untuk mendapatkan nilai yang terbaik.

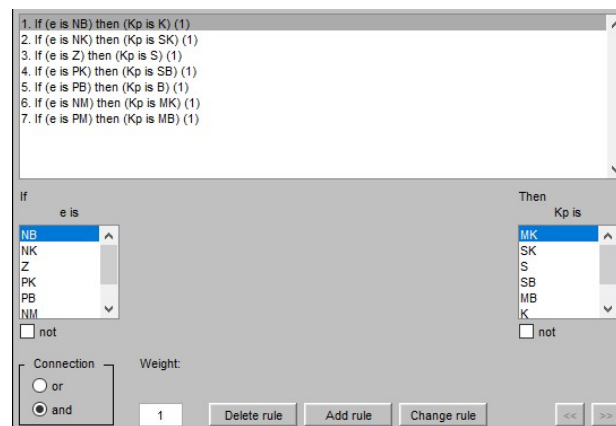
Dalam *rule base Fuzzy* digunakan untuk membuat sebuah aturan antara masukan dengan keluaran. Parameter yang digunakan dalam *rule base* ini yaitu NB= Negatif Besar, NM= Negatif Medium NK= Negatif Kecil, Z= Zero, PK= Positif Kecil, PM= Positif Medium, PB= Positif Besar, K= Kecil, MK= Medium Kecil, SK=Sedikit Kecil, S= Steady, SB= Sedikit Besar, MB= Medium Besar, dan B= Besar.

Dalam pembuatan *rule base Fuzzy* mengacu pada sub bab 2.8 tentang pembuatan *rule base* simetris dengan

1. **Jika** e adalah NB **Maka** K_p adalah K

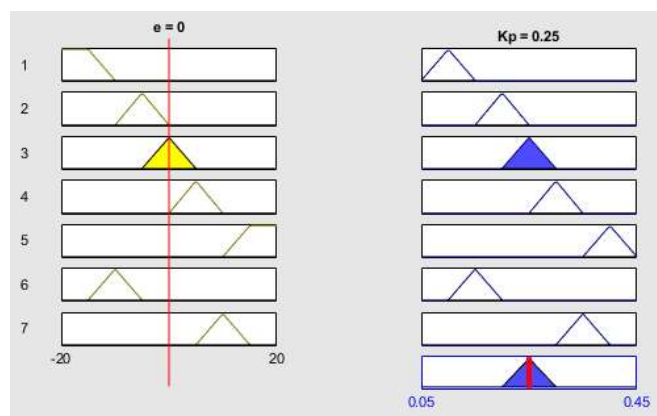
2. **Jika** e adalah NM **Maka** K_p adalah MK
3. **Jika** e adalah NK **Maka** K_p adalah SK
4. **Jika** e adalah Z **Maka** K_p adalah S
5. **Jika** e adalah PK **Maka** K_p adalah SB
6. **Jika** e adalah PM **Maka** K_p adalah MB
7. **Jika** e adalah PB **Maka** K_p adalah B

Dari *rule base* ini kemudian dimasukkan pada sistem *rule base Fuzzy* pada *software* MATLAB Simulink R2020a sebagai aturan dalam penentuan nilai parameter PID dengan desain basis aturan logika *Fuzzy* pada FIS editor sesuai dengan parameter yang berhubungan antara masukan dan keluaran *Fuzzy*.



Gambar 3. 7 *Rule editor*

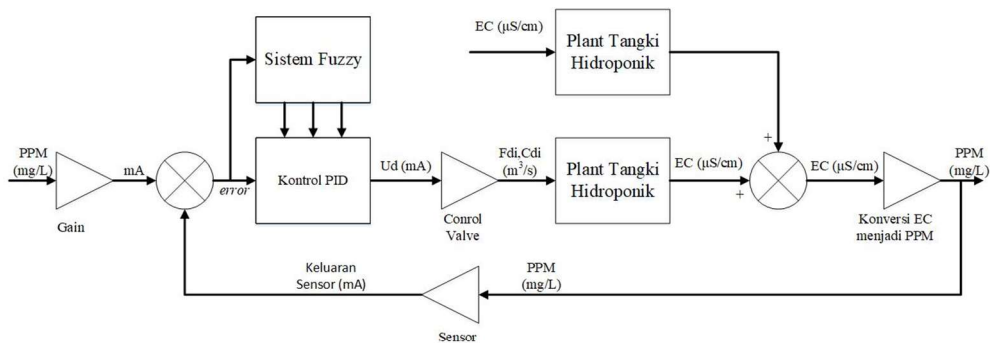
Setelah membuat *rule base* pada *rule editor* seperti pada gambar 3.7, hasilnya dapat dilihat pada *rule viewer* pada gambar 3.8.



Gambar 3. 8 *Rule viewer*

3.5 Proses *Close Loop*

Simulasi *close loop* digunakan untuk melihat respon keluaran dimana menggunakan sistem kendali berupa PID dan *Fuzzy*-PID. Sistem kendali *Fuzzy*-PID dengan masukan pada *Fuzzy logic controller* berupa nilai *error* dari *set point* yang selanjutnya akan dikonversi kedalam sinyal elektrik untuk dapat diterima *control valve* yang akan menghasilkan nilai *flow* yang akan diproses dan didapat nilai PPM yang diinginkan. Dalam uji *close loop* ini digunakan dengan uji *set point* dan mengubah *set point* untuk melihat kerja sistem kontrol dan kemudian akan dilakukan uji *disturbance*. Diagram blok dari sistem *close oop* ini terdapat pada gambar 3.9.



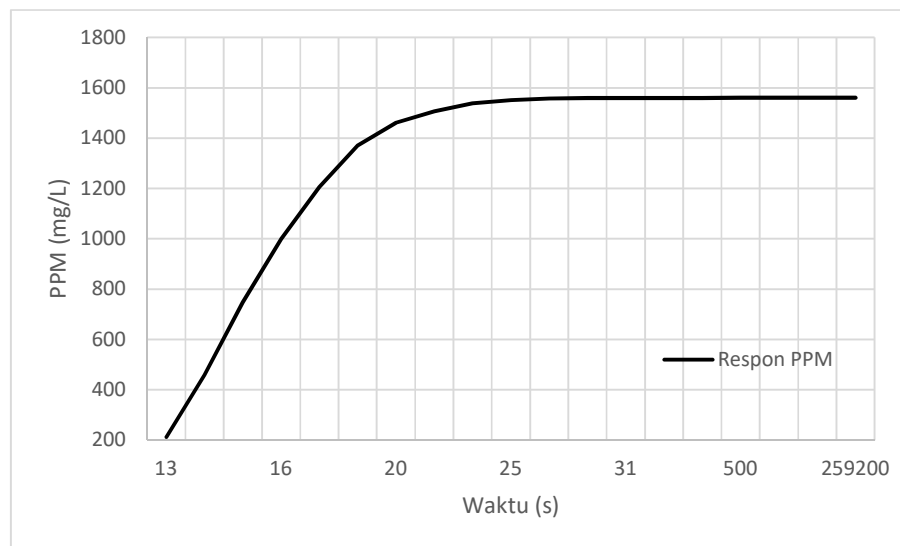
Gambar 3. 9 Diagram *close loop* sistem kontrol *Fuzzy*-PID

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi *Open Loop*

Pada simulasi *open loop* digunakan *software* MATLAB Simulink R2020a. Simulasi *open loop* ini menggunakan masukan berupa masukan *input step* dengan rentang sebesar 4 sampai 20 mA. Dalam rentang masukan tersebut, diharapkan hasil keluaran dari *plant* yang berupa PPM dengan rentang sebesar 1050-1400. Setelah dilakukan simulasi *open loop* ini, didapatkan hasil pada gambar 4.1:



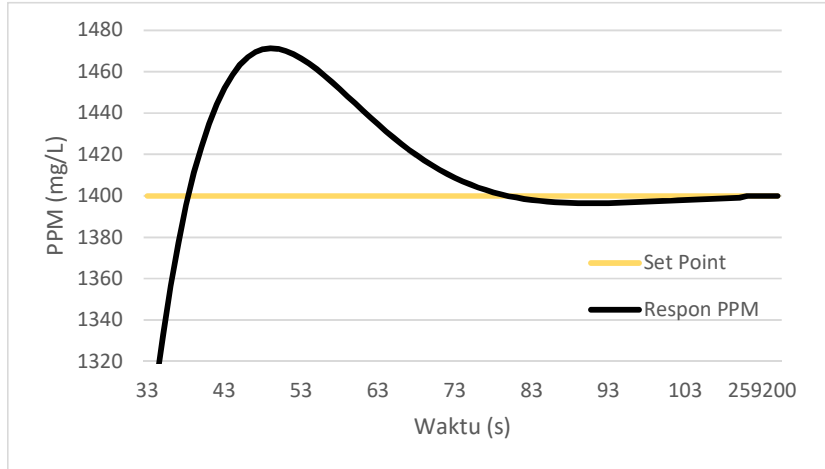
Gambar 4. 1 Hasil simulasi *open loop*

Berdasarkan gambar 4.1, hasil keluaran *plant* pada simulasi *open loop* ini sebesar 1560 ppm. Hasil ini dapat dikatakan sudah konstan tetapi masih belum dapat mencapai *set point* sehingga dibutuhkan sebuah sistem pengendali untuk mengendalikan hasil keluaran agar dapat mencapai hasil sesuai yang diinginkan.

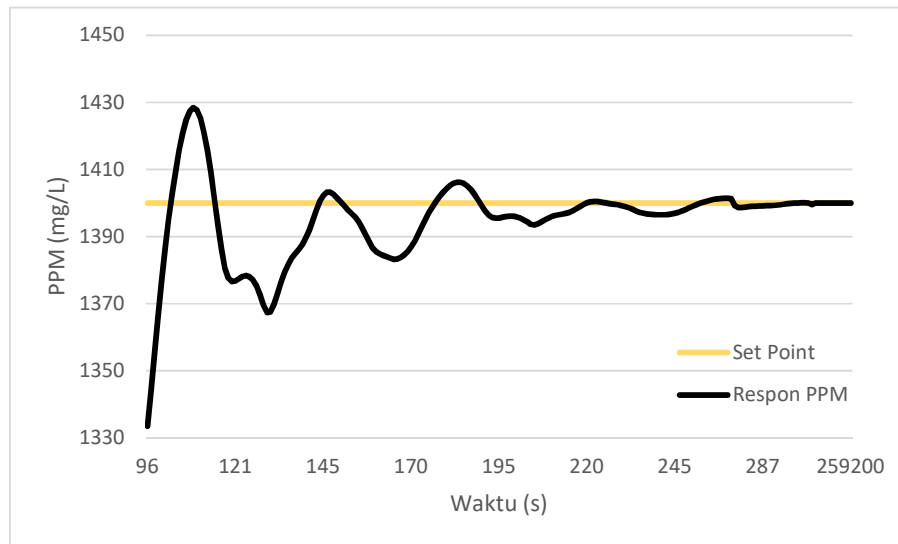
4.2 Hasil Simulasi *Close Loop Set Point Tetap*

Pada simulasi *close loop* digunakan *software* MATLAB Simulink R2020a. Pada simulasi *set point* tetap, diberikan masukan PPM sebesar 1400 mg/L. Simulasi ini menggunakan dua sistem pengendali yaitu sistem pengendali PID dan

sistem pengendali *Fuzzy*-PID. Hasil simulasi *close loop set point* tetap terdapat pada gambar 4.2 dan gambar 4.3:



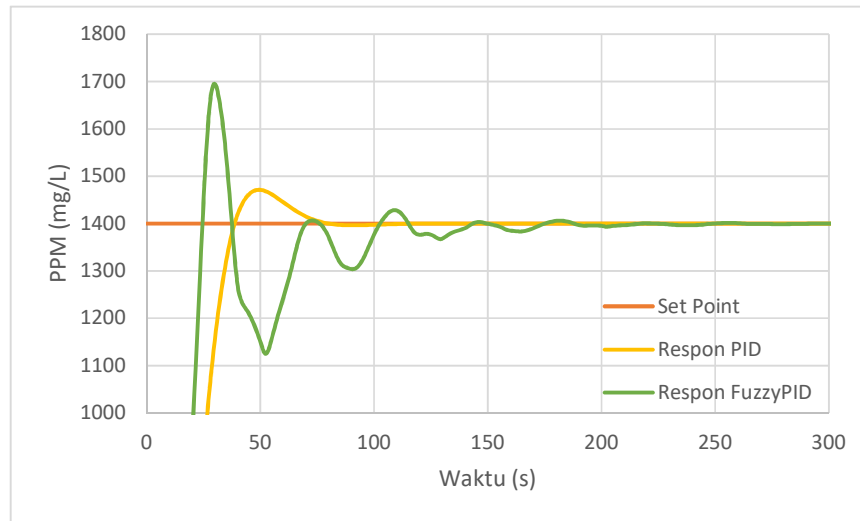
Gambar 4. 2 Hasil simulasi *close loop set point* tetap menggunakan sistem pengendali PID



Gambar 4. 3 Hasil simulasi *close loop set point* tetap menggunakan sistem pengendali *Fuzzy*-PID

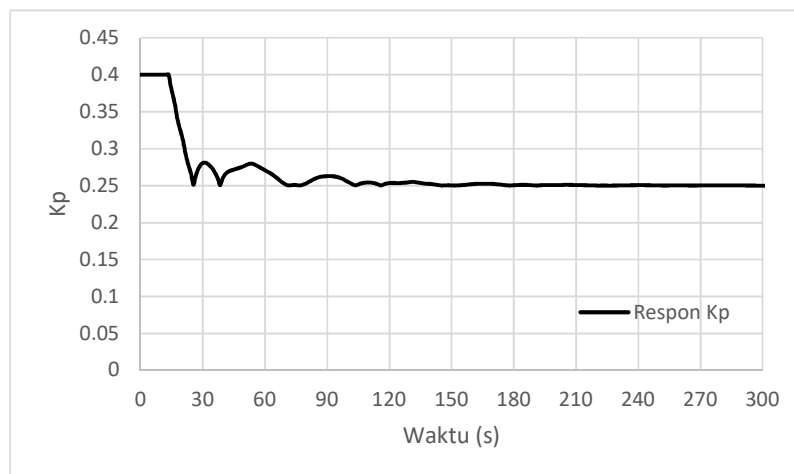
Berdasarkan gambar 4.2 dan gambar 4.3, dapat dilihat bahwa pada hasil simulasi *close loop set point* tetap, masing-masing respon PPM pada sistem pengendali PID dan sistem pengendali *Fuzzy*-PID sudah konstan dan sudah dapat mencapai *set point*. Berdasarkan karakteristiknya responnya, sistem pengendali

Fuzzy-PID memiliki keunggulan memiliki *rise time* yang lebih cepat dari sistem pengendali PID, sementara memiliki kelemahan *settling time* lebih lama, *overshoot* yang lebih tinggi, *error steady-state* yang lebih besar, dan IAE yang lebih besar dibandingkan dengan sistem pengendali PID.



Gambar 4. 4 Perbandingan respon simulasi *close loop set point* tetap dengan menggunakan sistem pengendali PID dan *Fuzzy*-PID

Sistem kerja *Fuzzy* pada sistem pengendali *Fuzzy*-PID untuk mengubah rentang K_p pada simulasi *close loop set point* tetap agar mendapat nilai terbaik dengan masukan *error* pada *plant* berdasarkan *rule base* yang telah dibuat, ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Respon K_p simulasi *close loop set point* tetap

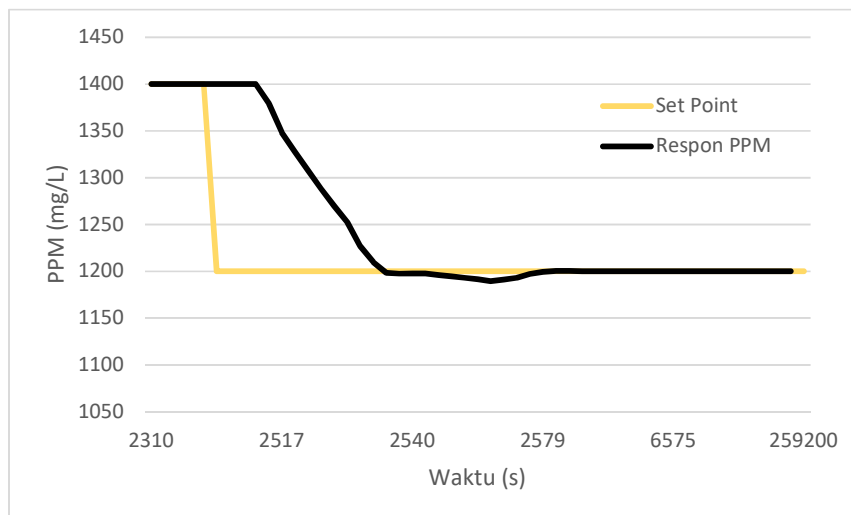
Nilai-nilai perbandingan karakteristik dari sistem pengendali PID dan *Fuzzy*-PID dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Perbandingan Karakteristik Respon *Close Loop Set Point* Tetap dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan *Fuzzy*-PID

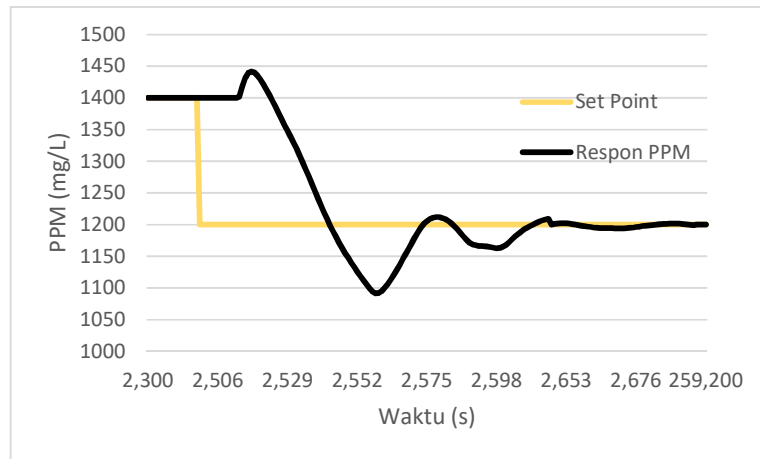
Karakteristik Respon	PID	<i>Fuzzy</i> -PID
<i>Rise Time (s)</i>	19,11	9,98
<i>Settling Time (s)</i>	65,19	132,23
<i>Maximum Overshoot (%)</i>	5,09	21,12
<i>Error Steady-State (%)</i>	0,002	0,007
IAE	394,08	420

4.3 Hasil Simulasi *Close Loop Uji Tracking Turun Set Point*

Pada simulasi ini digunakan *software* MATLAB Simulink R2020a. Pada simulasi uji *tracking* turun *set point*, diberikan masukkan ppm sebesar 1400 mg/L dan akan diubah menjadi 1200 mg/L pada detik ke 2500. Simulasi ini menggunakan dua sistem pengendali yaitu sistem pengendali PID dan sistem pengendali *Fuzzy*-PID. Hasil simulasi terdapat pada gambar 4.6 dan gambar 4.7:

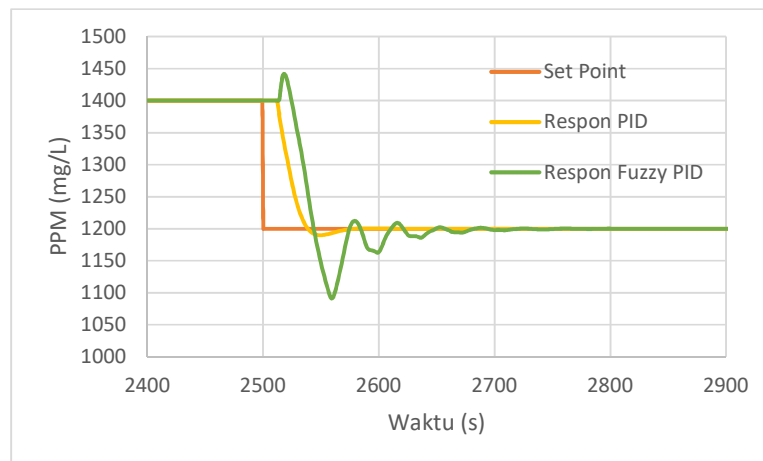


Gambar 4. 6 Hasil simulasi uji *tracking* turun *set point* menggunakan sistem pengendali PID



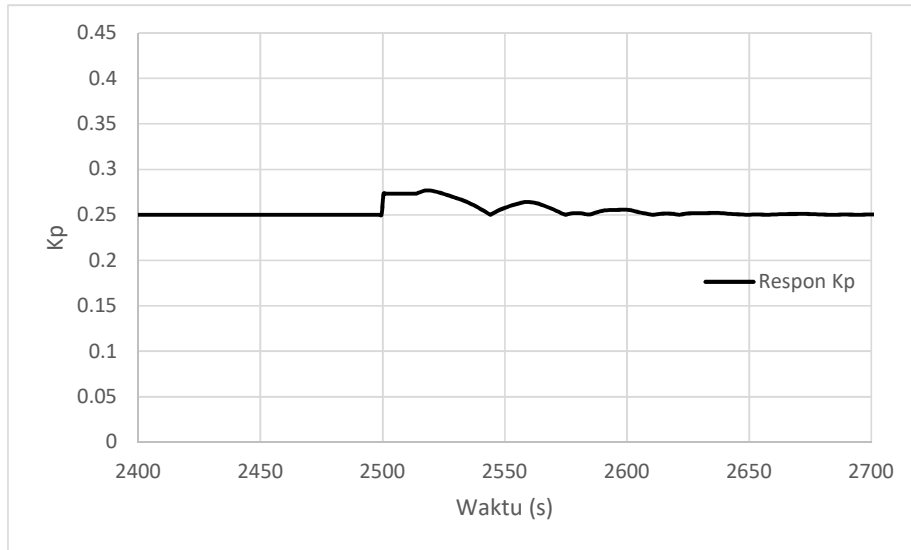
Gambar 4. 7 Hasil simulasi uji *tracking* turun *set point* menggunakan sistem pengendali *Fuzzy-PID*

Berdasarkan gambar 4.6 dan gambar 4.7, dapat dilihat bahwa pada hasil simulasi uji *tracking* turun *set point*, masing-masing respon PPM pada sistem pengendali PID dan sistem pengendali *Fuzzy-PID* sudah konstan dan sudah dapat mencapai *set point*. Berdasarkan karakteristiknya responnya, sistem pengendali *Fuzzy-PID* memiliki keunggulan memiliki *rise time* yang lebih cepat dari sistem pengendali PID, sementara memiliki kelemahan *settling time* lebih lama, *overshoot* yang lebih tinggi, *error steady-state* yang lebih besar dan IAE yang lebih besar dibandingkan dengan pengendali PID.

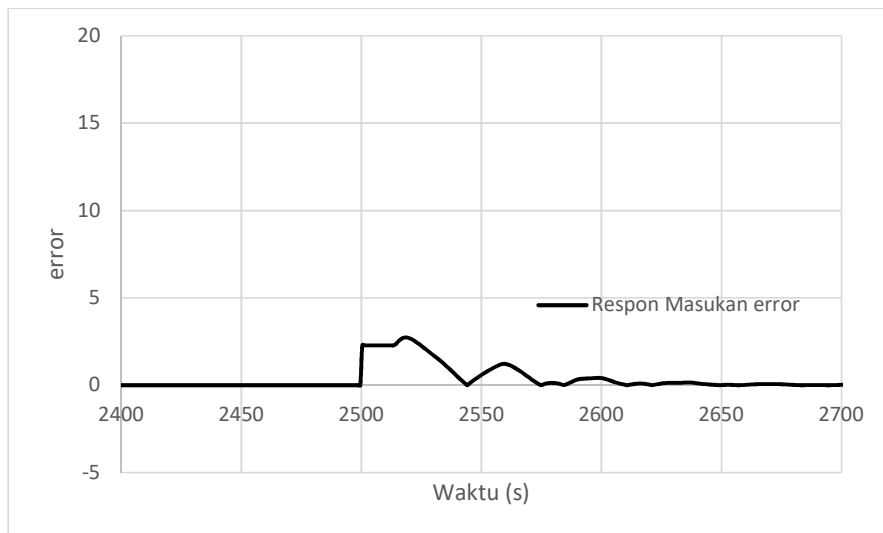


Gambar 4. 8 Perbandingan respon simulasi uji *tracking* turun *set point* dengan menggunakan sistem pengendali PID dan *Fuzzy-PID*

Sistem kerja *Fuzzy* pada sistem pengendali *Fuzzy*-PID untuk mengubah rentang K_p pada simulasi *close loop* perubahan *set point* agar mendapat nilai terbaik dengan memasukkan *error* pada *plant* berdasarkan *rule base* yang telah dibuat, ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Respon K_p simulasi uji *tracking* turun *set point*



Gambar 4. 10 Respon *error* simulasi uji *tracking* turun *set point*

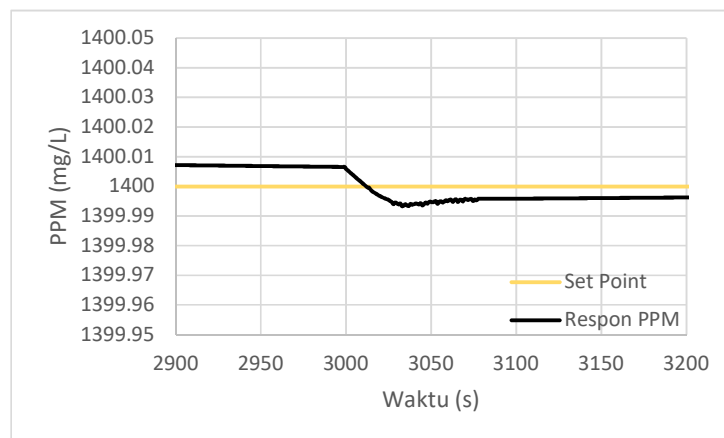
Nilai-nilai perbandingan karakteristik dari sistem pengendali PID dan *Fuzzy*-PID dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Perbandingan Karakteristik Respon Uji *Tracking Turun Set Point* dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan *Fuzzy*-PID

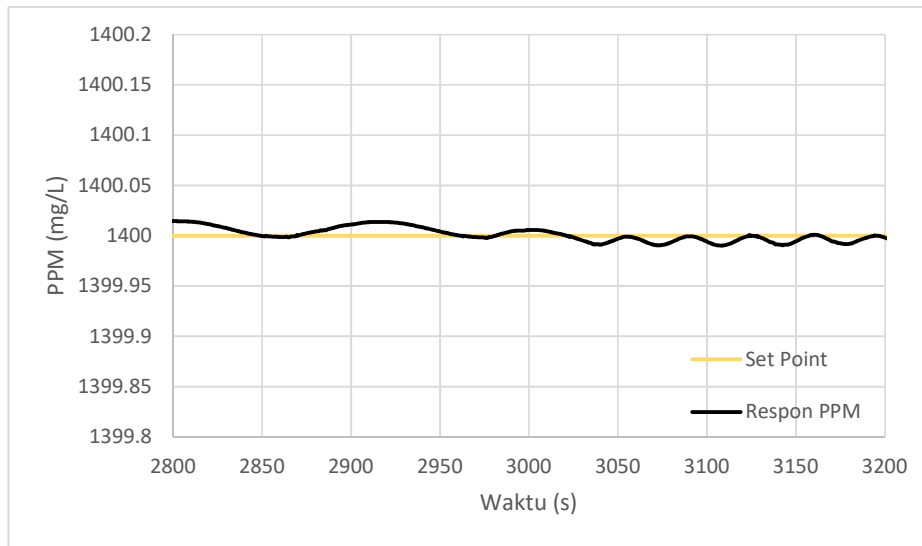
Karakteristik Respon	PID	<i>Fuzzy</i> -PID
<i>Rise Time (s)</i>	14,72	8,31
<i>Settling Time (s)</i>	2032	2602
<i>Maximum Overshoot (%)</i>	22,61	41,31
<i>Error Steady-State (%)</i>	0,004	0,01
IAE	450,37	537,33

4.4 Hasil Uji *Disturbance* pada Simulasi *Close Loop*

Pada simulasi ini digunakan *software* MATLAB Simulink R2020a. Pada uji *disturbance*, diberikan masukan PPM sebesar 1400 mg/L dan diasumsikan nilai time konstan *disturbance* turun menjadi 1000 detik, hal ini dilakukan untuk menunjukkan apakah pengendali mampu menanggapi gangguan yang ada, seperti pada simulasi sebelumnya, simulasi dilakukan sampai detik 259200. Simulasi ini menggunakan dua sistem pengendali yaitu sistem pengendali PID dan sistem pengendali *Fuzzy*-PID. Hasil simulasi terdapat pada gambar 4.11 dan gambar 4.12:

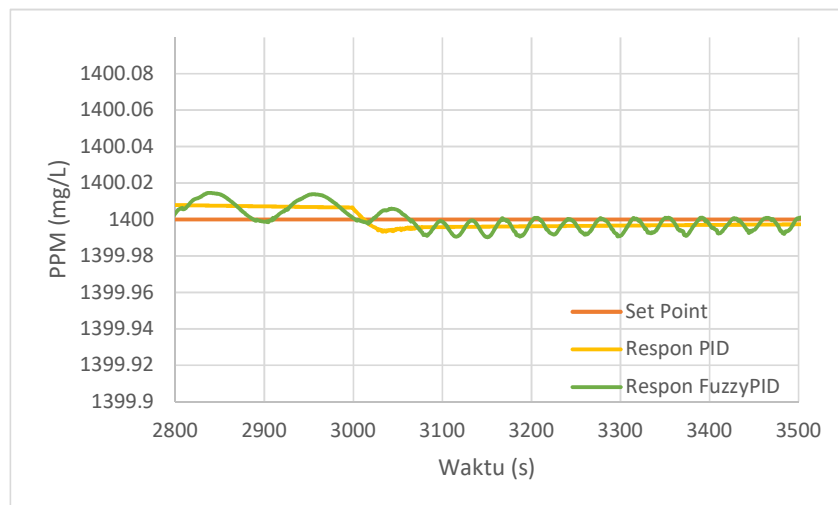


Gambar 4. 11 Hasil uji *disturbance* pada simulasi *close loop* menggunakan sistem pengendali PID



Gambar 4.12 Hasil uji *disturbance* pada simulasi *close loop* menggunakan sistem pengendali *Fuzzy-PID*

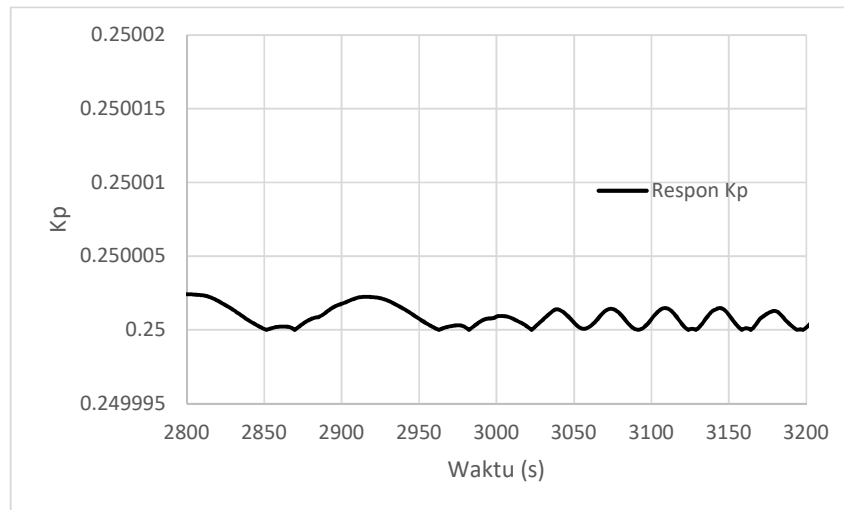
Berdasarkan gambar 4.11 dan gambar 4.12, dapat dilihat bahwa pada hasil uji *disturbance* pada simulasi *close loop*, masing-masing respon PPM pada sistem pengendali PID mendekati *set point* dan sistem pengendali *Fuzzy-PID* mendekati *set point* dan memiliki osilasi yang sangat kecil. *Disturbance* pada hidroponik memberikan pengaruh yang sangat kecil. Berdasarkan karakteristiknya responnya, sistem pengendali *Fuzzy-PID* memiliki keunggulan memiliki *rise time* yang lebih



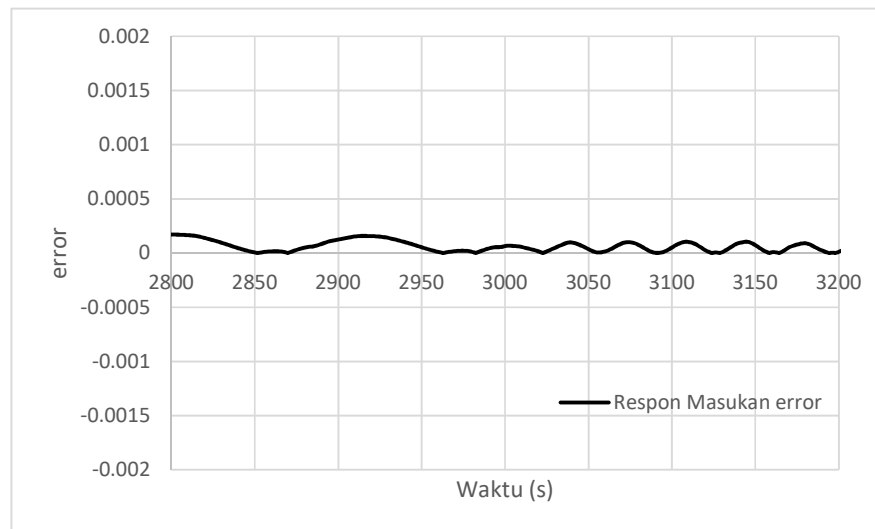
Gambar 4.13 Perbandingan respon uji *disturbance* pada simulasi *close loop* dengan menggunakan sistem pengendali PID dan *Fuzzy-PID*

cepat dari sistem pengendali PID, sementara memiliki kelemahan *settling time* lebih lama, *overshoot* yang lebih tinggi, *error steady-state* yang lebih besar dan IAE yang lebih besar dibandingkan dengan pengendali PID.

Sistem kerja *Fuzzy* pada sistem pengendali *Fuzzy-PID* untuk mengubah rentang K_p pada uji *disturbance* pada simulasi *close loop* agar mendapat nilai terbaik dengan masukan *error* pada *plant* berdasarkan *rule base* yang telah dibuat, ditunjukkan pada gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Respon K_p uji *disturbance* pada simulasi *close loop*



Gambar 4. 15 Respon *error* uji *disturbance* pada simulasi *close loop*

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

Tabel 4. 3 Perbandingan Karakteristik Respon Uji *Disturbance* pada Simulasi *Close Loop* dengan Menggunakan Sistem Pengendali PID dan *Fuzzy-PID*

Karakteristik Respon	PID	<i>Fuzzy-PID</i>
<i>Rise Time (s)</i>	19,1	9,98
<i>Settling Time (s)</i>	65,22	132,2
<i>Maximum Overshoot (%)</i>	5,1	21,13
<i>Error Steady-Stade (%)</i>	0,001	0,003
IAE	395,14	420,6

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari tugas akhir ini dalam memperoleh hasil perancangan sistem pengendalian *Fuzzy*-PID konsentrasi nutrisi (PPM) pada hidroponik pakcoy *nutrient film technique* (NFT) berbasis EC didapatkan dari simulasi *close loop* didapatkan karakteristik respon kontrol PID yaitu *rise time* sebesar 19.11 detik, *settling time* sebesar 65.19 detik, *maximum overshoot* sebesar 5.09 persen, *error steady state* sebesar 0.002 persen, dan IAE sebesar 394.08. Sedangkan pada *Fuzzy*-PID yaitu *rise time* sebesar 9.98 detik, *settling time* sebesar 132.23 detik, *maximum overshoot* sebesar 32.12 persen, *error steady state* sebesar 0.007, dan IAE sebesar 420.

5.2 Saran

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

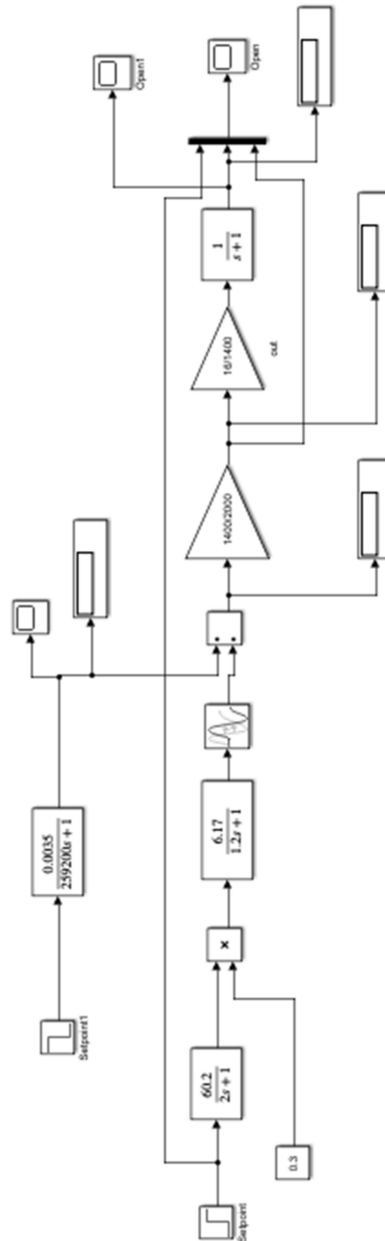
DAFTAR PUSTAKA

- Bart, K. (1992). *Neural Network and*. London: Prentice Hall.
- Chartier, L. (2015, Maret). Hydroponics & Nutrient Application. *gpn (Greenhouse Product News)*, hal. 28 & 30.
- D'Anna, C. (2019, April 21). *Nutrient Film Technique in Hydroponic Gardens*. Diambil kembali dari the spruce: <https://www.thespruce.com/hydroponic-gardens-nutrient-film-technique-1939220>
- Elprocus. (t.thn.). *Fuzzy Logic - A Way to Achieve Control Based on Imprecise Inputs*. Diambil kembali dari Elprocus: <https://www.elprocus.com/fuzzy-logic-way-achieve-control-based-imprecise-inputs/>
- Home Hydro Systems. (t.thn.). *ph/TDS/PPM Levels for Vegetables*. Diambil kembali dari Home Hydro Systems: http://www.homehydrosystems.com/ph_tds_ppm/ph_vegetables_page.html
- Martinez, D. (2016, Oktober 20). *pH and PPM: Knowing What Your Plants Are Eating and How Much They Can Handle*. Diambil kembali dari GROWACE.COM: <https://growace.com/blog/ph-and-ppm-knowing-what-your-plants-are-eating-and-how-much-they-can-handle/>
- Max. (2019, Januari 7). *TDS, EC, and PPM Explained*. Diambil kembali dari Green and Vibrant: <https://www.greenandvibrant.com/tds-ec-ppm>
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering 5th Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Pancawati, D., & Yulianto, A. (2016). Implementasi Fuzzy Logic Controller untuk Mengatur pH Nutrisi Pada Sistem Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT). *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 278-289.
- Passino, K. M., & Yurkovich, S. (1998). *Fuzzy Control*. USA: Addison Wesley Longman.
- Rahmat, B., & Nugroho, B. (2019). *Pemrograman Fuzzy dan Jaringan Syaraf Tiruan untuk Sistem Kendali Cerdas*. Sidoarjo: Indomedia Pustaka.

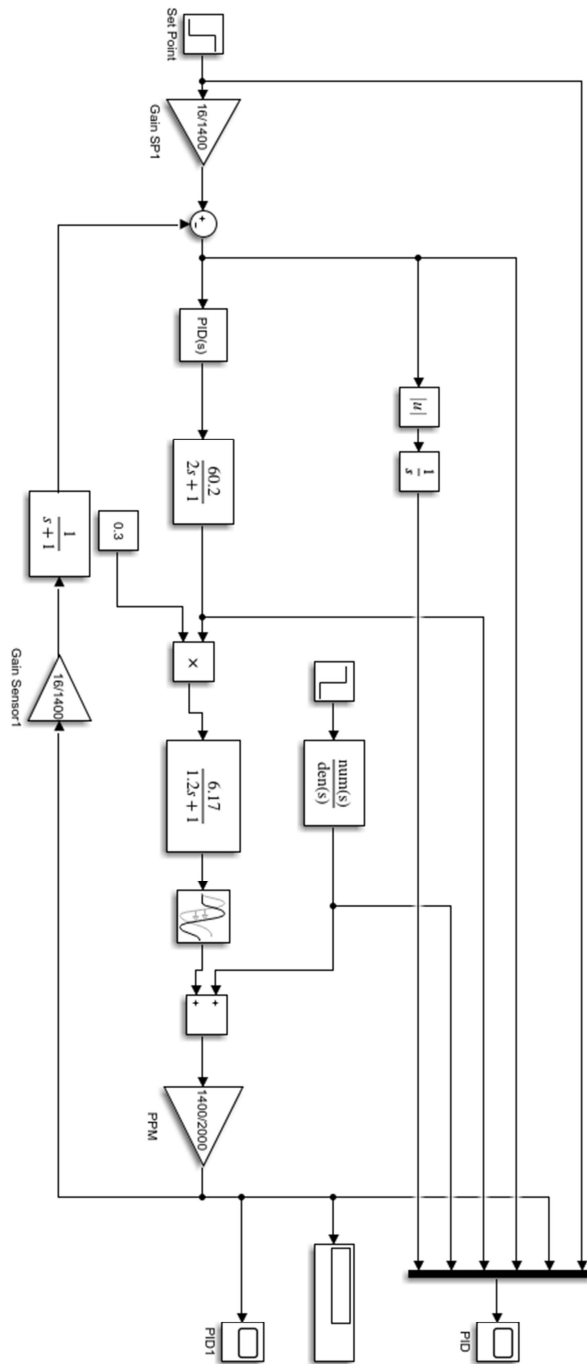
- Research hubs. (2015). *Fuzzy Logic Membership Function*. Diambil kembali dari Research hubs: <http://researchhubs.com/post/engineering/fuzzy-system/fuzzy-membership-function.html>
- Setiawan, I. (2008). *Kontrol PID untuk Proses Industri*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Storey, A. (2016, Juli 22). *Here's What You Need to Know About Growing Bok Choy in Hydroponics*. Diambil kembali dari Powered by Plenty: <https://university.upstartfarmers.com/blog/growing-bok-choy>
- The MathWorks, Inc. (t.thn.). *Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems*. Diambil kembali dari MathWorks: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html;jsessionid=9b88e716653962a9fdc3b7ae399d>
- Tirto, K. (2014, September 15). *Gejala Kekurangan Nutrisi Pada Tanaman*. Diambil kembali dari HIDROPONIQ: <https://hidroponiq.com/2014/09/gejala-kekurangan-nutrisi/>

LAMPIRAN

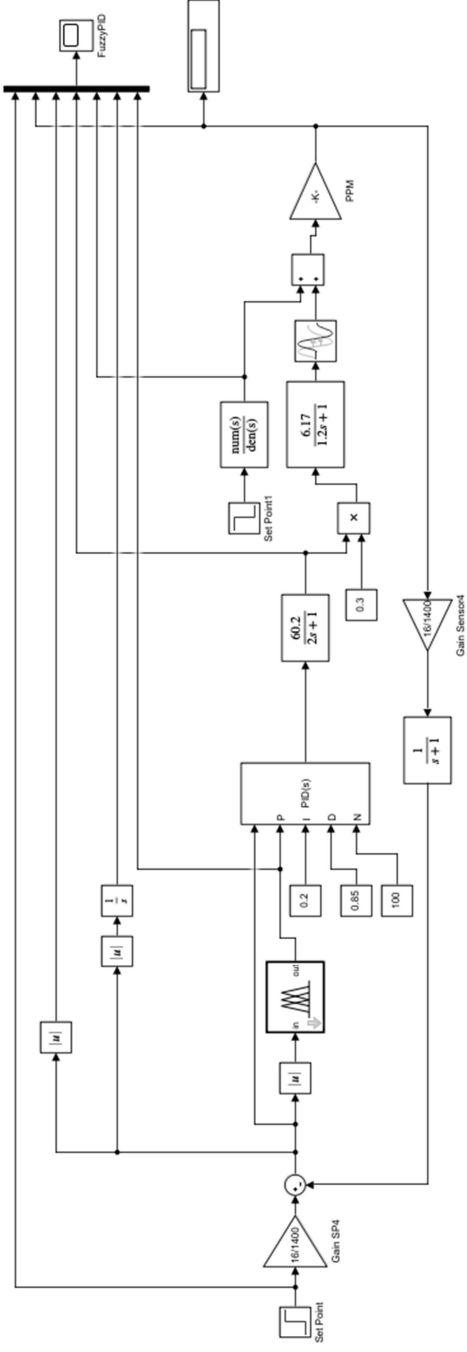
A. Simulasi *Open Loop* Simulink



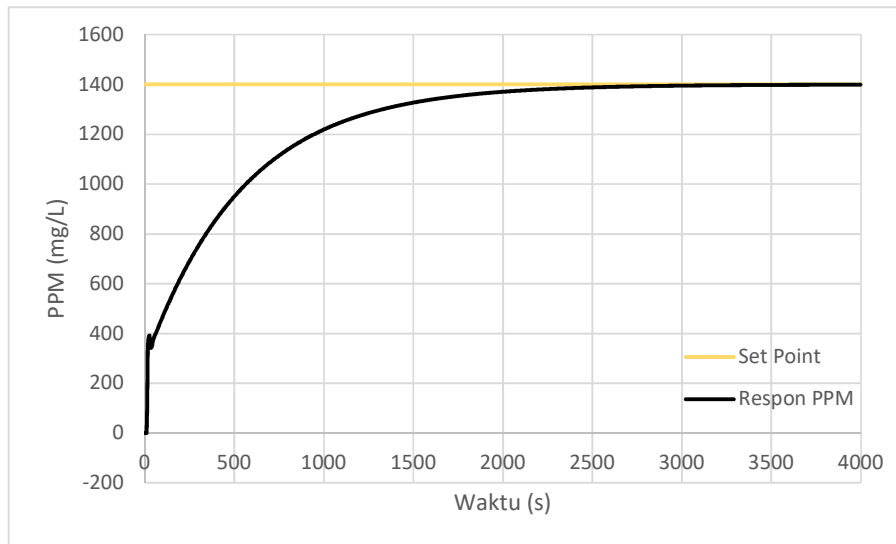
B. Simulasi *Close Loop* Menggunakan Pengendali PID



C. Simulasi *Close Loop* Menggunakan Pengendali *Fuzzy-PID*

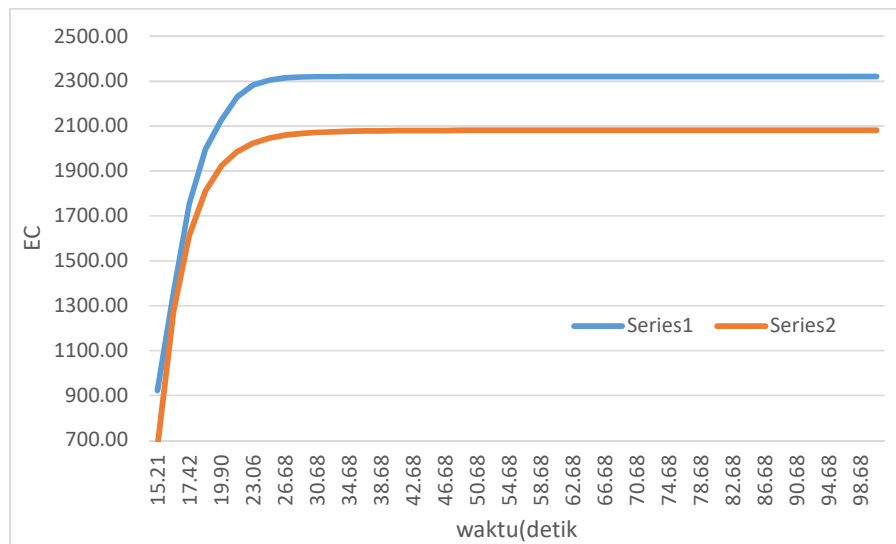


D. Hasil Simulasi *Close Loop* PID Menggunakan Tuning Ziegler-Nichols



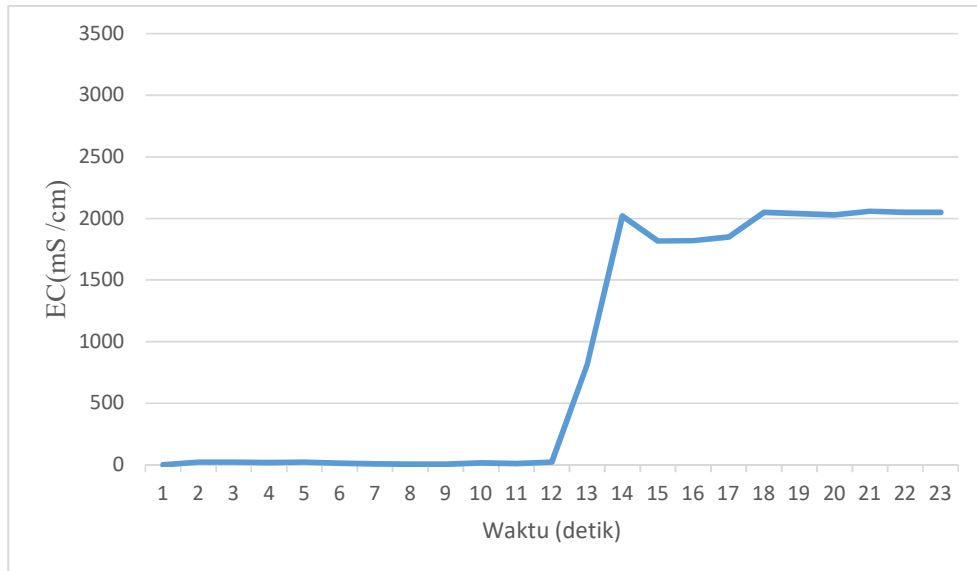
E. Validasi Data

Validasi data dilakukan dengan membandingkan respon sistem EC dari penelitian sebelumnya



F. Perhitungan Time Konstan dan Delay Time

Perhitungan time konstan dan delay time didapat dari data eksperimen penelitian sebelumnya dimana



Dari grafik di atas didapatkan $t_{63\%} = 13,5$ detik dan nilai $t_{28\%} = 12,7$ detik. Dari data yang ada didapat perhitungan time konstan dan delay time dengan menggunakan rumus:

$$\text{Time konstan} = 1,5 (t_{63\%} - t_{28\%}) = 1,2$$

$$\text{Delay time} = t_{63\%} - \text{time konstan} = 12,3$$

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Martinus Danang Kristiando lahir di Jakarta pada tanggal 14 April 1998. Pada tahun 2010 penulis telah menyelesaikan pendidikannya di SD Strada Bhakti Wiyata I Bekasi Barat, kemudian pada tahun 2013 penulis menyelesaikan pendidikan di SMP Strada Bhakti Wiyata Bekasi Barat. Pada tahun 2016 penulis menyelesaikan pendidikan di SMA Pangudi Luhur Van Lith Muntilan, dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTIRS di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Kritik dan saran mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui *e-mail*: mdkdanang@gmail.com