TUGAS AKHIR - TF 181801

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH PADA HIDROPONIK NFT MENGGUNAKAN PID-ANN *SELF-TUNING*

ULFA ROSYIDA
NRP. 02311640000007

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 PADA HIDROPONIK *NFT* MENGGUNAKAN PID-ANN *SELF-TUNING*

ULFA ROSYIDA
NRP. 02311640000007

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

DESIGNING CONTROLLER SYSTEM OF PH AT HYDROPONIC NFT USING PID-ANN SELF-TUNING

ULFA ROSYIDA
NRP. 02311640000007

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	: Ulfa Rosyida
NRP	: 0231160000007
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 pada Hidroponik NFT Menggunakan PID-ANN Self-Tuning***" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 5 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

METERAI TEMPEL

6000

Ulfa Rosyida

NRP. 02311640000007

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH PADA HIDROPONIK NFT MENGGUNAKAN PID-ANN *SELF-TUNING*

Oleh:

Ulfa Rosyida
NRP. 02311640000007

Surabaya, 5 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 19512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH PADA HIDROPONIK NFT MENGGUNAKAN PID-ANN *SELF-TUNING*

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

ULFA ROSYIDA

NRP. 02311640000007

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. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. …… (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 PADA HIDROPONIK NFT MENGGUNAKAN PID-ANN *SELF-TUNING*

Nama	**:**	**Ulfa Rosyida**
NRP	**:**	**02311640000007**
Departemen	**:**	**Teknik Fisika FT-IRS ITS**
Dosen Pembimbing	**:**	**Hendra Cordova, S.T., M.T.**

ABSTRAK

Keunggulan sistem hidroponik NFT *(nutrient film tehnique)* pada tanaman *pakcoy* dapat mengatasi permintaan konsumen yang meningkat secara signifikan di pasar internasional. Hal ini membutuhkan kontrol yang lebih baik terhadap faktor iklim dan hama terutama variabel pH (Libia I. Trejo-Téllez, Fernando C. Gómez-Merino, 2012). Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang sistem *sefl-tuning* pengendalian pH menggunakan PID-ANN dan merancang simulasi komputasi dinamika fluida pada aliran *plant* hidroponik. *Self-tuning* menggunakan algoritma *Levenberg-marquardt* karena unggul dalam kekokohan dan karakteritik konvergensinya, sehingga menjadikannya metode standar untuk meminimalisir nilai eror. Hasil respon menunjukkan PID-ANN lebih unggul ditinjau dari *error steady state* yaitu 0,007% dibanding kontroler PID 1,791%. Nilai ITAE sebagai analisis kuantitatif menunjukkan PID-ANN lebih unggul dengan nilai 188,109 dibanding PID yaitu 217,46. Hasil simulasi CFD menunjukkan *input flow* yang baik yaitu 0,5 liter/menit ditinjau dari nilai maximum *skewness* yaitu 0,8 dan distribusi aliran nutrisi pada *contour* yang dihasilkan.

Kata kunci: ANN, NFT, *self-tuning*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGNING CONTROLLER SYSTEM AT HYDROPONIC NFT USING PID-ANN SELF-TUNING

Name	**:**	**Ulfa Rosyida**
NRP	**:**	**02311640000007**
Department	**:**	**Engineering Physics FT-IRS – ITS**
Supervisors	**:**	**Hendra Cordova, S.T., M.T.**

ABSTRACT

Advantages of NFT *(nutrient film technique) hydroponics system on pakcoy could overcome consumer demand that increase significantly at global market. This condition needed better controller on climate and pest, especially pH (Libia I. Trejo-Téllez, Fernando C. Gómez-Merino, 2012). This final project is designing self-tuning controller system on pH using PID-ANN and designing computational fluid dynamics on streamline of hydroponics plant. Self-tuning uses levenberg-marquardt algorithm because of its robustness and convergence so that become standard method to minimalize error. System response of PID-ANN is the best reviewed by error steady state 0.007% than PID controller 1.791%. The value of ITAE shows that PID-ANN is the best 188,109 than PID controller 217,46. The result of CFD shows that the best flow as input is 0.5 litre/minute reviewed by maximum value of skewness, that's 0.8 and the distribution of nutrition at the final contour.*

Keywords: ANN, NFT, self-tuning

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT sehingga penulis dapat dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul,

"PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH PADA HIDROPONIK NFT MENGGUNAKAN PID-ANN *SELF-TUNING*".

Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T., selaku kepala Departemen Teknik Fisika ITS;
2. Bapak Hendra Cordova, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu dengan sabar untuk mengarahkan penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.; Dr.rer.nat. Ruri Agung Wahyuono, S.T., M.T.; dan Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan koreksi dan saran untuk menyempurnakan skripsi ini;
4. Keluarga dan sahabat tercinta yang telah mendo'akan dan memberikan semangat, serta seluruh pihak yang telah membantu kelancaran penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Saran dan kritik yang membangun sangat penulis hararpkan demi perbaikan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat berguna dan dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 5 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 3
1.5 Sistematika Laporan 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 5
2.1 Hidroponik NFT 5
2.2 Sistem Pengendalian 7
2.3 Kontroler PID 10
2.4 *Artificial Neural Network* 12
2.5 Algoritma *Levenberg-Marquardt* 13
2.6 pH 14

2.7 *Computational Fluid Dynamic* 14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 17
3.1 Perancangan Simulasi CFD *Plant* 17
3.2 Perancangan Sistem Pengendalian pH PID Berbasis ANN 22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 29
4.1 Simulasi CFD *Plant* 29
4.2 Uji *Open Loop* 32
4.3 Uji *Close Loop* 33
4.4 Uji Beban Hidroponik 37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 39
5.1 Kesimpulan 39
5.2 Saran 39
DAFTAR PUSTAKA 41
LAMPIRAN 45
BIODATA PENULIS 49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Plant* hidroponik NFT 6
Gambar 2.2 Sistem pengendalian *open loop* 8
Gambar 2.3 Sistem pengendalian *close loop* 9
Gambar 2.4 Blok diagram PID 10
Gambar 2.5 Diagram blok PID-*Neural Network* 11
Gambar 3.1 *Flowchart* simulasi CFD *plant* 17
Gambar 3.2 Perancangan geometri 18
Gambar 3.3 Hasil *meshing (grid)* 19
Gambar 3.4 Tampilan *set-up* material 20
Gambar 3.5 Konvergensi dan proses iterasi CFD (0,5 liter/menit) 21
Gambar 3.6 Konvergensi dan proses iterasi CFD (2,5 liter/menit) 21
Gambar 3.7 *Flowchart* perancangan sistem pengendalian pH PID-ANN 22
Gambar 3.8 Skema sistem *open loop* 24
Gambar 3.9 Skema sistem *close loop* 25
Gambar 4.1 Hasil geometri tampak depan dan samping 30
Gambar 4.2 Hasil *contour* kecepatan (*mass flow rate* 0,5 liter/menit) 30
Gambar 4.3 Hasil *contour* kecepatan (*mass flow rate* 2,5 liter/menit) 31
Gambar 4.4 Hasil *contour* tekanan fluida (*mass flow rate 0,5 liter/menit*) 31
Gambar 4.5 Hasil *contour* tekanan fluida (*mass flow rate* 2,5 liter/menit) 32
Gambar 4.6 Respon uji *open loop* 33
Gambar 4.7 Arsitektur *neural network* 33
Gambar 4.8 Grafik hasil uji *close loop*-1 35
Gambar 4.9 Grafik hasil uji *close loop*-2 36
Gambar 4.10 Grafik hasil uji *close loop*-3 36
Gambar 4.11 Grafik hasil uji *close loop*-4 37

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter Pelatihan ANN 34

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Budidaya hidroponik sebagai alternatif cara bercocok tanam memiliki beberapa keunggulan yaitu dapat dibudidayakan di luar musim, harga jual lebih tinggi, tidak ada resiko atau ketergantungan dengan kondisi alam, dan bisa dilakukan di media tanpa tanah, bahkan di dalam rumah. Peningkatan yang terjadi secara signifikan pada produksi tanaman hidroponik dalam beberapa tahun terakhir di seluruh dunia disebabkan karena penggunaan air dan pupuk yang lebih efisien, serta kontrol yang lebih baik terhadap faktor iklim dan hama (Libia I. Trejo-Téllez, Fernando C. Gómez-Merino, 2012).

Dua tipe utama hidroponik yaitu kultur media yang dilakukan di media padat dan kultur larutan yang terbagi menjadi aeroponik, larutan *static*, dan dinamik. Salah satu metode yang digunakan dalam tipe hidroponik kultur larutan adalah NFT (*nutrient film technique*) yang secara otomatis dapat mengontrol ketersediaan nutrisi, air, dan oksigen yang dibutuhkan tanaman setiap saat. Metode tersebut lebih terfokus pada daerah akar tanaman yang terendam dalam air (larutan nutrisi) dangkal dan disirkulasikan dengan pompa secara kontinu. Larutan yang digunakan sebagai media tanam disebut dengan larutan A-B *mix* dengan nutrisi makro dan mikro yang dibutuhkan tanaman agar tumbuh dengan baik (Jovita, 2018).

Kadar pH pada larutan A-B *mix* juga penting untuk keberlangsungan pertumbuhan tanaman hidroponik. Standar pH yang baik untuk tanaman hidroponik yaitu 6-7 (Irianto, Suhariningsih, Yanuar Sholikhah , 2017). Intensitas cahaya matahari dan aliran *flow* nutrisi yang tercampur pada larutan dapat mempengaruhi perubahan pH dari tanaman tersebut, sehingga diperlukan sistem *monitoring*. Standar *flow* pada sistem hidroponik ini yaitu 0,5-1 liter/menit supaya memudahkan tanaman menyerap nutrisi dan terdifusi dengan baik di dalam air (E.A. van Os, Th.H Gieling, Heinrich lieth, 2019). Hal ini berpengaruh pada pH dari tanaman hidroponik agar tetap sesuai standar sehingga dilakukan pemilihan *flow* yang sesuai dengan simulasi komputasi dinamika fluida.

Pengendalian pH pada dasarnya sulit untuk dilakukan karena karakteristik pH yang non-linear yang ditunjukkan dengan kurva titrasi merupakan hubungan logaritmik antara pH terhadap volume penetralnya (Peter-Yien, Jean, 2001). Pengendali PID yang digunakan sebagian besar proses kontrol industri memiliki beberapa kelebihan yaitu struktur yang sederhana, kekokohan dalam operasi, dan pemahaman yang mudah (MKO Ayomoh, MT Ajala, 2012). Karakteristiknya yang saling mempengaruhi antara parameter proporsional, integral, dan diferensialnya dapat diperbaiki dengan penambahan metode kecerdasan buatan terutama untuk menentukan parameter PID secara lebih akurat dan kontinu dengan metode ANN (*artificial neural network*) (Restu Maerani, Syaiful Bakhri, Agustus 2013). *Tuning* parameter pada kontroler PID seringkali dilakukan dengan prosedur *trial and error*, sehingga *tuning* ulang diperlukan untuk tetap memenuhi spesifikasi kontrol yang diharapkan. Kontroler PID-ANN pada tugas akhir ini didesain untuk dapat melakukan *self-tuning* pada parameter kontroler PID sehingga dapat mengatasi perubahan parameter pada *plant* dan menjaga performa dari *plant* (Qhasmal, 2016).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

a) Bagaimana merancang sistem pengendalian pH PID pada hidroponik NFT berbasis ANN?
b) Bagaimana merancang simulasi komputasi dinamika fluida untuk mengetahui *contour* kecepatan dan tekanan pada aliran fluida dari tangki *CSTR* A-B *mix* menuju akar tanaman hidroponik?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan dari tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

a) Merancang sistem pengendalian pH PID pada hidroponik NFT berbasis ANN
b) Merancang simulasi komputasi dinamika fluida untuk mengetahui *contour* kecepatan dan tekanan pada aliran fluida dari tangki *CSTR* A-B *mix* menuju akar tanaman hidroponik

1.4 Lingkup Kajian

Batasan masalah diberikan pada riset ini untuk menghilangkan generalisasi asumsi yaitu sebagai berikut:

a) Tipe kontroler yang digunakan untuk di*tuning* yaitu PID
b) Jenis hidroponik yang digunakan adalah NFT *(nutrient film technique)* pada tanaman jenis *pakcoy* (*Brassica rapa*)
c) Variabel yang dikendalikan hanya pH dengan mengatur tangki larutan A-B *mix*
d) Simulasi komputasi dinamika fluida hanya untuk mengetahui *contour* kecepatan dan tekanan pada pipa aliran fluida dari tangki nutrisi menuju akar hidroponik

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika laporan pada laporan tugas akhir ini tersusun atas lima bab yaitu sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

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

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab II ini membahas teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu meliputi hidroponik NFT, sistem pengendalian, kontroler PID, ANN, algoritma *levenberg-marquardt*, pH, dan *computational fluid dynamics*.

BAB III Metodologi Penelitian

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

BAB IV Hasil dan Pembahasan

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

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

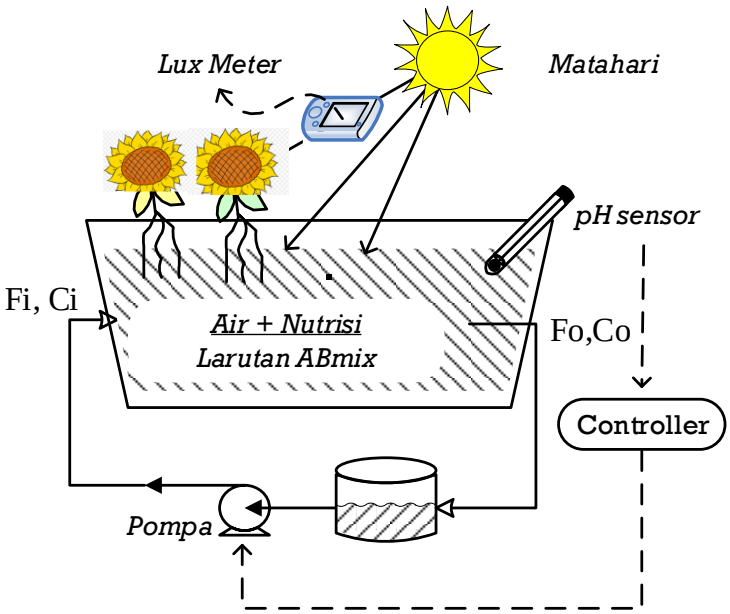
2.1 Hidroponik NFT

Salah satu alternatif cara bercocok tanam yaitu budidaya hidroponik. Hidroponik merupakan ilmu mengenai penanaman tanaman dengan media tanpa tanah sebagai pendukung dan pemasok nutrisi (Rabia, 2012). Beberapa keunggulan yang terdapat pada budidaya hidroponik menyebabkan peningkatan yang signifikan terhadap penggunaannya. Dua tipe utama hidroponik yaitu kultur media padat dan larutan. Elemen pada hidroponik NFT berdasar gambar 2.1 yaitu sistem deliver air, sistem injeksi nutrisi, media (peyangga akar), dan sistem irigasi.

Berdasarkan gambar 2.1 tersebut, pemberian nutrisi kepada tanaman melalui pompa dengan variable keluaran, Fi dan Ci. Sensor pH berperan dalam pengaturan kontrol pH larutan A-B *mix* dengan membaca dan mengirimkan data secara kontinu pada mikrokontroler. *Control valve* sebagai aktuator akan aktif untuk membuka dan menambah larutan pH asam saat respon pembacaan pH tidak sesuai dengan standar yaitu 6-7 (Irianto, Suhariningsih, Yanuar Sholikhah , 2017). Lux meter berfungsi sebagai alat ukur besarnya intesitas cahaya pada area yang terpapar sinar matahari pada tanaman. Intensitas cahaya tersebut akan berpengaruh pada nilai pH tanaman (Drs Irianto, Suhariningsih, Yanuar Sholkhah, 2017). Pompa yang digunakan pada *plant* hidroponik ini berfungsi untuk menyedot dan mengalirkan nutrisi dari tangki menuju seluruh pipa dengan sumber tegangan tertentu.

Nutrisi yang digunakan pada larutan A-B *mix* mengandung unsur makro dan mikro yang dibutuhkan oleh tanaman *pakcoy*. Unsur yang banyak diperlukan (makro) khususnya pertumbuhan struktur vegetative dan produksi yaitu N (nitrogen), P (fosfor), K (kalium), dan lainnya. Unsur pelengkap esensial namun masih dibutuhkan oleh tanaman (mikro) yaitu B (boron), Fe (besi), Zn (seng), dan lainnya (Tim Karya Tani Mandiri, 2010). Unsur-unsur tersebut memiliki kemampuan yang beragam berdasar kecepatan hilangnya saat larut. Konsentrasi yang tinggi dalam larutan dapat menyebabkan serapan yang berlebihan sehingga dapat menimbulkan ketidakseimbangan hara. Larutan yang digunakan pada sistem

yang ditunjukkan gambar 2.1 yaitu larutan KH_2PO_4 sebagai larutan asam yang dikontrol dan NH_4NO_3 sebagai larutan basa penyeimbang larutan nutrisinya. Unsur H^+ pada larutan asam yang berpengaruh terhadap nilai pH dikontrol supaya nilainya sesuai dengan standar. Nilai pH yang di luar batas standar dapat menyebabkan kelarutan unsur makro dan mikro menjadi kecil serta berpengaruh terhadap penyerapan nutrisi oleh tanaman sehingga menimbulkan pertumbuhan tanaman terganggu (Khanafi, Widi Nur, 2016).



Gambar 2.1 *Plant* hidroponik NFT

NFT (*nutrient film tchnique)* merupakan salah satu metode yang digunakan dalam tipe hidroponik kultur larutan (Jovita, 2018). Metode ini pertama kali dikembangkan selama akhir 1960-an oleh Dr.Allan Cooper dari negara Inggris (Morgan, 1999). Metode NFT ini menggunakan aliran berkelanjutan dari larutan nutrisi yang dipompa dari wadah larutan sehingga mengalir di akar tanaman. Larutan nutrisi atau A-B *mix solution* yang bergerak sebagai film di bagian bawah permukaan datar sebagai penggagas istilah dari NFT. Beberapa keunggulan dari metode ini yaitu biaya modal rendah, perputaran cepat antar tanaman, instalasi dan operasi yang sederhana, ketepatan kontrol nutrisi, dan penyesuaian larutan nutrisi yang mudah. Penyesuaian larutan nutrisi tersebut bergantung pada jenis tanaman yang digunakan.

Jenis tanaman yang digunakan pada sistem hidroponik ini yaitu tanaman *pakcoy*. Tanaman ini memiliki nama latin yaitu *Brassica rapa*. Tanaman *pakcoy* merupakan tanaman sekerabat dengan sayuran jenis sawi dengan daun lebih tebal. Permintaan yang tinggi terhadap tanaman *pakcoy* di dunia Internasional menyebabkan produksinya diusahakan lebih banyak. Produksi tanaman ini di Indonesia mengalami penurunan berdasar data BPS (2014). Masalah tersebut disebabkan varietas unggul yang tahan penyakit dan suhu panas berjumlah sedikit, serta adanya tanaman pengganggu pada saat pembudidayaannya.

Beberapa persyaratan utama yang dibutuhkan pada tanaman hidroponik tipe NFT ini adalah gradien aliran air maupun nutrisi turun dengan aliran yang seragam serta tidak terpengaruh depresi lokal. Laju aliran yang masuk tidak boleh terlalu cepat supaya kedalaman air cukup untuk mengalir sesuai gradiennya. Lebar saluran dari NFT harus memadai untuk menghindari kerusakan nutrisi oleh akar. Persyaratan utama yang terakhir yaitu pangkal saluran harus rata dan tidak melengkung karena berpengaruh pada kedalaman cairan di sepanjang salurannya.

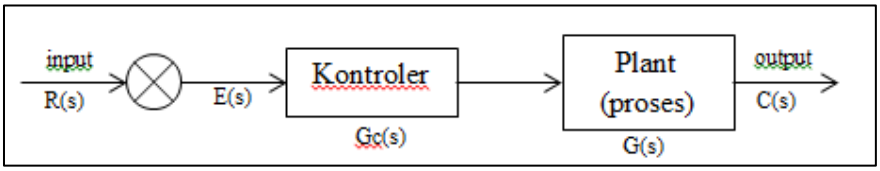
2.2 Sistem Pengendalian

Sistem pengendalian adalah susunan (kombinasi) dari beberapa komponen yang bekerja bersama untuk mengatur (mengendalikan) sehingga tercapai hasil yang diinginkan (Maslan Zainon, Sy Najib Sy Salim, 2010). Sistem pengendalian berkaitan dengan teknik kontrol yang umumnya digunakan untuk menyesaikan beberapa persoalan. Persoalan yang pertama yaitu masalah identifikasi untuk mengukur variabel dan mengkonversi data untuk analisis. Persoalan selanjutnya yaitu masalah representasi untuk menggambarkan suatu sistem dengan bentuk analitis atau model matematika. Masalah solusi menjadi persoalan yang perlu diselesaikan dengan sistem pengendalian untuk menentukan respon dari suatu sistem tertentu. Berbagai masalah yang dapat diselesaikan oleh sistem pengendalian tersebut menyebabkan tidak terbatasnya pada disiplin ilmu tertentu saja.

Berdasarkan kelinieritiasannya, system pengendalian dibagi menjadi dua yaitu sistem kontrol linear dan non linear (Maslan Zainon, Sy Najib Sy Salim, 2010). Sistem kontrol linear memenuhi sifat homogen dan aditif pada persamaan sistemnya, dan sistem non linear tidak memenuh keduanya. Berdasarkan

performansi dari sistem tersebut, sistem pengendalian dibagi menjadi kontinu dan diskrit. Berdasarkan efek dari besaran keluarannya, sistem pengendalian dikelompokkan menjadi dua yaitu *open loop* dan *close loop*.

Sistem pengendalian dari lup terbuka (*open loop*) adalah sistem pengendalian yang hanya bergantung pada sinyal *input*, maka besaran masukan tidak dipengaruhi oleh besaran keluarannya. Sistem pengendalian *open loop* termasuk dalam sistem kontrol manual dimana operator melakukan proses pengaturannya manual dengan mengamati keluaran secara visual, kemudian koreksi variable-variabel kontrolnya dilakukan untuk mempertahankan hasil keluarannya. Besaran keluaran pada sistem ini tidak dapat digunakan sebagai umpan balik pada besaran masukan. Kondisi operasi yang tetap terdapat pada setiap masukan sehingga adanya beban dapat menyebabkan sistem pengendalian *open loop* tidak dapat bekerja sesuai dengan respon yang diinginkan. Diagram blok dari sistem pengendalian *open loop* terdapat pada gambar 2.2 dimana strukturnya sangat sederhana dan ketelitiannya ditentukan oleh pengkalibrasiannya dengan menyatakan kembali hubungan antara *input-output*. Sistem pengendalian *open loop* lebih sederhana, murah, dan mudah dalam desainnya, akan tetapi akan menjadi tidak stabil dan seringkali memiliki tingkat kesalahan yang besar apabila terdapat beban dari luar.



Gambar 2.2 Sistem pengendalian *open loop*

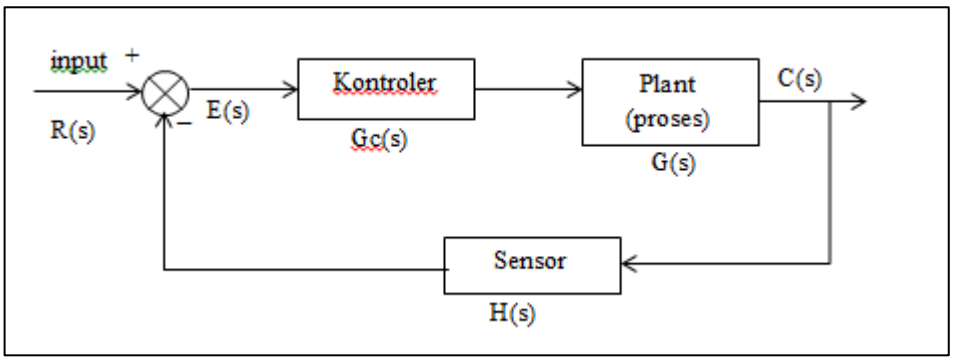
Persamaan dari sistem pengendalian *open loop* pada gambar 2.2 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C(s) = R(s).Gc(s).G(s) \tag{2.1}$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = Gc(s).G(s) \tag{2.2}$$

Sistem pengendalian dari *close loop* adalah sistem pengendalian yang menggunakan besaran tambahan dari *actual output* supaya dapat membandingkan

output aktual dengan respon *output* yang diinginkan. Besaran tambahan tersebut berupa umpan balik yang berfungsi untuk mempertahankan hubungan antara *output* dan *input* referensi dalam mengontrol proses tersebut. Sistem pengendalian *close loop* cenderung lebih mudah dikendalikan dan kestabilannya relative konstan jika terdapat beban meskipun jumlah komponen lebih banyak sehingga lebih rumit dalam desain (Triwiyatno, 2010). Sistem pengendalian ini disebut juga sistem kendali automatic berumpan-balik saat dibutuhkan pengendalian presisi yang tinggi supaya sistem yang kompleks tersebut lebih efektif dalam pengendaliannya (UNY, 2014). Respon dari sistem pengendalian *close loop* relatif kurang peka terhadap beban eksternal dan perubahan internal sehingga lebih mudah untuk mengontrol *plant* dengan teliti. Diagram blok dari sistem pengendalian *close loop* ditunjukkan pada gambar 2.3. Sinyal *input* sebagai *setpoint*, R(s), menuju kontroler untuk dikendalikan kemudian diproses di *plant* untuk menghasilkan *output* yang sebenarnya, C(s). Fungsi H(s) akan menghasilkan sinyal, E(s), yang tidak sesuai dengan acuan dari *setpoint* sebagai umpan balik dari sistem pengendalian tersebut. Persamaan (2.3) menunjukkan hubungan antara *input* dan *output* dari diagram blok pada gambar 2.3.



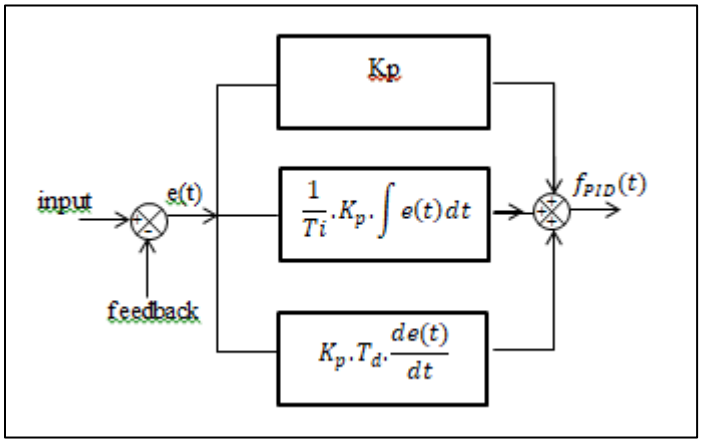
Gambar 2.3 Sistem pengendalian *close loop*

$$C(s) = \frac{Gc(s).G(s)}{1+Gc(s).G(s).H(s)} R(s) \qquad (2.3)$$

2.3 Kontroler PID

Kontroler PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan kontroler instrumentasi dimana pada sistemnya terdapat karakteristik umpan balik (*feedback*) yang terdiri atas tiga konstanta sesuai dengan respon yang diinginkan pada *plant* yang digunakan (Machrus Ali, Budiman, Agus R, Hendi Sopian, 2019). Penggunaan Kontroller PID dijadikan acuan karena kestabilan dapat dicapai saat variable proses sama dengan *setpoint* sehingga eror mendekati nol (Restu Maerani & Syaiful Bakhri, 2013). Bentuk matematis yang sederhana pada kontroler PID menjadikannya pilihan sebagai pengendali konvensional di level industri. Perbandingan kesalahan (eror) dari selisih variabel proses dan *setpoint* akan dihasilkan saat kontroler PID tersebut melakukan aksi kontrol.

Nilai eror yang masuk dalam sensor akan menghasilkan nilai P, saat eror tersebut diakumulasikan maka menghasilkan nilai I. nilai D akan memprediksi kesalahan selanjutnya. Kombinasi ketiga nilai tersebut akan menghasilkan Kp, Ki, dan Kd sebagai parameter performansi dengan terlebih dahulu memahami sistem untuk pembuatan diagram blok yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Ketiga parameter tersebut dapat ditentukan dengan beberapa metode perhitungan, seperti analitis, Zieger-Nichols, ITAE, dan Cohen-Coon.



Gambar 2.4 Blok diagram PID

Persamaan (2.4) menunjukkan standar algoritma PID secara kontinu dengan $f_{PID}(t)$ sebagai hasil kendali *output* dengan variabel waktu (t), Kp sebagai gain proporsional, Ti sebagai waktu integral, dan Td sebagai waktu derivatif. Persamaan

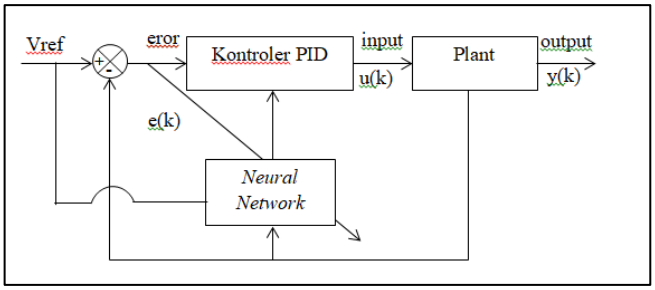
(2.5) menunjukkan bentuk diskrit dari algoritma PID dengan $U_{PID}(k)$ sebagai sinyal kontrol, Kp Ki Kd sebagai *gain* kontroler, dan k adalah langkahnya (Afaneen A Abood, Firas M Tuaimah, Aseel H Maktoof, 2012).

$$f_{PID}(t) = K_p\left(e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(t)dt + T_d\frac{de(t)}{dt}\right) \tag{2.4}$$

$$U_{PID}(k) = u(k-1) + K_p\big(e(k) - e(k-1)\big) + K_i e(k) + K_d(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \tag{2.5}$$

Aksi kontrol PID mempunyai keunggulan masing-masing. Aksi proporsional dapat menghasilkan *risetime* yang cepat, aksi integral untuk memperkecil eror, serta aksi derivatif yang memperkecil eror dan meredam overshoot. Nilai yang optimal dari ketiga parameter tersebut didapatkan dari *tuning* PID.

Kontroler PID-*Neural Network* merupakan istilah yang digunakan untuk metode *tuning* kontroler PID menggunakan algoritma *neural network* atau jaringan saraf tiruan. Kemampuan algoritma *neural network* yang dapat menyelesaikan masalah yang kompleks dengan efisien menjadi keunggulan dari metode ini. Pengetahuan tentang masalah yang didistribusikan ke elemen-elemen lebih kecil (neuron) serta pemrosesan secara paralel menjadi salah satu keunggulan dari metode ini (Afaneen A Abood, Firas M Tuaimah, Aseel H Maktoof, 2012). Diagram blok dari kontroler PID-*Neural Network* ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram blok PID-*Neural Network* (Afaneen A Abood, Firas M Tuaimah, Aseel H Maktoof, 2012)

Berdasarkan diagram blok pada gambar 2.5, e(k) sebagai eror sistem diminimalisir dengan tujuan untuk menetapkan tingkat variasi nol antara *output*

aktual, y(k), dengan target (respon yang diinginkan), Vref. Eror, e(k), merupakan selisih antara *output* aktual dengan target. Penggunaan *neural network* sebagai metode *tuning* PID karena algoritma PID konvensional rentan terhadap eror, sulit untuk beradaptasi dengan variasi waktu yang tinggi dan non-linear. *Neural network* sebagai *self-tuner* mengadopsi perubahan secara kontinu dari ketiga parameter PID.

2.4 *Artificial Neural Network*

Artifical neural network atau jaringan saraf tiruan merupakan salah satu algoritma sebagai pengimplementasian program komputer berdasarkan kerja prinsip kerja otak manusia yang mampu melakukan proses perhitungan suatu pekerjaan atau perintah selama proses pembelajaran atau penganalisaan kerja tersebut. Tujuan dari jaringan saraf tiruan adalah untuk memproduksi perilaku struktur saraf biologis (Gradella, 2004). Jaringan saraf tiruan bekerja sesuai dengan jumlah layer yang digunakan. Jumlah layer atau lapisan yang terdapat diantara *input* layer dan *output* layer dalam suatu sistem. Jaringan saraf tiruan akan mempengaruhi tingkat kesulitan dalam suatu perhitungan yang dapat dikerjakan (Eka Pandu C, Edi Ismanto, 2017).

Elemen-elemen sederhana pada jaringan saraf tiruan (neuron) sebagai tempat terjadinya proses informasi sehingga penjumlahan dari sinyal *input* pada fungsi aktivasi di tiap neuron menghasilkan sinyal *output*. Sinapsis (*connection-links)* sebagai jalur transportasi sinyal antar neuron. Bobot (*weight)* tertentu pada sinapsis bergantung pada tipe dan struktur jaringan saraf tiruan yang digunakan. Struktur tersebut mampu mempelajari sesuatu melalui proses pembelajaran. Proses pembelajaran dari jaringan saraf tiruan umumnya disebut proses pelatihan.

Keuntungan dari penggunaan jaringan saraf tiruan yaitu sistem yang non-linear, non-locality, dan non-steady sehingga mampu untuk memetakan hubungan yang tidak linear dan multi-variabel proses, serta mengatasi permasalahan kontrol non-linear. Karakteristik jaringan saraf tiruan berupa pembelajaran dan adaptasi sehingga mampu mengeluarkan *output* yang sama atau mendekati target yang diinginkan, serta dapat dilatih secara *on-line* (Ridho Bayuaji, Totok R Biyanto, 2013). Salah satu algoritma pelatihan yaitu *back-propagation.* Proses pelatihan tersebut dapat memodifikasi parameter internal jaringan saraf tiruan sehingga

sesuai dengan *output* yang diinginkan. Proses pelatihan berlangsung hingga eror yang dihasilkan cukup kecil bergantung dari kompleksitas sistem dan arsitektur jaringan. Efek non linear pada sistem dapat terakomodasi melalui pengubahan kompleksitas jaringan dengan menambahkan *hidden layer*.

2.5 Algoritma *Levenberg-Marquardt*

Beberapa metode *training* digunakan untuk melatih *input* dari jaringan saraf tiruan. Salah satunya yaitu menggunakan algoritma *levenberg-marquardt* yang pertama kali dikembangkan oleh Kenneth Lavenberg dan Donald Marquardt (Hao Yu, Bogdan M Wilamowski, 2011). Algoritma ini dipilih karena dapat disesuaikan untuk masalah yang kecil sampai medium. Algoritma gabungan ini memiliki keunggulan dalam kekokohan dan karakteritik konvergensinya, sehingga menjadikannya metode standar untuk meminimalisir MSE *(mean-square error).*

Algoritma *levenberg-marquardt* merupakan kombinasi *switch* dari algoritma gauss-newton dan *steepest descent.* Algoritma *steepest descent* yang dikenal dengan sebutan backpropagasi eror mempunyai konvergesi yang lama meskipun cenderung stabil saat digunakan untuk pelatihan. Hal tersebut diimbangi dengan kecepatan algoritma gauss-newton. Algoritma tersebut dapat menemukan langkah yang tepat dan sangat cepat untuk tiap arah dengan derivatif orde kedua dari fungsi eror. Algoritma gauss-newton menyeimbangi sehingga *training* tersebut berlangsung mendekati konvergen. Kombinasi kedua algoritma tersebut dapat menyatu dengan baik bahkan dalam beberapa kasus linear maupun non-linear dengan disturbansi yang besar (Jawad Arif, Nilanjan Ray, Swakshar Ray, Balarko C, 2009).

Urutan kerja dari algoritma *levenberg marquardt* ini dimulai dengan inisialisasi jaringan saraf tiruan dengan random bobot, langkah ini dilakukan dengan *source code* dilanjutkan dengan menghitung maju pada hidden. Perhitungan SSE (*sum of squared error*) lalu dilanjutkan dengan perhitungan matriks *jacobian.* Perkalian antara learning rate dan factor pengali, β, diperbesar apabila nilai eror yang baru lebih besar dari sebelumnya lalu dilanjutkan dengan perhitungan selisih bobot. Iterasi akan berhenti apabila eror yang baru lebih kecil dari eror sebelumnya (Rahmat, Rachmad Setiawan, Mauridhy Heri Purnomo, 2006).

2.6 pH

Derajat keasaman atau pH merupakan indeks konsentrasi ion hydrogen (H+) dalam air (Claude E Boyd, Craig S Tucker, 2011). Ion tersebut mempengaruhi sebagian besar proses kimia dan biologi. pH merupakan variabel penting dalam menilai kualitas air. Konsep dasar pH dalam ionisasi air yaitu sebagai berikut:

$$H_2O = H^+ + OH^- \quad (2.6)$$

Nilai pH pada suatu larutan dapat diukur menggunakan pH meter, kertas lakmus, dan alat ukur pH lainnya. Rentang nilai pH yaitu 0-14. Nilai yang kurang dari 7 dinyatakan sebagai larutan asam. Basa pada larutan ditunjukkan oleh nilai pH yang di atas 7. Penyerapan akar tanaman terhadap unsur-unsur hara pada larutan A-B *mix* akan dipengaruhi oleh nilai pH. Standar pH yang baik untuk tanaman hidroponik yaitu 6-7 (Irianto, Suhariningsih, Yanuar Sholikhah , 2017).

Nilai pH yang stabil tersebut dapat mengoptimalkan pertumbuhan tanaman. Nilai pH yang terlalu rendah menyebabkan akar sulit untuk menyerap unsur-unsur hara sehingga akan terjadi deisiensi serta pertumbuhan tanaman terhambar. Nilai pH yang lebih besar dari 7 menyebabkan adanya pengendapan unsur-unsur hara micro dalam nutrisi, sehingga akar tidak dapat menyerap unsur hara micro tersebut.

2.7 *Computational Fluid Dynamic*

Komputasi dinamika fluida atau CFD (*computational fluid dynamic)* merupakan salah satu cabang ilmu energi yang membahas mengenai simulasi maupun perhitungan dengan metode numerik pada karakteristik aliran fluida dan perpindahan termal melalui bantuan komputer. Sistem yang kompleks dan sulit dipecahkan dengan perhitungan manual dapat dianalisa dengan komputasi dinamika fluida di komputer melalui simulasi dan pemodelan karakteristik dinamika fluida tersebut, seperti perpindahan masa, aliran multifasa, dan reaksi kimia (Sukamta, Thoharudin, Dedy Meilanto, 2018). Performansi keandalan maupun pola dari sistem tersebut akan dianalisa melalui beberapa perangkat lunak yang mendukung CFD tersebut, seperti *fluent, unigraphics, proE, SolidWorks, comsol, solid flow, dan ansys.*

Pembuatan *virtual prototype* dari suatu sistem yang akan dianalisis dapat diperhitungkan maupun disimulasikan di perangkat lunak *ansys*. Optimisasi sistem juga dapat dilakukan setelah mendapatkan hasil berupa prediksi kualitatif maupun kuantitatif. Perangkat lunak *ansys* menggolongkan suatu projek ke dalam tiga bagian, yaitu *pre-processing, solving,* dan *post-processing* (Patel, 2013). *Pre-processing* terdiri dari pembuatan geometri, *meshing, material properties, dan boundary condition.* Bagian *solving* dapat dikelompokkan lagi menjadi persamaan transport (masa, momentum, energy, dan lain-lain), model fisika (turbulensi, pembakaran, radiasi, dan lainnya), dan pengaturan *solving* (inisialisasi, solusi kontrol, solusi *monitoring,* dan lainnya). Bagian *post-processing* merupakan bagian akhir untuk mendapatkan hasil berupa plot grafik kartesian, bentuk kontur pada sistem, vektor besaran yang dikehendaki, dan lainnya.

Molekul-molekul pada fluida akan terus bergerak terhadap ruang dan waktu dengan jarak tertentu meskipun tidak akan mempengaruhi sifat molekulnya secara signifikan (Maryanto, 2019). Klasifikasi dari aliran fluida secara umum dibagi menjadi laminar yang kecepatannya konstan terhadap waktu dan turbulen yang kecepatannya mengindikasikan fluktuasi yang acak. Persamaan dasar pada aliran fluida ditunjukkan dengan hukum newton ke ii dimana masa fluida tetap dengan besar perubahan momentum sama dengan jumlah total gaya pada fluida. Persamaan diferensial parsial (*partial differential equation)* mendeskripsikan persamaan pada karakteristik aliran fluida dengan memperhatikan hukum konservasi masa (persamaan kontinuitas), hukum ii newton (persamaan momentum), dan hukum kekekalan energi (persamaan energi).

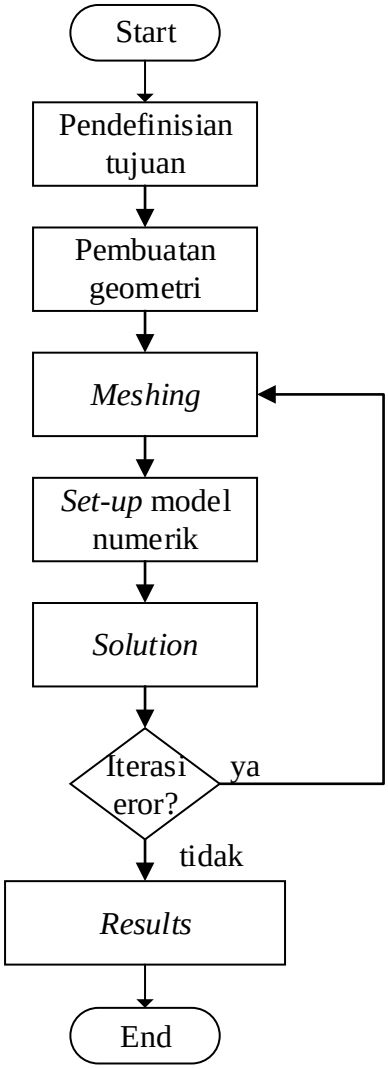
Salah satu pertimbangan dalam aliran fluida dalam pipa tak berdimensi yaitu bilangan reynold yang menyatakan rasio efek inersia dan viskos (Khusaeni, 2010). Kecepatan yang masuk pada aliran pipa akan bervariasi sehingga diambil kecepatan rata-rata untuk laju aliran fluida. Parameter *pressure drop* pada aliran fluida dalam pipa berhubungan langsung dengan kebutuhan daya untuk mempertahankan aliran. *Pressure drop* merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi laju aliran (flow) di dalam sistem pipa. Dua jenis *drop pressure* yaitu major dan minor. Major *drop* atau major *losses* terjadi diakibatkan gesekan di dalam sistem pipa jika pipa dibentangkan dalam skala besar. Minor *drop* atau minor *losses* lebih diakibatkan

perubahan komponen dalam sistem pipa sehingga terjadi perubahan laju aliran di dalamnya (Seroor Atalah Khaeefa Ali, Dr.Huda T.Hamad, 2018).

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perancangan Simulasi CFD *Plant*

Metodologi penelitian untuk perancangan simulasi CFD *plant* dapat dinyatakan dengan diagram alir. Diagram alir tersebut yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flowchart* simulasi CFD *plant*

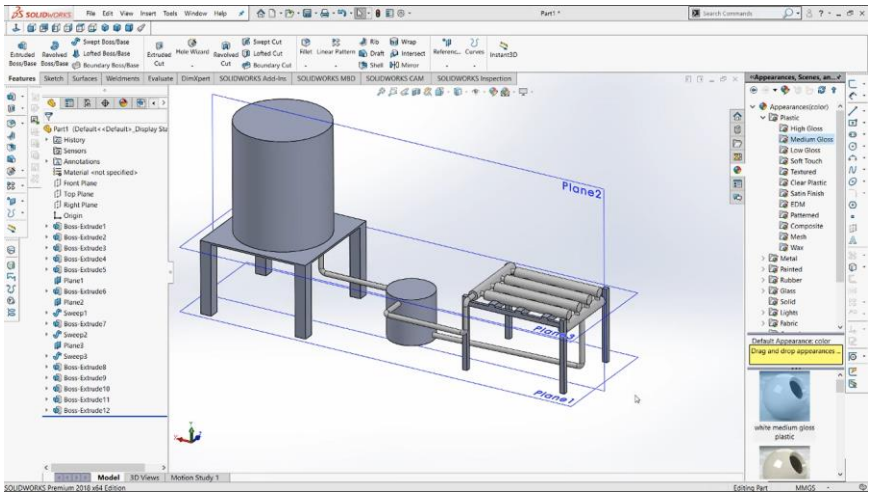
3.1.1 Pendefinisian Tujuan

Proses perancangan simulasi komputasi fluida dinamik pada *plant* hidroponik dimulai dengan mendefinisikan tujuan berdasarkan poin 2.7 pada tinjauan pustaka.

Tujuan yang lebih spesifik dari simulasi ini sebagai pelengkap eksperimen dengan numerik yang detail untuk mengetahui karakteristik dasar fisik aliran fluida. Tujuan perancangan simulasi ini juga untuk mempelajari sesuatu yang tidak dapat diamati langsung dan sulit diukur di dalam pipa *plant* hidroponik dari tangki CSTR A-B *mix* menuju akar tanaman hidroponik. Informasi yang lebih detail dapat dihasilkan dari simulasi ini sehingga dapat mengefektifkan biaya serta mengevaluasi desain *plant* lebih cepat.

3.1.2 Pembuatan Geometri

Bagian ini merupakan salah satu bagian dari *pre-processing*. Pembuatan geometri pada software *solidworks* dibagi menjadi beberapa bagian plane dari pipa bagian akar hidroponik, *distribution pipe*, *control valve (solenoid)*, tangki nutrisi, hingga tangki campuran A-B *mix* dan air sesuai gambar 3.2. Domain yang digunakan berupa zona dimensi 3-D dengan 53379 nodes dan 245713 elements berjenis cell. Jumlah tersebut akan berpengaruh pada kapasitas file dan berimbas pada waktu *running*.

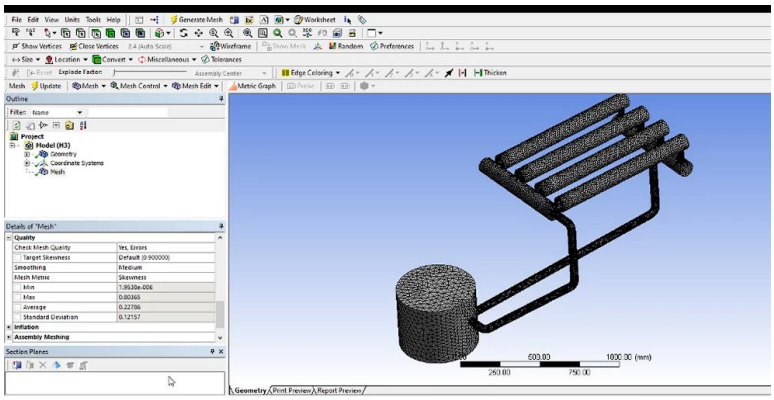


Gambar 3.2 Perancangan geometri

3.1.3 *Meshing*

Penggunaan metode diskritisasi yang digunakan akan berpengaruh pada pengaturan mesh (*meshing*). *Meshing* bertujuan untuk mempermudah *solver*

mengkomputasi dengan membagi geometri menjadi beberapa elemen. Metode diskritasasi numerik yang digunakan yaitu *finite element method (FEM)* atau *finite element analysis (FEA).* Metode ini sesuai dengan model untuk mendiskritisasikan menjadi beberapa elemen sebagai solusi numeriknya. Pemilihan metode supaya memudahkan untuk perancangan karena bentuk *mesh* yang dipakai tidak beraturan. *Proximity* dan *Curvature* dipilih pada bagian sizing supaya hasil *mesh* semakin rapat dan halus (*fine)* sehingga hasil lebih akurat. *Skewness* (ketidaksimetrisan) dipilih sebagai parameter kualitas dari *mesh (grid)* dengan hasil maksimum yang masih *acceptable* (dibawah 0,94) sesuai gambar 3.3. Pemberian *name selection* dibagi menjadi 3 yaitu inlet untuk mengetahui variabel kecepatan fluida, outlet untuk mengetahui variabel tekanan fluida, dan *wall*.



Gambar 3.3 Hasil *meshing (grid)*

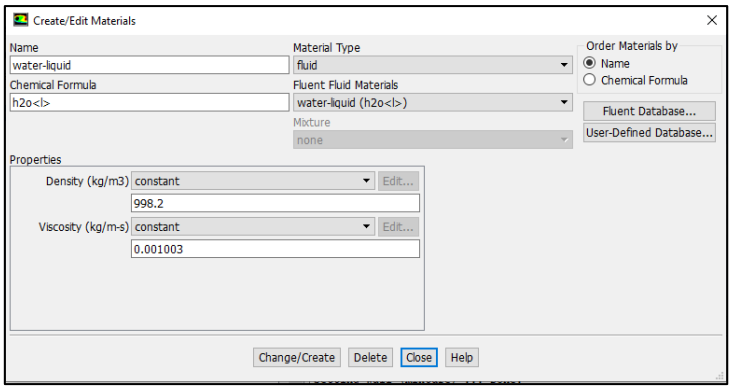
3.1.4 *Set-up* Model Numerik

Pemilihan kondisi batas berdasarkan variabel yang akan diamati termasuk bagian dari langkah ini. Respon waktu diasumsikan dipilih dalam keadaan *steady* dengan tipe *pressure-based*, dan formulasi kecepatan yang absolut. Percepatan gravitasi diatur pada sumbu y sebesar 9,81 m/s^2 . Bagian model sesuai pada persamaan (3.1) (Scoott, 2004) dipilih jenis *viscous* dengan persamaan k-epsilon *wall standart.*

$$k_t = \alpha\left(\frac{k^2}{\varepsilon}k_x\right)_x - \varepsilon \tag{3.1}$$

$$\varepsilon_t = \beta\left(\frac{k^2}{\varepsilon}\varepsilon_x\right)_x - \gamma\frac{\varepsilon^2}{k} \tag{3.2}$$

Bagian material dipilih sesuai dengan jenis yang digunakan pada hidroponik yaitu *create* dengan jenis *water-liquid* dengan rumus empiris cairan H_2O. Pengaturan material ditunjukkan pada gambar 3.4. *Input* dari kondisi batas dipilih *mass flow rate* sesuai nilai variabel kecepatan pada *name selection* yang ditentukan awal (0,5 liter/menit dan 2,5 liter/menit). Metode inisialisasi pada *solution* dipilih pada bagian *hybrid initialization.*

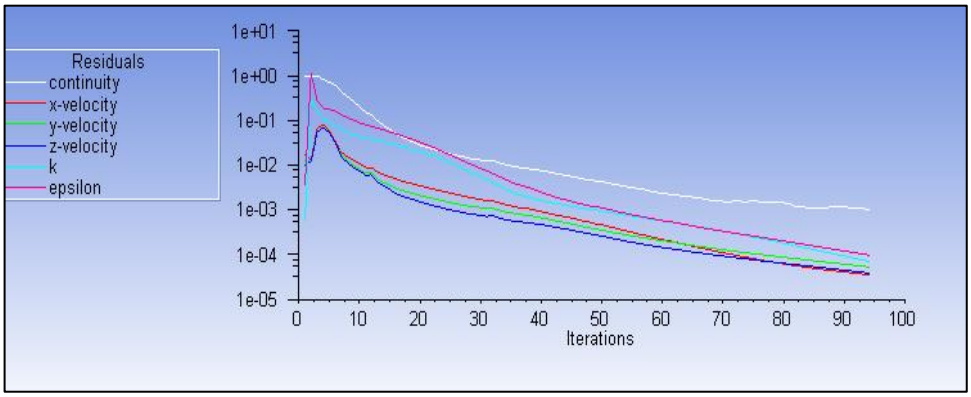


Gambar 3.4 Tampilan *set-up* material

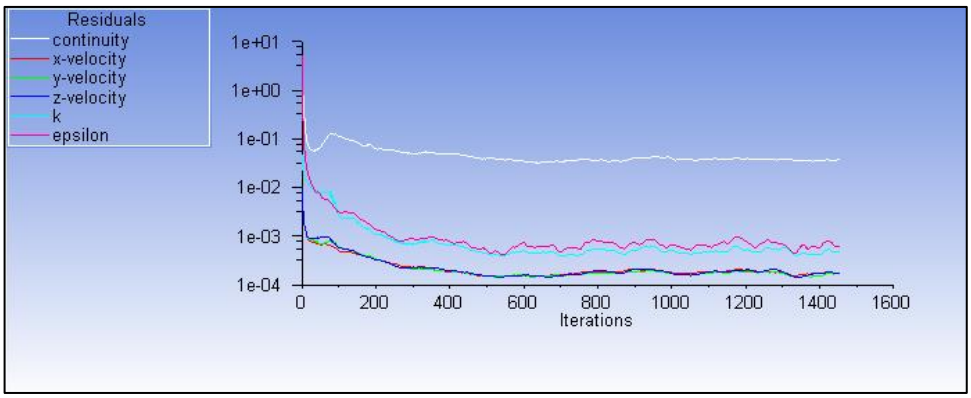
3.1.5 Penyelesaian secara Komputasi

Nilai iterasi dan besaran skalar akan muncul pada bagian *console* setelah inisialisasi dilakukan. Kalkulasi untuk menjalankan simulasi diatur untuk 1500 iterasi. Iterasi akan dilakukan hingga mencapai konvergensi. Komputasi akan terus berjalan apabila hasil perhitungan tidak mencapai kriteria yang ditentukan. Kriteria konvergensi untuk kontinuitas, *x-velocity*, *y-velocity*, energi, k, dan epsilon dapat dilihat pada tampilan residual serta hasilnya dapat diplot untuk diamati lebih lanjut. Residual berfungsi sebagai indikator pemenuhan bentuk diskrit dari persamaan dari perhitungan solusi tersebut.

Grafik residual saat laju aliran fluida 0,5 liter/menit ditampilkan pada gambar 3.5. Grafik tersebut mencapai konvergen pada iterasi ke 94. Grafik residual saat laju aliran fluida 2,5 liter/menit dengan model numerik k-epsilon ditunjukkan pada gambar 3.6. Grafik tersebut tervalidasi untuk mencapai konvergen saat iterasi diatas 1400.



Gambar 3.5 Konvergensi dan proses iterasi CFD (0,5 liter/menit)



Gambar 3.6 Konvergensi dan proses iterasi CFD (2,5 liter/menit)

3.1.6 Pemilihan Iterasi Eror

Langkah ini bertujuan untuk validasi simulasi yang telah dibuat. Iterasi diindikasikan eror dapat dilihat pada bagian grafik maupun *console* dengan memperhatikan standar-standar residual yang terlah ditetapkan. Penetapan angka 10^{-3} sebagai kriteria absolut untuk mengecek konvergensi. Langkah selanjutnya apabila iterasi berlangsung eror yaitu kembali *set-up* model yang digunakan, mengatur kontinuitas dan viskositas, proses inisialisasi, dan dilakukan langkah-langkah berikutnya. Iterasi yang mencapai konvergen mengindikasikan bahwa simulasi tersebut telah tervalidasi oleh model persamaan yang dipilih sebelumnya.

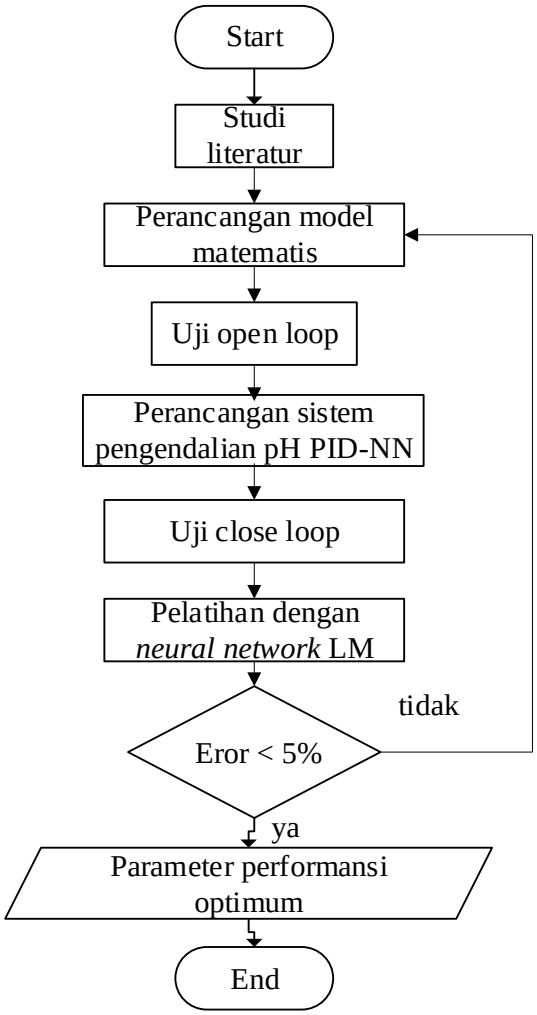
3.1.7 *Results*

Hasil merupakan tahapan akhir (*post-processing)* dari simulasi komputasi dinamika fluida yang akan diamati lebih lanjut untuk memenuhi tujuan. Hasil pada

simulasi ini akan ditampilkan dalam bentuk kontur gambar 3-D *viewer* untuk mengetahui distribusi kecepatan dan tekanan aliran fluida pada pipa dari tangki nutrisi menuju tanaman hidroponik. Rata-rata dari variabel hasil yang dipilih akan ditunjukkan melalui *table viewer*.

3.2 Perancangan Sistem Pengendalian pH PID Berbasis ANN

Metodologi penelitian untuk perancangan sistem pengendalian pH PID dapat dinyatakan dengan diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.7 *Flowchart* perancangan sistem pengendalian pH PID-ANN

3.2.1 Perancangan Model Matematis

Pemodelan *plant* pH pada hidroponik didapatkan dari data-data yang telah diambil sebelumnya sehingga didapatkan persamaan (3.6), dalam hal ini menggunakan data penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Fungsi *plant* merupakan FOPDT (*First Order Plus Dead Time)* sesuai persamaan (3.3) dimana K merupakan gain dari perbandingan pada persamaan (3.8). Nilai τ merupakan *time constant* didapatkan dari persamaan (3.4) dengan *t63%* waktu yang dibutuhkan variabel proses mencapai 63% nilai akhir dan *t28%* waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 28% nilai akhir. Nilai θ merupakan nilai *dead time* didapatkan dari persamaan (3.5) dengan selisih antara *t63%* dan nilai *time constant.*

$$G(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau s+1} \tag{3.3}$$

$$\tau = 1{,}5\ (t63\% - t28\%) \tag{3.4}$$

$$\theta = t63\% - \tau \tag{3.5}$$

$$G(s) = \frac{0{,}017}{1{,}05s+1} \tag{3.6}$$

$$Gc(s) = \frac{60{,}42}{2s+1} \tag{3.7}$$

Pemodelan yang dicari pada solenoid control valve ditunjukkan pada 3.7. Gain (K) control valve senilai 60,4 didapatkan dari hasil pembagian antara variabel keluaran (rentang *flow* dalam satuan mL/detik) dan masukan (rentang sinyal dalam satuan miliAmpere) ditunjukkan pada persamaan (3.8).

$$K = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{\Delta\ \text{Variabel Proses}}{\Delta\ \text{Variabel Manipulatif}} \tag{3.8}$$

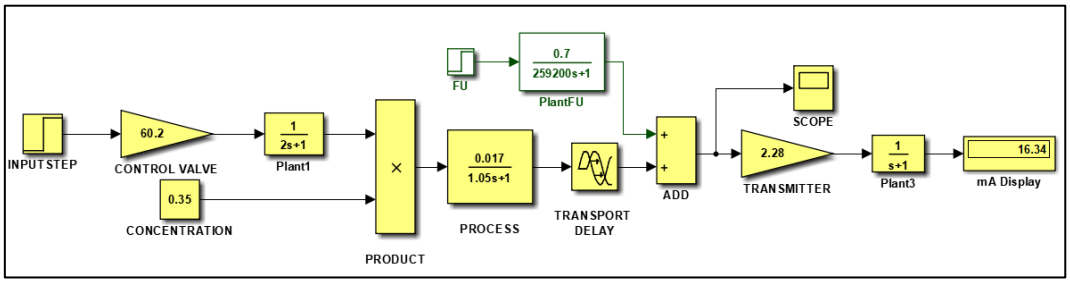
Nilai gain dari transmitter didapatkan dari hasil konversi dari rentang mA (variabel keluaran) dibagi dengan rentang pH (variabel masukan) sesuai persamaan (3.9).

$$K = \frac{\text{rentang miliAmpere}}{\text{rentang pH}} = \frac{20-4\ \text{mA}}{7-0} = 2{,}28 \tag{3.9}$$

3.2.2 Sistem *Open Loop*

Perancangan simulasi sistem hidroponik NFT dilakukan dengan *software* simulink MATLAB 2015a dalam bentuk *open loop*. Perancangan ini bertujuan untuk mengamati dan mempertahankan hasil keluaran terhadap setpoint yang telah ditetapkan tanpa adanya *feedback*. Tujuan lain dari perancangan ini yaitu mengetahui respon sistem sebelum diberi kontroler PID. Perancangan *open loop* dari sistem ini ditunjukkan pada gambar 3.8 dengan model yang telah ditetapkan sebelumnya.

Input step pada gambar 3.8 menunjukkan rentang besaran arus dalam mA pada *datasheet control valve* yaitu 4-20 mA. *Plant* hidroponik sebagai beban pada sistem ini ditunjukkan dengan blok hijau FU (*flow input)* dan *plant FU* dimana dalam keadaan basa. *Plant* pada sistem ini ditunjukkan oleh blok *process* dengan *transport delay* sebesar 6,15. Keluaran pada sistem ini ditunjukkan oleh *scope* sebelum *transmitter* sebab tidak adanya *feedback*.



Gambar 3.8 Skema sistem *open loop*

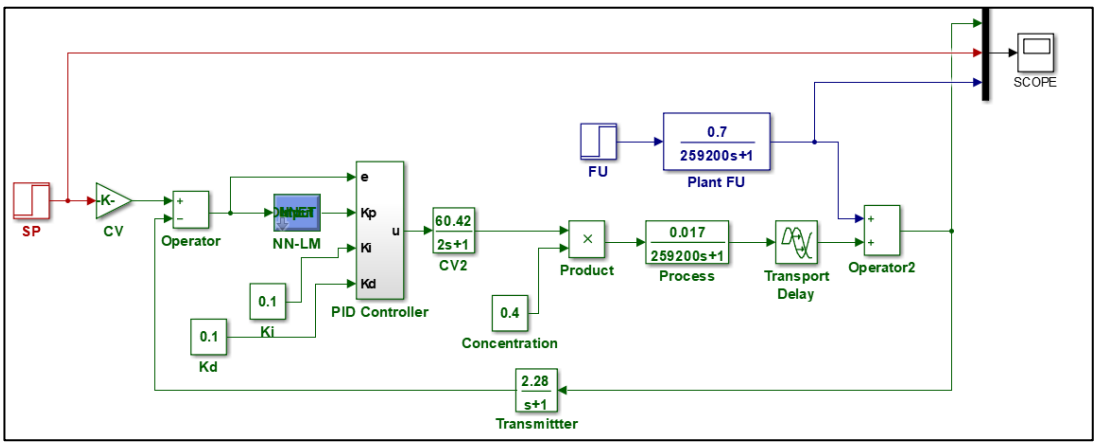
3.2.3 Perancangan Sistem Pengendalian pH PID-ANN

Perancangan sistem pengendalian PID pada pH untuk mendapatkan nilai pendekatan dari parameter performansi. Nilai tersebut didapatkan melalui *trial and error*. Nilai parameter Kp yaitu 0,4; nilai parameter Ti 0,1; dan nilai parameter Td 0,1. Skema kerja dari kontroler ini diilustrasikan sesuai dengan gambar dan persamaan (2.4). Nilai Kp dan eror tersebut akan dilatih pada *neural network* pada *software* MATLAB 2015a bagian *simulink* dalam keadaan *close loop.*

3.2.4 Sistem *Close Loop*

Pengujian *close loop* dilakukan setelah perancangan kontroler PID. Pengujian ini bertujuan untuk mempertahankan hubungan antara keluaran dan referensi masukan dalam mengontrol sistem tersebut. *Tuning* kontroler PID menggunakan metode jaringan saraf tiruan dengan algoritma *levenberg-marquadth* (LM) untuk menentukan nilai optimum dari parameter performansi kontroler. Berdasarkan persamaan (2.4) dapat disimpukan bahwa nilai Kp sebagai parameter *tuning* yang memiliki pengaruh paling besar terhadap ketiga parameter performansi tersebut. Nilai Ti dan Td pada persamaan (2.4) diatur konstan sehingga saat uji kelayakan maka respon diketahui sesuai yang diinginkan. Skema dari pengujian *close loop* ditunjukkan pada gambar 3.9.

SP pada gambar 3.9 menunjukkan setpoint yang diatur sebagai input pada *close loop* berdasarkan uji yang dilakukan. *Plant* hidroponik sebagai beban pada sistem ini ditunjukkan dengan blok biru FU (*flow input)* dan *plant FU* dimana dalam keadaan basa. *Plant* pada sistem ini ditunjukkan oleh blok *process* berwarna hijau dengan *transport delay* sebesar 6,15. Keluaran pada sistem ini ditunjukkan oleh *scope* setelah *transmitter* dengan tiga sinyal sebagai pengambilan data, yaitu *setpoint*, *plant* hidroponik, dan keluaran sistem *close loop* dengan training *neural network* algoritma *levenberg marquardt*.



Gambar 3.9 Skema sistem *close loop*

3.2.5 Pelatihan dengan *Neural Network* LM

Pelatihan menggunakan *neural network* dilakukan pada nilai eror dan parameter performansi kontroler PID. Prinsip kerja pelatihan ini menggunakan algoritma LM (*Levenberg-Marquardt)* sesuai pada subbab poin 2.5. Pelatihan akan berhenti apabila iterasi sesuai dengan iterasi maksimum yang dikehendaki atau nilai eror sesuai dengan target eror.

Proses training PID *controller* diawali dengan inisialisasi jaringan random bobot. Langkah-langkah selanjutnya dilakukan pada *coding* MATLAB, yaitu perhitungan maju pada hidden dan *output* layer, perhitungan SSE (eror keseluruhan), perhitungan matriks *jacobian*, perhitungan selisih bobot, koreksi pembobot. Pilihan dilakukan apabila eror keseluruhan yang baru lebih kecil daripada eror keseluruhan sebelumnya maka akan ditampilkan *output* hasil training yaitu nilai Kp dan eror yang besarnya berbanding lurus. Langkah selanjutnya akan diteruskan apabila eror keseluruhan yang baru lebih besar daripada eror keseluruhan sebelumnya, yaitu dengan memperbesar nilai perkalian *learning rate* dan factor pengali lalu perhitungan selisih bobot, dan langkah selanjutnya hingga mencapai nilai eror yang limit.

3.2.6 Analisa Eror Sistem

Penentuan analisa eror sistem dapat melalui analisa kualitatif dan kuantitatif. Analisa kualitatif meninjau pada respon sistem di bagian *rise time, settling time, settling minimum, settling maximum, overshoot, undershoot, peak, peak time,* dan *error steady state.* Analisa kuantitatif pada sistem ditinjau dari nilai minimal fungsi objektif ITAE (*integral of time multiplied by absolut error)* sesuai persamaan (3.11) dan MSE (*mean square error)* sesuai persamaan (3.12).

$$ITAE = \int_0^\infty |e(t)|dt \tag{3.10}$$

$$MSE = \int_0^\infty e^2(t)dt \tag{3.11}$$

Penentuan eror sistem dilakukan untuk memenuhi kriteria MSE (*Mean Squared* Error) yang diperbolehkan. Analisa eror *steady state* pada sistem

diperbolehkan apabila nilainya di bawah 5%. Eror yang berada di atas batas toleransi tersebut maka dilakukan pengujian perancangan model matematis dilanjutkan dengan langkah-langkah berikutnya hingga memperoleh eror yang sesuai batas toleransi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

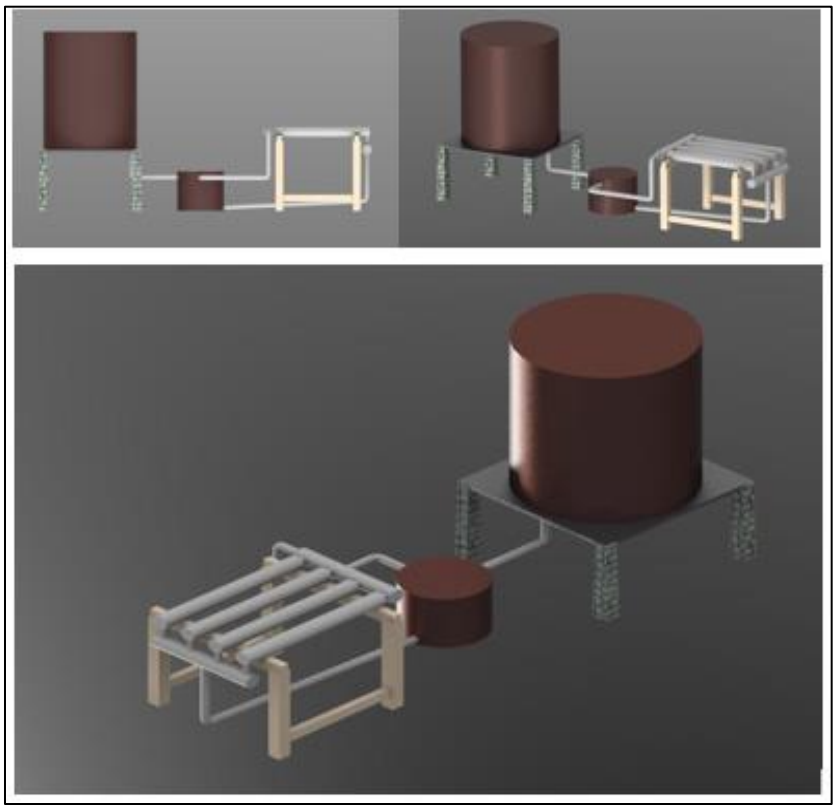
4.1 Simulasi CFD *Plant*

Proses *pre-processing* menghasilkan gambar gometri dari desain *plant* hidroponik NFT pada gambar 4.1. Hasil dari simulasi komputasi dinamika fluida pada *plant* hidroponik ditampilkan dalam bentuk kontur laju aliran dan tekanan fluida. Kontur tersebut menunjukkan distribusi variabel yang dikehendaki pada pipa dari tangki nutrisi menuju akar tanaman hidroponik.

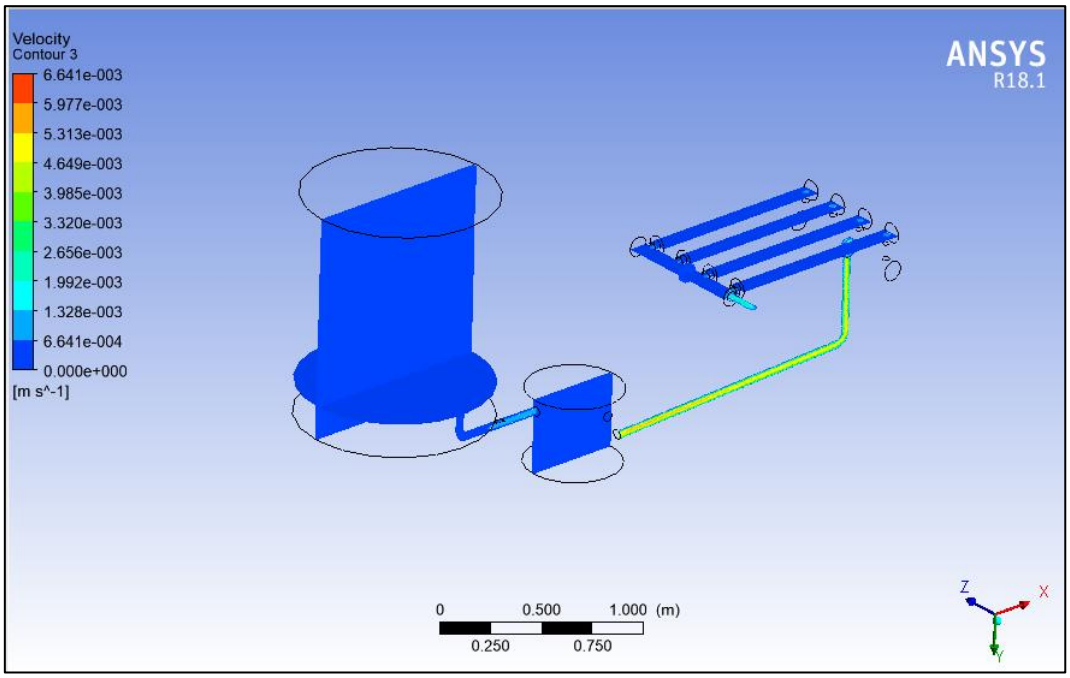
Gambar 4.2 menunjukkan hasil kontur kecepatan aliran fluida pada saat laju aliran masa inlet sebesar 0,5 liter per menit. Rata-rata kecepatan pada gambar tersebut adalah 0,0003111 m/s. Gambar 4.4 menunjukkan hasil kontur sebagai tampilan visual distribusi dari variabel tekanan fluida saat laju aliran masa inlet sebesar 0,5 liter per menit. Rata-rata tekanan fluida pada gambar tersebut yaitu 0,000167 pascal.

Gambar 4.3 menunjukkan hasil kontur sebagai tampilan visual distribusi dari variabel kecepatan aliran fluida saat laju aliran masa inlet sebesar 2,5 liter per menit. Rata-rata kecepatan pada gambar tersebut adalah 4,758433333 m/s. Gambar 4.5 menunjukkan hasil simulasi dari komputasi dinamika fluida terhadap variabel tekanan dalam bentuk kontur saat laju aliran masa inlet sebesar 2,5 liter per menit. Rata-rata tekanan fluida pada hasil simulasi tersebut adalah 345,6633333 pascal.

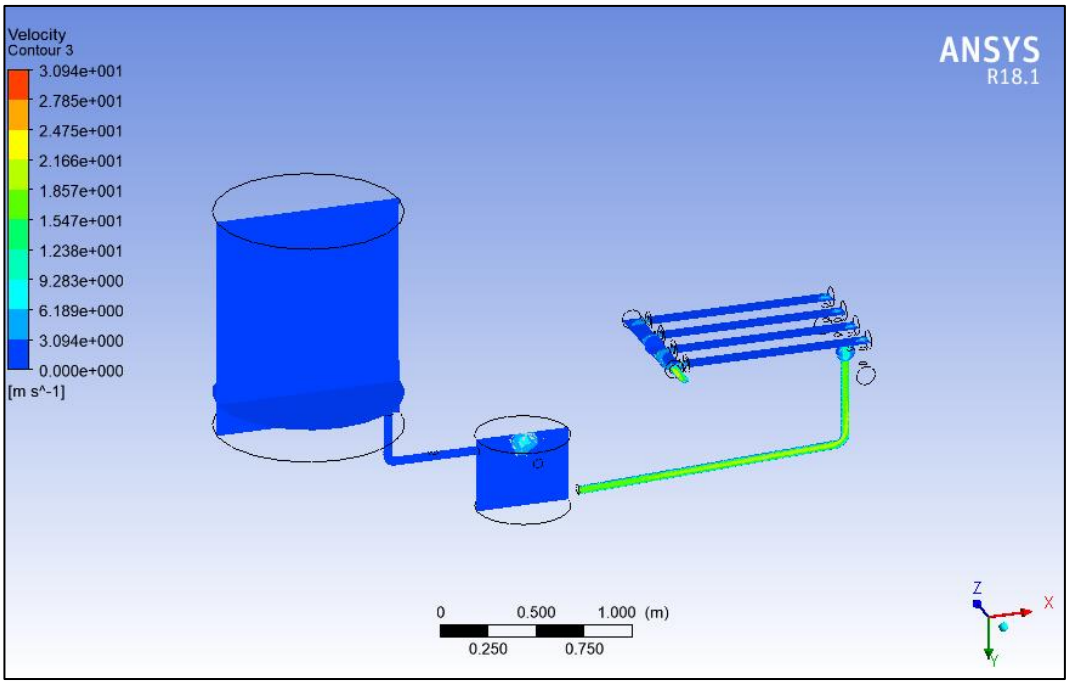
Perbandingan hasil komputasi karakteristik fluida pada kedua variabel menunjukkan hasil yang berbeda. Masa inlet sebagai *input* kecepatan dari *plant* hidropnonik NFT yang dibuat berbeda akan berpengaruh terhadap hasil kontur. Laju aliran masa inlet yang semakin besar mampu memberikan tekanan yang semakin besar pada *plant* hidroponik berdasarkan hasil simulasi komputasi dinamika fluida yang telah dilakukan. Hasil komputasi tersebut mampu mengamati secara langsung variabel yang sulit diukur, serta mengevaluasi desain *plant* hidroponik yang akan dibuat.



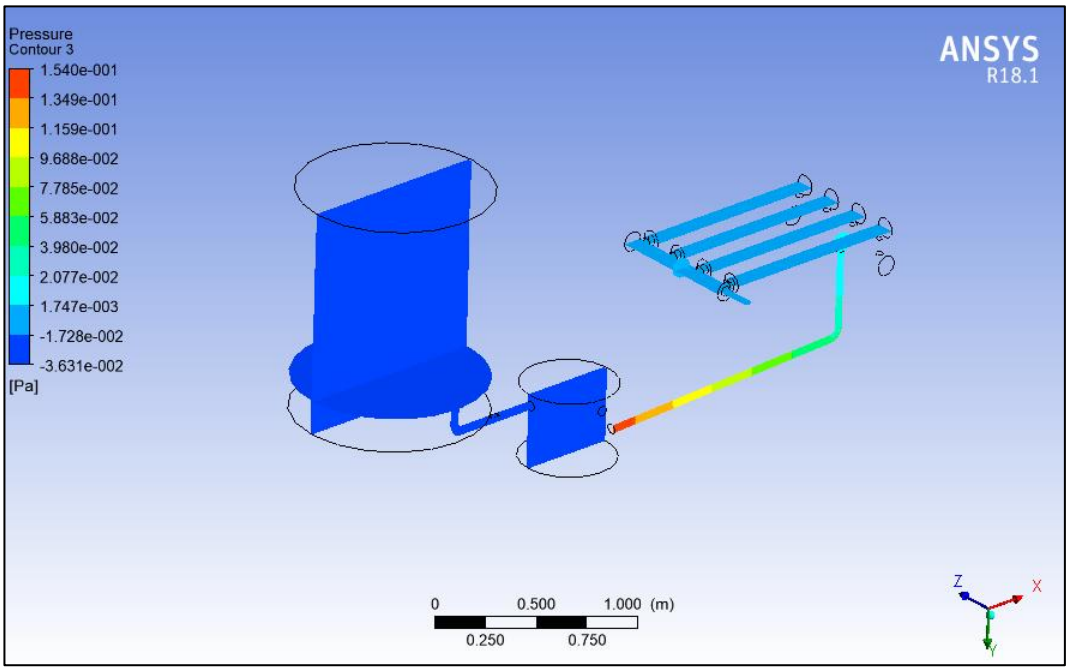
Gambar 4.1 Hasil geometri tampak depan dan samping



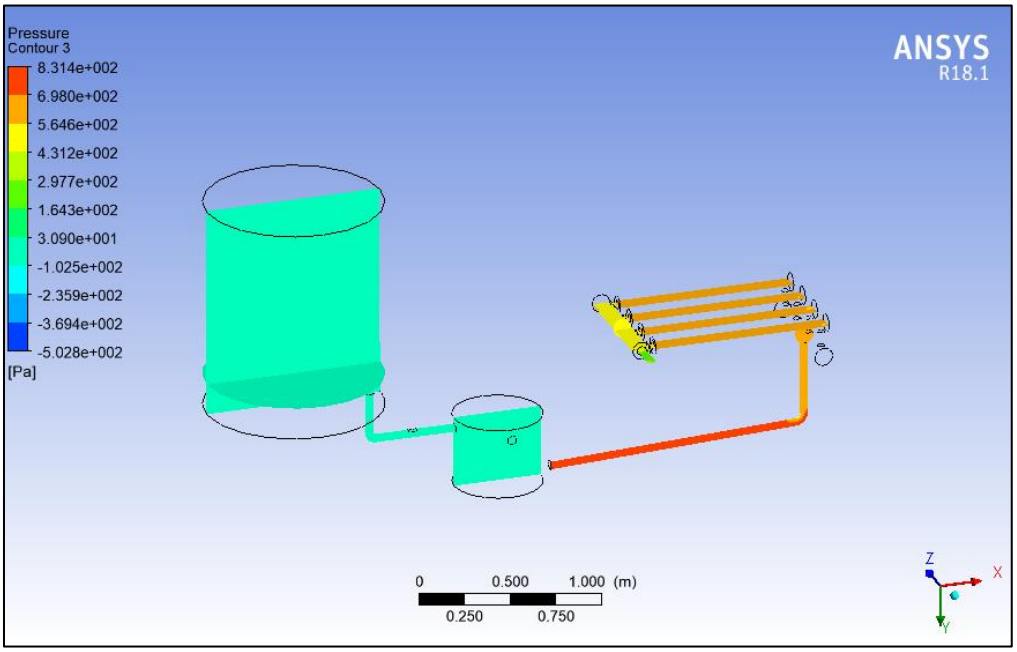
Gambar 4.2 Hasil *contour* kecepatan (*mass flow rate* 0,5 liter/menit)



Gambar 4.3 Hasil *contour* kecepatan (*mass flow rate* 2,5 liter/menit)



Gambar 4.4 Hasil *contour* tekanan fluida (*mass flow rate 0,5 liter/menit*)

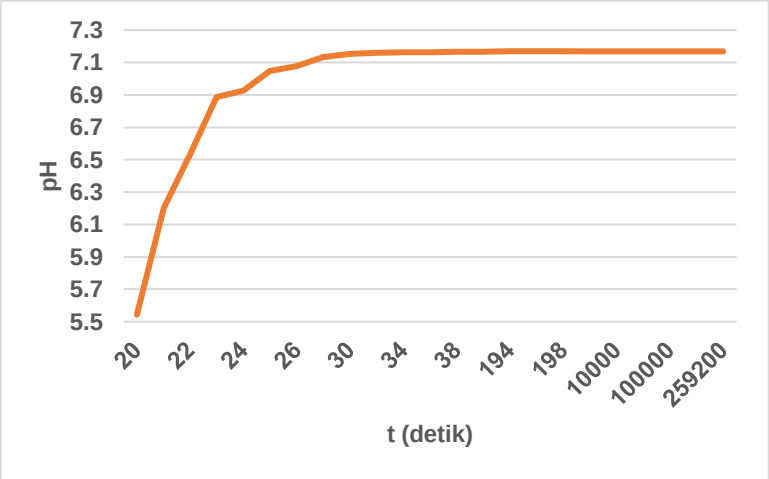


Gambar 4.5 Hasil *contour* tekanan fluida (*mass flow rate* 2,5 liter/menit)

4.2 Uji *Open Loop*

Simulasi *open loop* pada simulink MATLAB setelah dilakukan sesuai skema gambar 3.8 maka menghasilkan respon gambar 4.6. Berdasarkan respon uji *open loop* dengan masukan *flow* dan konsentrasi tersebut, dapat diketahui bahwa nilai respon linear dengan sistem orde satu. Sumbu x pada respon tersebut menunjukkan waktu dalam satuan detik. Sumbu y pada respon tersebut menunjukkan nilai pH. Garis biru pada gambar 4.6 merupakan respon pH terhadap waktu dalam keadaan *open loop.*

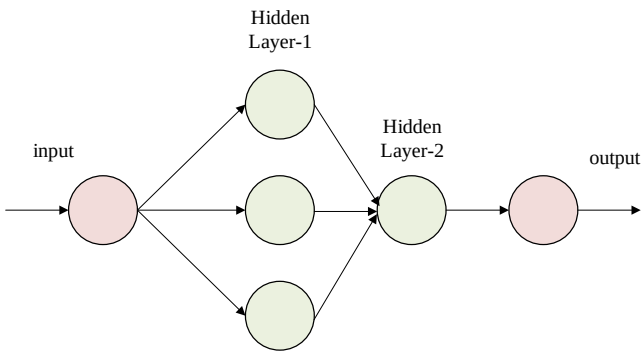
Grafik tersebut tidak dapat mencapai setpoint secara stabil maka dari itu diperlukan adanya kontroler sebagai pengendali. Penambahan beban pada *plant* akan menyebakan grafik yang dihasilkan tidak dapat stabil mencapai setpoint yang diinginkan. Hal ini dapat diatasi dengan *self-tuning* PID-ANN untuk menemukan nilai optimum pada parameter performansi dari kontroler tersebut dengan mode *close loop.*



Gambar 4.6 Respon uji *open loop*

4.3 Uji *Close Loop*

Tipe dari kontroler yang akan dilatih yaitu pid-*feedforward* dengan umpan balik sehingga aksi kontrol lebih efektif. Arsitektur dari *neural network* untuk melatih nilai parameter performansi PID ditunjukkan oleh gambar 4.7 dengan 1 *input* layer, 2 hidden layer, dan 1 *output* layer. Hidden layer yang pertama terdiri dari 3 neuron. Hidden layer yang kedua terdiri dari 1 neuron. *Output* dari pelatihan ini yaitu parameter performansi yang optimum dari kontroler PID yaitu Kp, Ki, dan Kd yang stabil.



Gambar 4.7 Arsitektur *neural network*

Model yang digunakan untuk melakukan *tuning* kontroler PID menggunakan *neural network* yaitu model *open* dan *close loop*. Model *open loop* merupakan simulasi *open loop* pada simulink MATLAB yang telah dikerjakan pada subbab 3.2.3. Model *close loop* merupakan model referensi yang telah ditambahkan

kontroler PID dengan parameter performansi manual. Nilai-nilai pada parameter pelatihan menggunakan *neural network* ditunjukkan tabel 4.1.

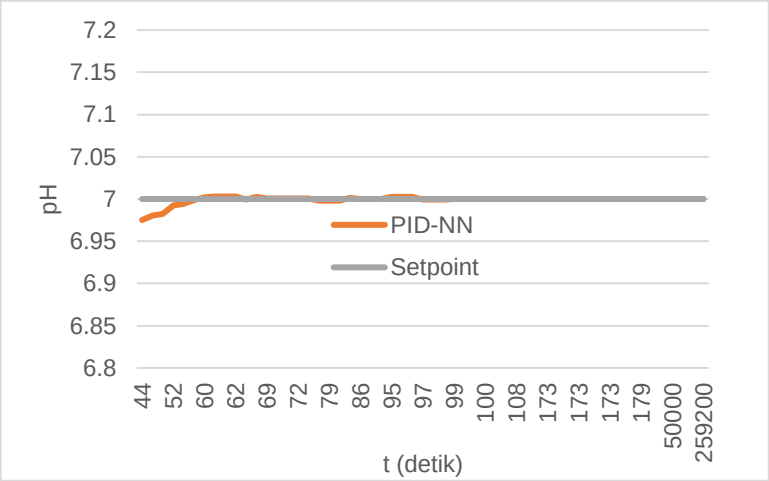
Tabel 4.1 Parameter Pelatihan ANN

Parameter	Nilai
Performance Goal	0
Sampling Interval (detik)	200
Training Sampel	25
Maximum Training Epochs	500
Training Function	Marq (Levenberg-Marquardt)
Model Plant	*Close loop system*

Struktur dari neural network terdiri dari *input*, *hidden layer*, dan *output*. Fungsi aktivasi dari *training* tersebut yaitu tansig dan linear. Performansi yang diharapkan di*set* menjadi 0. Interval *sampling* atau periode *sampling* (Ts) dalam satuan detik yaitu 200. *Input* minimum dari kontroler yaitu 4 sedangkan *input* maksimum yaitu 20 sesuai spesifikasi dari *control valve*. Iterasi untuk melatih data pelatihan maksimal sebanyak 500 *epochs*. Beberapa nilai tersebut dapat dilihat pada bagian editor dengan fungsi *newff* yang bertujuan untuk membuat *neural network feed forward* dengan parameter yang berhubungan dengan algoritma training. Algoritma pelatihan yang digunakan untuk meminimalkan eror yaitu *levenberg-marquardt* karena sifatnya yang konvergen dan *robustness*.

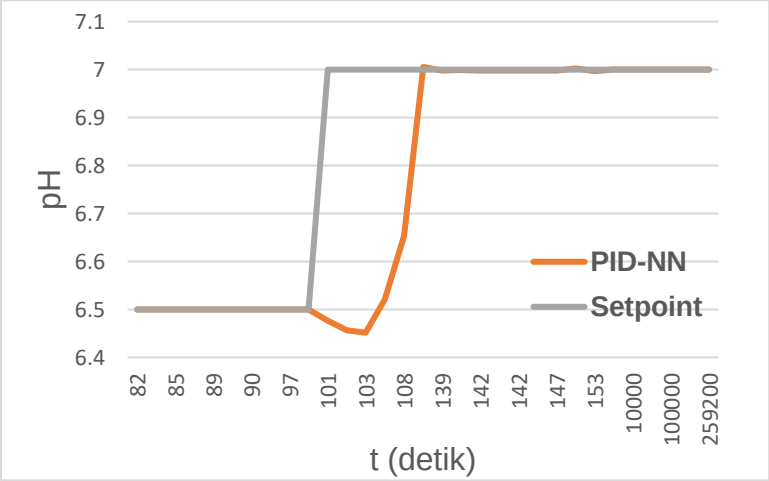
Uji *close loop* yang pertama dilakukan dengan nilai setpoint pH yang konstan yaitu 7 untuk menguji respon *plant* setelah diberi kontroler. *Output* dari hidroponik diasumsikan sebagai beban karena dapat mempengaruhi nilai pH pada *plant*. Gain pada beban yaitu 0,07 yang merupakan hasil rasio dari *flow* konsentrasi keluaran hidroponik dengan kenaikan pH. Hasil respon dari pengujian tersebut ditunjukkan pada gambar 4.8 dengan nilai pH sebagai sumbu y dan waktu dalam satuan detik sebagai sumbu x. Hasil respon garis biru menunjukkan kestabilan dan dapat mencapai *setpoint* pada detik ke 40,11 dengan error *steady state* 0,008%. Analisis kualitatif dari pengujian pertama yaitu *rise time* 6,35 detik, *maximum overshoot*

9,68%, dan *peak time* 20 detik. Analisis kuantitatif dari respon pengujian pertama ini ditinjau dari nilai ITAE yaitu 169,5.



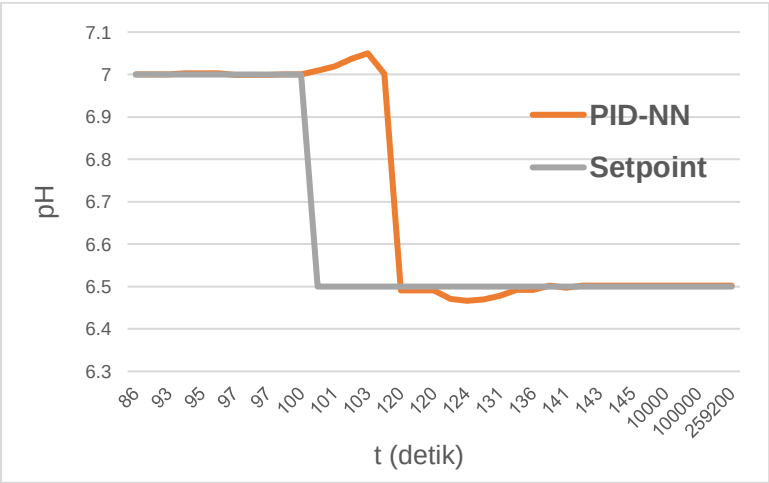
Gambar 4.8 Grafik hasil uji *close loop*-1

Uji *close loop* yang kedua dilakukan dengan variasi kenaikan nilai setpoint dari 6.5 ke 7. Hasil respon dari pengujian tersebut ditunjukkan pada gambar 4.9 dengan nilai pH sebagai sumbu y dan waktu dalam satuan detik sebagai sumbu x. Garis biru pada grafik sebagai hasil respon menunjukkan bahwa *plant* dapat mencapai setpoint meskipun terdapat penambahan larutan pH basa. Analisis kualitatif dari pengujian kedua yaitu *rise time* 7,90 detik, *settling time* 113,11 detik, *maximum overshoot* 3,46%, *peak time* 22,37 detik, dan *error steady state* 0,004%. Analisis kuantitatif dari respon pengujian kedua ini ditinjau dari nilai ITAE yaitu 197,001.



Gambar 4.9 Grafik hasil uji *close loop*-2

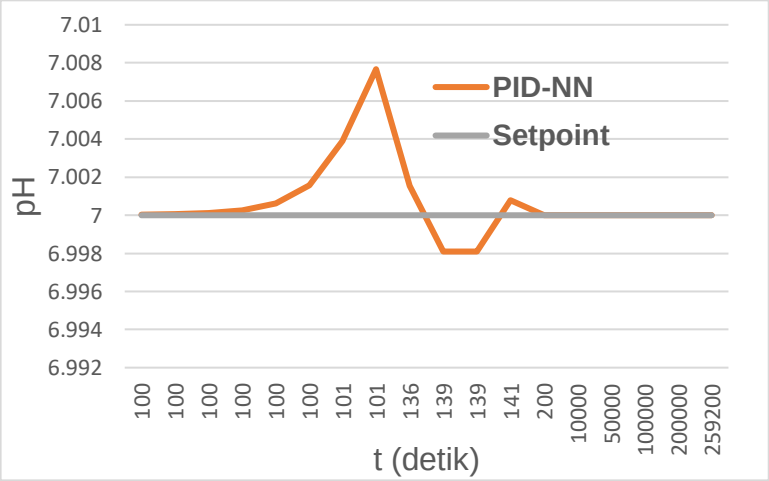
Uji *close loop* yang ke-tiga dilakukan dengan variasi nilai setpoint dari 7 ke 6,5. Hal ini untuk menguji performansi *plant* saat terdapat perubahan *setpoint*. Hasil respon dari pengujian tersebut ditunjukkan pada gambar 4.10 dengan nilai pH sebagai sumbu y dan waktu dalam satuan detik sebagai sumbu x. Garis biru sebagai hasil respon dapat mencapai kestabilan pada detik ke 113,23 dengan *error steady state* 0,01%. Analisis kualitatif dari pengujian ini yaitu *rise time* 5,71 detik, *maximum overshoot* 17,83%, dan *peak time* 19,22 detik. Analisis kuantitatif dari respon pengujian ketiga ini ditinjau dari nilai ITAE yaitu 195,64.



Gambar 4.10 Grafik hasil uji *close loop*-3

4.4 Uji Beban Hidroponik

Uji *close loop* yang ke-empat dilakukan dengan variasi kenaikan pH dari hidroponik yang dinaikkan 10%. Perubahan tersebut juga mensimulasikan *time constant* menjadi 1000 detik pada pemodelan beban hidroponik. Nilai setpoint diatur konstan yaitu 7. Uji yang ke-empat ini dilakukan untuk mengetahui performansi sistem kontrol untuk menangani uji tersebut saat terdapat penambahan beban. Hasil respon dari pengujian tersebut ditunjukkan pada gambar 4.11 dengan nilai pH sebagai sumbu y dan waktu dalam satuan detik sebagai sumbu x. Hasil respon tersebut tidak bisa menunjukkan secara signifikan respon sistem diakibatkan nilai perubahan yang terlalu kecil. Hasil respon dapat stabil pada detik ke 40,07 meskipun terdapat penambahan beban pada detik ke 100 dengan *error steady state* 0,002%. Analisis kualitatif dari pengujian ke-empat yaitu *rise time* 6,34 detik, *maximum overshoot* 9,47%, dan *peak time* 19,22 detik. Analisis kuantitatif dari respon pengujian keempat ini ditinjau dari nilai ITAE yaitu 190,33.



Gambar 4.11 Grafik hasil uji *close loop*-4

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tersebut maka dapat diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut:

a) Perancangan sistem *self-tuning* pengendalian pH pada hidroponik NFT menggunakan PID-ANN dilakukan dengan algoritma *levenberg-marquardt.* Analisis kualitatif dari sistem yaitu *rise time* 6,57 detik, *settling time* 76,62 detik, *maximum overshoot* 10,11%, dan *peak time* 20,20 detik. Analisis kuantitatif dari sistem ditinjau dari ITAE yaitu 188,10.

b) Simulasi komputasi dinamika fluida pada perangkat lunak ansys menggunakan metode *finite element* untuk mengetahui *contour* kecepatan dan tekanan pada aliran fluida dari tangki *CSTR* A-B *mix* menuju akar tanaman hidroponik. Penentuan *input* flow yang baik yaitu 0,5 liter/menit untuk sistem hidroponik NFT ini ditinjau dari nilai maximum *skewness* yaitu 0,8 dan terdistribusinya aliran nutrisi pada pipa tanaman hidroponik melalui gambar *contour* yang dihasilkan.

5.2 Saran

Saran mengenai kemungkinan penelitian lanjutan dari tugas akhir ini yaitu:

a) Pemodelan *tuning* PID menggunakan jaringan saraf tiruan dapat dilakukan melalui MATLAB dengan versi terbaru pada pilihan *deep learning* mengikuti perkembangan teknologi

b) Pengembangan simulasi komputasi dinamika fluida dapat dilakukan untuk perubahan kadar (pH) apabila spesifikasi komputer yang digunakan mempuni dalam pengerjaan simulasi tersebut

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Afaneen A Abood, Firas M Tuaimah, Aseel H Maktoof. (2012). Modelling of SVC Controller based on Adaptive PID Controller using Neural Network . *International Journal of Computer Applications*, vol.59 no.6.

Ansys.inc. (2013). Ansys Fluent Theoryl Guide .

Bai, L. (2011). Electric Drive System with BLDC Motor. *International Conference on Electric Information and Control Engineering* (hal. 254). Kuala Lumpur: Universiti Malaya.

Blanke, M. (1999). *Fault Tolerant Control Systems.* London: Adventure Workd Press.

Claude E Boyd, Craig S Tucker. (2011). Intrepertation of pH, Acidity, and Alkalinity in Aquaculture and Fisheries. *North American Journal of Aquaculture*.

Drs Irianto, Suhariningsih, Yanuar Sholkhah. (2017). Sistem Pengaturan Kadar Asam (pH) dan Waktu Pemberian Nutrisi Tanaman Hidroponik Menggunakan Energi Solar Cell. *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)*.

Eka Pandu C, Edi Ismanto. (2017). Jaringan Saraf Tiruan Algoritma Backpropagation dalam Memprediksi Ketersediaan Komoditi Pangan Provinsi Riau. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi UIN Syarif Kasim Riau*.

Errabelli, R. (2012). Fault-Tolerant Voltage Source Inverter for Permanent Magnet Drives. *IEEE Transactions on Power Electronics, 27*.

Gao, Y. (2001). Electronic Braking System of EV and HEV--Integration of Regenerative Braking, Automatic Braking Force Control and ABS. *42 Volt Technology and Advanced Vehicle Electrical Systems*.

Gradella, M. (2004). Current Controller with Artificial Neural Network. *Proc. 15th Brazilian Conference on Automatic Control, CBA.* Brazil.

Hao Yu, Bogdan M Wilamowski. (2011). *Intelligent System.* Auburn University.

Irianto, Suhariningsih, Yanuar Sholikhah . (2017). Sistem Pengaturan Kadar Asam (pH) dan Waktu Pemberian Nutrisi Tanaman Hidroponik Menggunakan Energi Solar Cell. *Sentra*.

Jawad Arif, Nilanjan Ray, Swakshar Ray, Balarko C. (2009). Online Levenberg-Marquardt Algorithm for Neural Network based Estimation and Control of Power System. *IEEE*.

Jovita, D. (2018). Analisis Unsur Makro (K, Ca, Mg) Mikro (Fe, Zn, Cu) pada Lahan Pertanian dengan Metode ICP-OES.

Khusaeni, A. (2010). Pengujian Karakteristik Aliran Fasa Tunggal Aliran Air Vertikal ke atas pada Penukar Kalor Saluran Rektangular Bercelah Sempit. *Skripsi tahunan* .

Libia I. Trejo-Téllez, Fernando C. Gómez-Merino. (2012). Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. *researchgate*.

Lubbers, K. (2014). Design and Analysis of a Model Based Low Level Slip Controller Based on a Hybrid Braking System. *Science in Systems and Control Delft University*.

Machrus Ali, Budiman, Agus R, Hendi Sopian. (2019). Algoritma Persaingan Imperialis Sebagai Optimasi Kontroler PID dan ANFIS Pada Mesin Sinkron Magnet Permanen (Imperialist Competitive Algorithm As PID Optimization and ANFIS Controller at Permanent Magnet Synchronous Machine). *Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA* , vol 3.

Maryanto. (2019). Investigasi Simulasi 3 Dimensi Karakteristik Aliran pada Model Geometri Pompa Hidram Menggunakan Computational Fluid Dynamics. *Skripsi*.

Maslan Zainon, Sy Najib Sy Salim. (2010). *Control System Engineering.* Malaysia: UTeM press.

MKO Ayomoh, MT Ajala. (2012). Neural Network Modelling of a Tuned PID Controller. *European journal of scientific research*, 283-297.

Morgan, D. L. (1999). Nutrient Film Technique Production of Lettuce.

Murali, T. (2017). Four Quadrant Operation and Control of Three Phase BLDC Motor. *International Conference on Circuits Power and Computing Technology*.

Offer, G. J. (2010). Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell, and hybrid vehicle in a future sustainable road transport system. *energy policy, 38*, 24-29.

Patel, M. (2013, June 13). CFD *guide*. Dipetik April 24, 2020, dari Typical Steps of CFD: http://www.hitechcfd.com

Peter-Yien, Jean. (2001). Measuring, Modelling and Controlling the pH Value and the Dynamic Chemical State. *Helsinky University of Tech.*

Qhasmal, R. (2016). Desain Auto*tuning* Kontroler PID Berbasis Algoritma Neural-Network untuk Sistem Pengaturan Cascade Level dan Flo Liquid pada Plant Coupled Tank. *TE-141159*.

Rabia, A. H. (2012). *Nutrient Film Technique as a Hydroponic System.* Georgia: CreateSpace Independent Publishing Platform.

Restu Maerani & Syaiful Bakhri. (2013). Perbandingan Sistem Pengontrolan PID Konvensional dengan Pengontrolan CMAC, Fuzzy Logic, dan ANN pada Water Level Pressurizer. *Sigma Epsilon*.

Restu Maerani, Syaiful Bakhri. (Agustus 2013). Perbandingan Sistem Pengontrolan PID Konvensional dengan Pengontrolan CMAC, Fuzzy Logic, dan ANN pada Water Level Pressure. *Sigma Epsilon*.

Ridho Bayuaji, Totok R Biyanto. (2013). Model Jaringan Saraf Tiruan Kuat Tekan Beton Porus dengan Material Pengisi Pasir. *Jurnal teoritis dan terapan bidang rekayasa sipil*, vol.20 no.1.

Scoott, C. D. (2004). *The K-Epsilon Model in The Theory of Turbulence.* Pittsburgh: University of Pittsburgh.

Seroor Atalah Khaeefa Ali, Dr.Huda T.Hamad. (2018). Study of Pressure Loses in Piping System. *International Journal of Science and Research*, vol.8 .

Shiosansi, R. (2008). Emissions Impacts and Benefits of Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Vehicle-to-Grid Services. *Environmental Science Technology*, 1199-1204.

Singh, C. P. (2012). State-space Based Simulink Modeling of BLDC Motor and its Speed Control Using Fuzzy PID Controller. *International Journal of Advances in Engineering Science and Technology*, *2*, 359-369.

Sukamta, Thoharudin, Dedy Meilanto. (2018). Simulasi CFD Aliran Stratified Air-Udara pada Pipa Horizontal. *Semesta Teknika*, 206-215].

Tashakori, A. (2011). Modeling of BLDC Motor with Ideal Back-EMF for Automotive Applications. *World Congress on Engineering.* London.

Triwiyatno, A. (2010). *Sistem Kontrol Analog.* Semarang: Universitas Diponegoro.

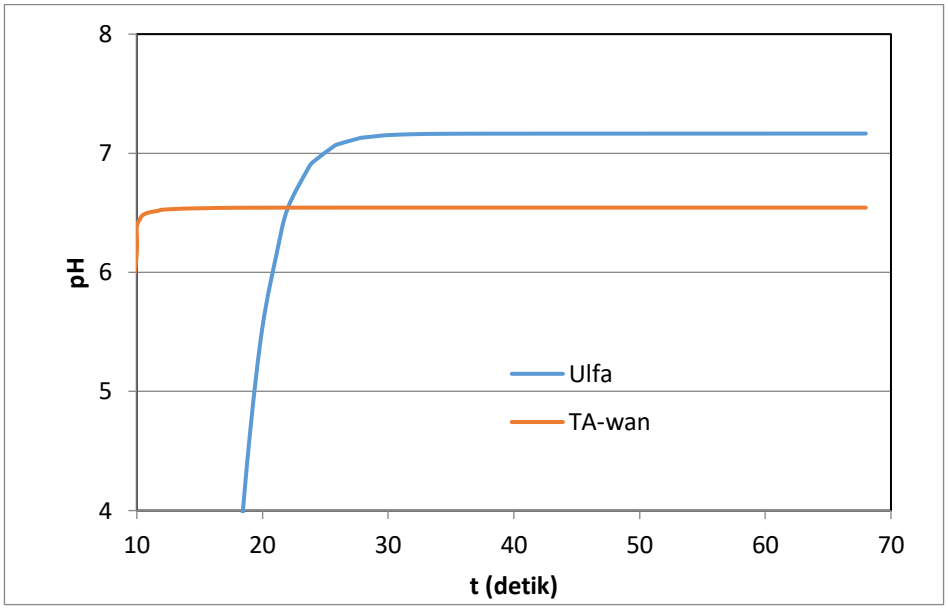
Tur, O. (2007). An Introduction to Regenerative Braking of Electric Vehicles as Anti-Lock Braking System. *Proceedings of 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, (hal. 13-15). Istanbul.

UNY, S. (2014). *Dasar Sistem Kendali.* Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Westbrook, M. H. (2005). *Development and future of battery, hybrid, and fuel-cell cars.* London: The Institution of Electrical Engineers.

LAMPIRAN

A. Validasi *Open Loop*



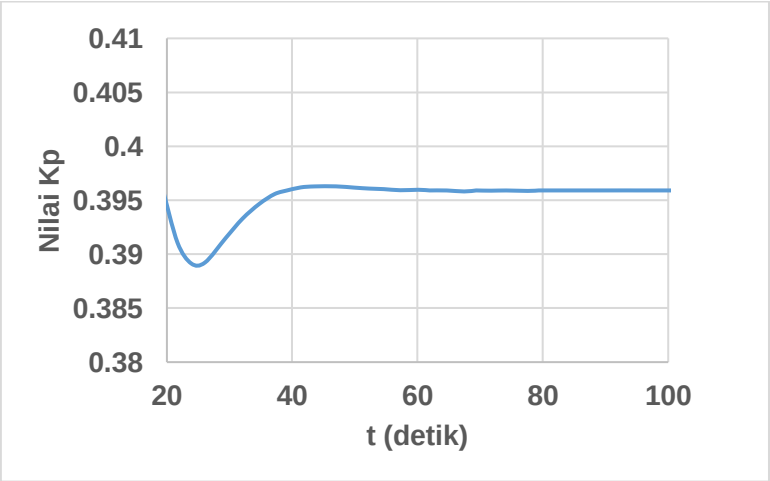
B. Validasi *Close Loop* PID-ANN dengan PID

Kategori	Uji PID 1	Uij PID-ANN 1	Uji PID 2	Uji PID-ANN 2	Uji PID 3	Uji PID-ANN 3	Uji PID 4	Uji PID-ANN 4
Rise time (detik)	7,58	6,35	8,44	7,90	6,88	5,71	7,58	6,34
Settling time (detik)	44,75	40,10	113,02	113,11	113,29	113,23	44,82	40,07
Max. Overshoot (%)	16,05	9,68	8,08	3,46	24,94	17,83	16,03	9,47
Peak time (detik)	23,44	20	22,77	22,37	23,44	19,22	23,44	19,22
Ess (%)	0,0012	0,0086	0,0097	0,0046	7,15	0,0140	0,0042	0,0025
ITAE	216,65	169,46	212,41	197,00	226,84	195,64	213,94	190,33

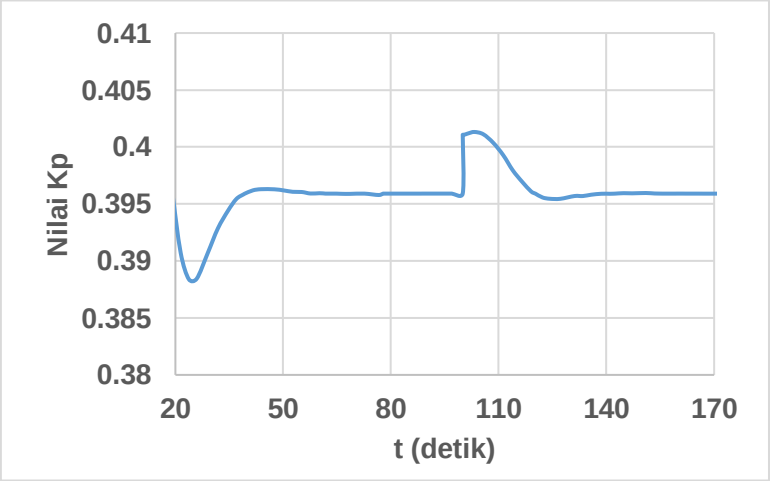
Perbandingan rata-rata dari seluruh uji	PID	PIDNN
Rise time (detik)	7,62	6,575
Settling time (detik)	78,97	76,6275
Max. Overshoot (%)	16,275	10,11
Peak time (detik)	23,2725	20,2025
Ess (%)	1,791258	0,007503
ITAE	217,46	188,1093

C. Grafik Perubahan *Gain* Kp

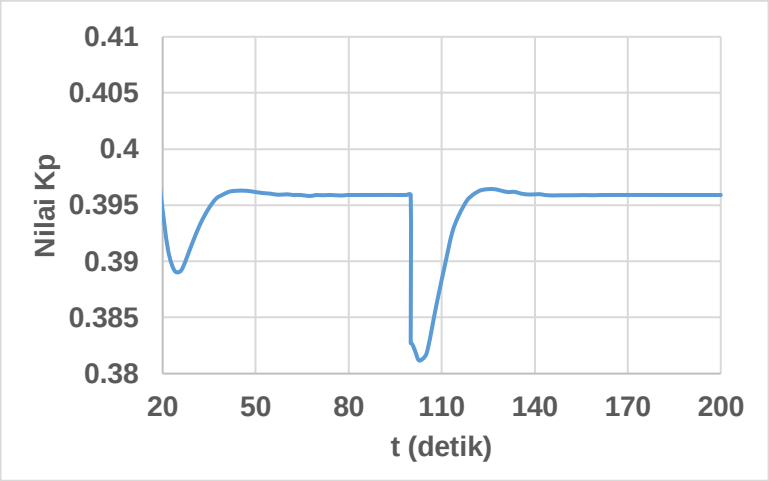
- **Setpoint konstan 7**



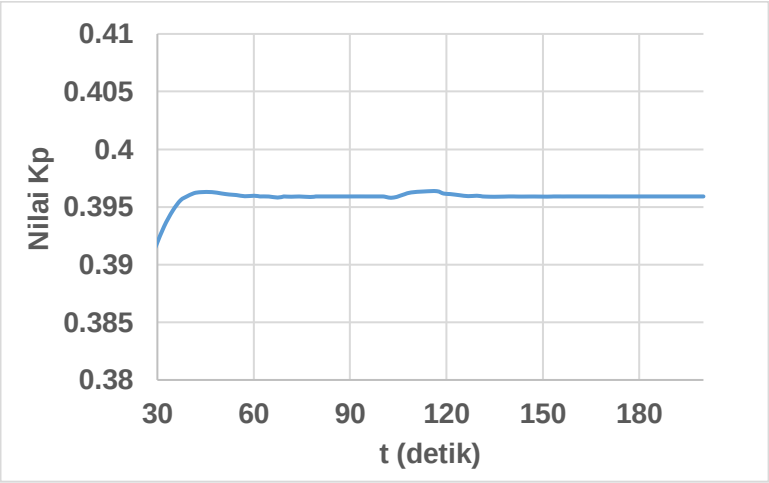
- **Variasi kenaikan setpoint**



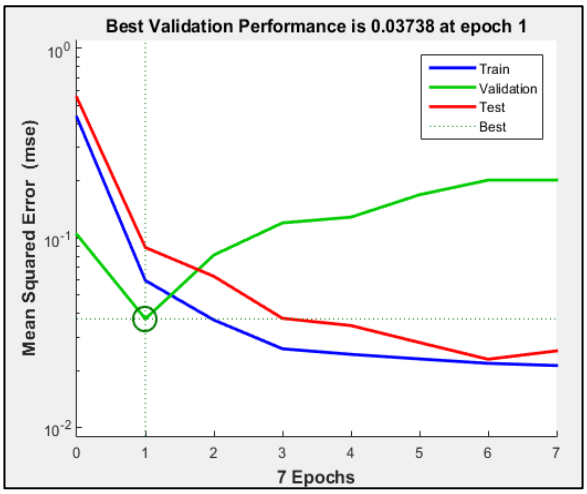
- **Variasi penurunan setpoint**



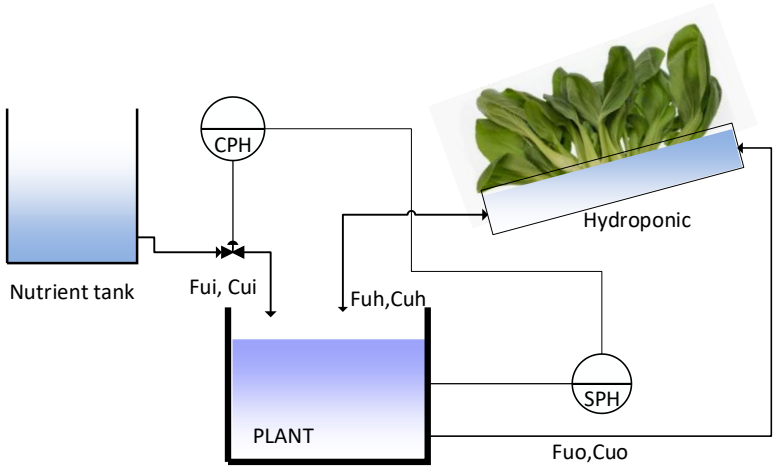
- **Uji beban hidroponik**



D. Performansi dari *Training Neural Network*



E. Gambar Skematik *Plant*



BIODATA PENULIS

Penulis bernama Ulfa Rosyida. Penulis dilahirkan di kota Probolinggo, 16 Januari 1998. Penulis menyelesaikan Sekolah Dasar pada tahun 2010 di SDN Ketapang III, pada tahun 2013 penulis menamatkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 kota Probolinggo, dan pada tahun 2016 penulis menamatkan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 kota Probolinggo. Penulis mampu menyelesaikan gelar sarjana teknik pada tahun 2020 di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Perancangan Sistem Pengendalian pH pada Hidroponik NFT Menggunakan PID-ANN *Self-Tuning*". Kritik, saran, atau diskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini dari pembaca, dapat menghubungi penulis melalui email urosyida97@gmail.com.