



TUGAS AKHIR - TF 141581

**IMPLEMENTASI KONTROL LOGIKA
FUZZY(KLF) DALAM PENGENDALIAN
KADAR KEASAMAN(pH) *HYDROPONIC
DUTCH BUCKET SYSTEM* PADA TOMAT
*CHERRY***

WILUJENG FITRI ALFIAH
NRP. 2414 105 023

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

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

“Halaman ini memang dikosongkan”



FINAL PROJECT TF 141581

**IMPLEMENTATION OF FUZZY LOGIC
CONTROL (FLC) IN ACIDITY LEVELS
CONTROL (pH) HYDROPONIC DUTCH
BUCKET SYSTEM IN CHERRY TOMATO**

WILUJENG FITRI ALFIAH
NRP. 2414 105 023

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

Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

“Halaman ini memang dikosongkan”

**IMPLEMENTASI KONTROL LOGIKA FUZZY(KLF)
DALAM PENGENDALIAN KADAR KEASAMAN(pH)
HYDROPONIC DUTCH BUCKET SYSTEM PADA TOMAT
CHERRY**

TUGAS AKHIR

Oleh:
WILUJENG FITRI ALFIAH
NRP. 2414 105 023

Surabaya, 19 Juli 2016
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing



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



Ketua Jurusan
Fisika FTI-ITS

Agus Muhamad Hatta, S.T.,M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

“Halaman ini memang dikosongkan”

**IMPLEMENTASI KONTROL LOGIKA FUZZY(KLF)
DALAM PENGENDALIAN KADAR KEASAMAN(pH)
HYDROPONIC DUTCH BUCKET SYSTEM PADA TOMAT
CHERRY**

TUGAS AKHIR





Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

WILUJENG FITRI ALFIAH

NRP. 2414 105 023

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Hendra Cordova, S.T.,M.T. .....(Pembimbing)
2. Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc. .....(Ketua Penguji)
3. Ir.Matradji, M.Sc .....(Penguji I)
4. Ir. Tutug Dhanardono, M.T. .....(Penguji II)

**SURABAYA
JULI 2016**

“Halaman ini memang dikosongkan”

IMPLEMENTASI KONTROL LOGIKA FUZZY(KLF) DALAM PENGENDALIAN KADAR KEASAMAN(pH) *HYDROPONIC DUTCH BUCKET SYSTEM* PADA TOMAT *CHERRY*

Nama : Wilujeng Fitri Alfiah
NRP : 2414105023
Jurusan : Teknik Fisika, FTI - ITS
Pembimbing : Hendra Cordova, S.T.,M.T.
Abstrak

Hidroponik adalah budidaya tanaman dengan larutan air dan nutrisi terlarut(Roberto, 2003). Kebanyakan sistem hidroponik tidak akan berhasil, yang diakibatkan oleh kurangnya aspek gizi dalam sistem sehingga diperlukan persiapan yang memadai untuk management larutan nutrisi. Beberapa keunggulan sistem hidroponik adalah dapat diterapkan pada daerah yang tidak cocok dengan pertanian konvensional, seperti daerah kering dan tanah yang rusak. Penyerapan nutrisi pada hidroponik dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan udara, pH, konduktivitas listrik, salinitas, oksigen, dan intensitas cahaya (Domingus et al., 2012). Secara umum pH dalam hidroponik merepresentasikan ketersediaan unsur dalam nutrisi, baik unsur makro maupun unsur mikro . Selain itu pH yang terlalu rendah atau tinggi sangat berbahaya pada tanaman hidroponik itu sendiri. Pengendalian pH pada tanaman hidroponik dirancang agar pH dalam nutrisi hidroponik dapat seimbang sesuai dengan rentang yang diperbolehkan pada tomat *cherry*. Dari control logika fuzzy (KLF) yang dirancang diperoleh hasil yaitu dengan melakukan pengujian pada *hardware*, dengan *error* awal pH 1.41 diperoleh performansi *time delay* (t_d) 10 detik, *rise time* 201 detik, *settling time* 468 detik , *error steady state* 0.601, RMSE 0.477, dan tidak terjadi *maximum overshoot* sehingga *peak time* 0 detik, pada semua pengujian yang dilakukan *maximum overshoot* 0 dan *peak time* 0 detik. Pada pengujian *disturbance* diperoleh hasil sistem dapat mengatasi gangguan yang diberikan berupa *error*. Pengujian terhadap *tracking setpoint* menunjukkan bahwasanya respon sistem dapat mengikuti perubahan *setpoint* yang telah di tentukan. Larutan nutrisi yang tidak ada pengendaliannya, pH larutan nutrisi cenderung menurun jika digunakan secara terus-menerus. Sedangkan dengan kontrol logika fuzzy , pH pada larutan nutrisi dapat dikontrol pada level *setpoint* yang telah ditentukan.

Kata Kunci—*Hydroponic, Dutch Bucket System, tomat cherry, Kontrol Logika Fuzzy, pH*

”Halaman ini memang dikosongkan”

**IMPLEMENTATION OF FUZZY LOGIC CONTROL (FLC) IN
ACIDITY LEVELS CONTROL (pH) HYDROPONIC DUTCH
BUCKET SYSTEM IN CHERRY TOMATO**

Student's Name : Wilujeng Fitri Alfiah
NRP : 2414 105 023
Department : *Engineering Physics* of FTI-ITS
Advisor Lecturer : Hendra Cordova, S.T.,M.T.

Abstract

Hydroponics is plant cultivation with water solution and dissolved nutrients (Roberto, 2003). Most hydroponics system does not work, due to lack of nutritional aspects in the system. Therefore, it is needed to have a good preparation in order to manage the nutrient solution. The advantages of hydroponics system are it can be applied in the areas that do not fit to conventional farming land, such as dry and damaged land. The absorption of nutrients is affected by environmental factors such as temperature, humidity, pH, electrical conductivity, salinity, oxygen, and light intensity (Domingos et al., 2012). Generally, the pH represents the availability of elements in nutrition, both of macro and micro elements. Besides the pH is too low or high, it is very dangerous on hydroponic plant itself. The control of pH in hydroponic plant is designed in order to balance the pH in hydroponic nutrient according to the range that is allowed on cherry tomatoes. Based on the designed control of fuzzy logic (KLF), the results obtained by performing tests on the hardware, the initial error pH of 1.41, time delay (td) 10 seconds, the rise time of 201 seconds, settling time 468 seconds, error steady state 0.601, RMSE 0.47, maximum overshoot 0 and peak time 0 second, in all the tests performed maximum overshoot 0 and peak time 0 second. The disturbance test system can overcome the problems given in the form of error. The tracking set point test shows that the response can follow set point changes that have been specified. Nutrient solution does not have control system, pH nutrient solution tends to decrease if it is used continuously. Meanwhile, using fuzzy logic control, the pH of the nutrient solution can be controlled at a predetermined set point level.

Keywords-Hydroponic, Dutch Bucket System, tomato cherry, Fuzzy Logic Control, pH

”Halaman ini memang dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT atas berkah dan rahmat yang diberikan, atas petunjuk, karunia, dan ridlo-Nya lah penulis mampu untuk melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul :**Implementasi Kontrol Logika Fuzzy(KLF) Dalam Pengendalian Kadar Keasaman(pH) Hydroponic Dutch Bucket System Pada Tomat Cherry**

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan bagi seorang mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama pengerjaan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T,M.Si.,Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Fisika.
2. Kedua orang tua penulis bapak Sutrisno(alm) dan Ibu Suparmi, Serta saudara Penulis Rike Susanti, Said Aji Sutrisno, dan Muhammad Arifin yang telah banyak berkorban atas kesuksesan yang telah penulis raih.Keluarga besar penulis dirumah, atas kasih sayang, do'a dan dukungan yang telah diberikan selama ini.
3. Bapak Hendra Cordova,S.T.,M.T. selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, materi ilmu, dan kesabaran selama membimbing Tugas Akhir ini.
4. Ibu Ir.Ronny Dwi Noriyati, M.Kes selaku Dosen wali penulis.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
6. Teman-teman seperjuangan Lintas Jalur dan Reguler
7. Asisten Laboratorium Pengukuran Fisis yang telah memberikan dukungan, pembelajaran, dan tempat yang nyaman selama pengerjaan tugas akhir ini.

8. Kece Family yang telah memberikan dukungan, saran, dan ilmu.
9. Teman-teman angkatan 2011 yang sangat banyak memberi dukungan moral dan semangat tiada henti selama kuliah sampai dalam mengerjakan Tugas Akhir ini, kebersamaan dan semangat kalian yang selalu penulis ingat.
10. Teman-teman S1 & S2 dari jurusan lain yang telah membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini, dan pihak-pihak yang lain yang tidak dapat disebutkan satu-satu, yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidaklah sempurna, tetapi penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan dapat menambah wawasan bagi yang nanti dapat digunakan sebagai referensi pengerjaan tugas akhir baru. Semoga awal dari permulaan yang panjang ini dapat membawa manfaat dan hikmah bagi kita semua dan juga semoga hari esok lebih baik dari hari ini. Amin.

Surabaya, Juli 2016
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	v
Abstrak	ix
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Gambar.....	xvii
Daftar Tabel	xix
Bab I.Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
Bab II.Tinjauan Pustaka	5
2.1 Sistem Hidroponik	5
2.2 Teori pH.....	8
2.3 pH Meter	14
2.4 Arduino	17
2.5 PWM.....	20
2.6 Pompa DC.....	21
2.7 Kendali Logika Fuzzy	22
2.8 Pengendalian Kestabilan	26
Bab III. Metodologi Penelitian.....	29
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2 Data.....	30
3.3 Proses	31
3.4 Analisa Data.....	41
3.5 Penyusunan Laporan	41
Bab IV. Analisa Data	43
4.1 Data HTCDBS	43
4.2 Pengujian Karakteristik Plant	46
4.3 Pengujian <i>Close Loop</i>	47
Bab V. Kesimpulan	55
Daftar Pustaka	57

Lampiran A-1
Lampiran B-1
Lampiran C-1
Lampiran D-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Hidroponik	6
Gambar 2.2 Metode <i>Dutch Bucket</i>	7
Gambar 2.3 Leca	7
Gambar 2.4 <i>Ketersediaan nNutrisi dengan Skala pH</i>	8
Gambar 2.5 Basa kuat (NaOH) dititrasi dengan Asam Kuat (HCL)	12
Gambar 2.6 Asam kuat (HCL) dititrasi dengan Basa Kuat (NaOH)	12
Gambar 2.7 Basa Lemah dititrasi dengan Asam Kuat	13
Gambar 2.8 Asam Kuat dititrasi dengan Basa Lemah	13
Gambar 2.9 Basa Kuat dititrasi dengan Asam Lemah	13
Gambar 2.10 Asam Lemah dititrasi dengan Basa Kuat	14
Gambar 2.11 Basa Lemah dititrasi dengan Asam Lemah	14
Gambar 2.12 Structure dari pH glass, b) Bagian dari electrode kaca	15
Gambar 2.13 Struktur dari Ag-AgCl elektroda referensi	16
Gambar 2.14 Analoga pH Meter Kit	17
Gambar 2.15 <i>Schematic</i> Arduino Uno	28
Gambar 2.16 <i>Board</i> Arduino Uno	29
Gambar 2.17 Modulasi Lebar Pulsa Arduino	20
Gambar 2.18 <i>PWM Duty cycle</i>	21
Gambar 2.19 Skala hubungan parameter PWM	21
Gambar 2.20 Pompa Dc 12V	22
Gambar 2.21 Proses Kendali Logika Fuzzy	23
Gambar 2.22 Fungsi keanggotaan segitiga	24
Gambar 2.23 Fungsi Keanggotaan Trapesium	24
Gambar 2.24 Fungsi Keanggotaan Gaussian	25
Gambar 2.25 Arsitektur Logika Fuzzy Mamdani	26
Gambar 2.26 Respon Transien	26
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Pelaksanaan Tugas Akhir	29
Gambar 3.2 Skema <i>dutch bucket hydroponic system</i> tomat <i>cherry</i> dengan pengendalian pH	30
Gambar 3.3 Konstruksi dan Elektrik HTCDDBS	32
Gambar 3.4 Karakteristik pH meter	33

Gambar 3.5	Karakteristik aliran dari pompa	35
Gambar 3.6	Penambahan ml KOH terhadap pH nutrisi	36
Gambar 3.7	Diagram blok kendali fuzzy	37
Gambar 3.8	FIS pada pengendalian pH	37
Gambar 3.9	Fungsi keanggotaan masukan	38
Gambar 3.10	Fungsi keanggotaan keluaran	40
Gambar 4.1	Nilai pH pada HTCDBS	43
Gambar 4.2	Grafik hubungan pH terhadap Tegangan sensor	44
Gambar 4.3	Grafik pembacaan sensor pada pH solusi 5	45
Gambar 4.4	Grafik pembacaan sensor pada pH solusi 7	46
Gambar 4.5	Grafik pembacaan sensor pada pH solusi 11	46
Gambar 4.6	Plot respon karakteristik plant	47
Gambar 4.7	Respon pH pada <i>close loop</i> dengan <i>setpoint</i> pH=6.25 dan error pH awal 1.41	48
Gambar 4.8	Respon pH pada <i>close loop</i> dengan <i>setpoint</i> pH=6.25 dan error awal 0.37	49
Gambar 4.9	Respon pH pada <i>close loop</i> dengan <i>setpoint</i> pH=6.25 dan error awal 0.14	50
Gambar 4.10	Respon pH pada pengujian tracking setpoint pH 5.5 , pH 6, pH 6.25 dan pH 6.5	51
Gambar 4.11	Respon uji <i>disturbance</i>	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan ion hidrogen dan ion hidroksida terhadap pH	9
Tabel 2.2 Respon Tanaman terhadap variasi nilai pH	10
Tabel 2.3 Nilai pH dan EC beberapa tumbuhan	10
Tabel 2.4 Nernst slope terhadap suhu untuk elektroda ideal	16
Tabel 3.1 <i>Variabel Error</i>	39
Tabel 3.2 <i>Variabel delta error</i>	39
Tabel 3.3 <i>Variabel Keluaran</i>	40
Tabel 3.4 <i>Rule Base</i>	40
Tabel 4.1 Data kalibrasi Alat Ukur	44
Tabel 4.2 Indeks Performansi dengan <i>error</i> pH awal sistem 1.41	48
Tabel 4.3 Indeks Performansi dengan <i>error</i> pH awal sistem 0.37	49
Tabel 4.4 Indeks Performansi dengan <i>error</i> pH awal sistem 0.14	51
Tabel 4.5 Indeks Performansi dengan <i>error</i> pH awal sistem 1.16 pengujian <i>disturbance</i>	53

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketahanan pangan merupakan hal yang sangat penting, mengingat pangan merupakan kebutuhan pokok manusia. Pada KTT Pangan Sedunia tahun 1996 di Roma, para pemimpin negara dan pemerintah telah mengikrarkan kemauan politik dan komitmennya untuk mencapai ketahanan pangan dan melanjutkan upaya penghapusan kelaparan di semua negara anggota separuhnya, dari 800 juta jiwa pada 1996 menjadi 400 juta jiwa pada tahun 2015. Pembangunan ketahanan pangan di Indonesia ditegaskan dalam Peraturan Menteri Pertanian RI No 14/Permentan/OT.140/3/2012 tentang Program Peningkatan Diversifikasi dan Ketahanan Pangan Masyarakat Badan Ketahanan Pangan Tahun Anggaran 2013. Diversifikasi pangan menjadi salah satu pilar utama dalam mewujudkan ketahanan pangan (Ariani, 2015). Salah satu upaya dalam mewujudkan ketahanan pangan yaitu dengan penenrapan sistem hidroponik. Hidroponik adalah budidaya tanaman dengan larutan air dan nutrisi terlarut (Roberto, 2003). kebanyakan sistem hidroponik tidak akan berhasil, yang diakibatkan oleh kurangnya aspek gizi dalam sistem sehingga diperlukan persiapan yang memadai untuk memenejemen larutan nutrisi. Beberapa keunggulan dari sistem hidroponik adalah dapat diterapkan pada daerah yang tidak cocok dengan pertanian konvensional, seperti daerah kering dan tanah yang rusak. Bertanam secara hidroponik tidak tergantung pada kondisi cuaca seperti musim panas, angin, es, dan lainnya, sehingga bertanam secara hidroponik dapat dilakukan sepanjang tahun. Kelebihan yang lainnya yaitu dalam bertanam secara hidroponik juga mengurangi beberapa aktivitas yang ada pada bertanam secara konvensional seperti penyiangan, dan persiapan tanah, penghematan optimal pada penggunaan air dan nutrisi yang sangat bermanfaat pada lingkungan (Domingues, Takahashi, Camara, & Nixdorf, 2012). Sistem hidroponik tidak hanya bermanfaat untuk produk-produk pertanian, tetapi juga dapat

dimanfaatkan untuk memperbaiki lingkungan , khususnya limbah-limbah yang mengandung kandungan phosphor dan nitrogen, dengan pengolahan limbah yang bertujuan untuk memperbaiki BOD dan COD pada produksi budidaya bunga mawar dengan sistem NFT(Monnet et al., 2002)Salah satu metode hidroponik yaitu dengan *dutch bucket*, *dutch bucket* merupakan sistem budidaya hidroponik dimana nutrisi diberikan dalam bentuk tetesan yang menetes pada media tanaman secara terus menerus dan kelebihan dari nutrisi akan dialirkan melalui pipa pembuangan dan dikembalikan pada bak penampung nutrisi untuk digunakan kembali(Roberto, 2003).

Prinsip dasar dalam pertanian hidroponik atau konvensional adalah pada ketersediaan semua kebutuhan nutrisi dari tanaman itu sendiri yang terdiri dari unsur kimia yang penting untuk pertumbuhan dan produksi tanaman. Penyerapan nutrisi pada hidroponik dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan udara, pH, konduktivitas listrik, salinitas, oksigen, dan intensitas cahaya(Domingues et al., 2012). Nutrisi yang seimbang sangat berpengaruh dalam menentukan kualitas produk dari hidroponik ataupun konvensional.

Pada tahun 1984 Nielsen mengusulkan Kontrol nutrisi dalam larutan nutrisi menggunakan sistem otomatis, dengan kontrol untuk penyesuaian level air , konsentrasi nutrisi, dan pH. Penggunaan kontrol otomatis memberikan peluang untuk memaksimalkan kualitas dan kuantitas melalui pengelolaan yang baik dari semua proses(Domingues et al., 2012). Metode penanaman dengan cara *dutch bucket* hidroponik, ketersediaan *nutrient* sebagai sumber nutrisi bagi tanaman untuk pertumbuhan dan pembentukan organ-organ tanaman memegang peranan penting agar tanaman dapat tumbuh dengan baik dan menghasilkan produk yang bermutu sesuai harapan. Secara umum, tanaman dapat menyerap elemen nutrisi pada tingkat pH netral(Suharyanto, Seminar, Chadirin, & Setiawan, 2010). Apabila akar tanaman terkena pH rendah(contohnya, pH 2-3) untuk beberapa detik, dapat menghasilkan kerusakan secara langsung pada akar(Spinu, Langhans, & Albright, 1998).

Penyerapan nutrisi oleh akar salah satunya ditentukan oleh pH lingkungan akar, sehingga diperlukan kontrol pH pada larutan nutrisi. Beberapa penelitian yang telah dilakukan yaitu pada tahun 2001 dilakukan penelitian dengan judul “*Development of a pH Control System for Nutrient Solution In Ebb And Flow Hydroponic Culture Based on Fuzzy Logic*” pada penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang tidak dikontrol pH nya, pH akan meningkat jika digunakan secara terus menerus, sedangkan pada sistem yang dikontrol pH akan dipertahankan pada *setpoint* yang telah ditentukan.. Pada 2003 dilakukan pengembangan sistem kontrol PID dengan penalaan berbasis logika fuzzy untuk pengontrolan pH dan EC pada hidroponik NFT Lettuce pada penelitian ini di lakukan pengontrolan pH 6.0-6.5 dan EC 1.2-2, sistem sudah menghasilkan pH dan EC yang diinginkann dan tumbuhan dengan pengontrolan lebih baik dari pada tanpa kontrol. Pada tahun 2012 dilakukan penelitian dengan judul “*Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production*” pada penelitian ini sistem yang dirancang menunjukkan hasil yang efisien dalam monitoring dan perbaikan pH dan EC dari hidroponik selada, hasil diperoleh dengan membandingkan karakteristik *argonomi* pada dua tanaman yang menggunakan sistem hidroponik kontrol otomatis dengan konvensional yang ditanam ditanah.

Sehingga dalam upaya pengembangan penelitian-penelitian sebelumnya dibidang pengendalian pH secara otomatis, yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya adalah pada tanaman sayur, sehingga akan dilakukan penelitian pengendalian pH pada tanaman buah yaitu dengan judul implementasi fuzzy dalam pengendalian kadar keasaman(pH) pada tomat *cherry* sistem *dutch bucket* hidroponik. Tomat *cherry* memiliki rentang pH 5.5-6.5 yang disebutkan pada penelitian Areeworn Putthisathian pada rentang pH tersebut mempengaruhi ketersediaan dan penyerapan nutrisi oleh akar tanaman tomat *cherry*.

1.2 Permasalahan

Dari latar belakang diatas maka permasalahan yang dapat diambil pada tugas aakhir ini adalah sebagai berikut.

- Bagaimana medesain pengendalian pH dengan kontrol logika *fuzzy* pada tomat cherry sistem *dutch bucket* hidroponik ?
- Bagaimana melakukan pengujian performansi Kontrol logika *fuzzy* di *Hydroponic Dutch Bucket System* Pada Tomat *Cherry*?

1.3 Tujuan

Tujuan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- Untuk memperoleh parameter dari kontrol *Fuzzy* yang akan diterapkan pada sistem *dutch bucket* hidroponik.
- Untuk mengetahui performansi kontrol logika fuzzy terhadap sistem *Hydroponic Dutch Bucket System*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian tugas akhir ini maka batasan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut,

- Sistem hidroponik yang digunakan adalah *Hydroponic Dutch Bucket System*
- Pengendalian pH dan EC dilakukan pada satu plant namun secara terpisah (tidak bersamaan dalam satu waktu dalam mengendalikan)
- Untuk pengaduk dilakukan secara ON/OFF
- Pompa Sirkulasi ke tanaman dilakukan secara ON/OFF
- Tanaman yang digunakan pada penelitian adalah tomat *cherry*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Hidroponik

Kata “*Hydroponic*” yang di kemukakan oleh Dr.W.F Gericke pada tahun 1936 yang digunakan untuk menggambarkan budidaya baik tanaman pangan ataupun hias dalam larutan air dan nutrisi terlarut. *hydroponic* berasal dari Yunani “*Hydro*” yang berarti air dan “*Ponos*” yang berarti tenaga kerja.(Roberto, 2003) Bertanam secara hidroponik kemudian dikenal dengan bertanam tanpa medium tanah (*soilless cultivation, soilless culture*). Pada awalnya bertanam secara hidroponik menggunakan wadah yang hanya berisi air yang telah dicampur dengan pupuk, baik pupuk mikro maupun pupuk makro. Pada perkembangannya, bertanam hidroponik meliputi berbagai cara yaitu bertanam tanpa medium tanah, tidak hanya menggunakan wadah yang hanya diisi air berpupuk saja. Medium pasir, *perlite*, *zeolit*, *rockwool*, sabut kelapa, adalah beberapa bahan yang digunakan oleh para praktisi di dunia dalam bertanam secara hidroponik. Ada dua macam sistem hidroponik, yaitu

- Hidroponik dengan mempergunakan media non tanah seperti; pasir, arang sekam, *zeolit*, *rockwool*, gambut, sabut kelapa dll.
- Hidroponik dengan hanya mempergunakan air yang mengandung nutrisi atau pupuk yang bersirkulasi sebagai media, akar tanaman terendam sebahagian dalam air tersebut sedalam lebih kurang 3 mm (mirip film), sistem ini disebut dengan *NFT (Nutrient Film Technique)*(Cordova, Purwani, & Nurhidayati, 2009)



Gambar 2.1 Sistem Hidroponik.(Roberto, 2003)

2.1.1 Dutch Bucket System (DBS)

Nama metode *dutch bucket* pertama kali di kenalkan di belanda dan sekarang secara ekstensif digunakan untuk pertanian komersial untuk mawar, tomat, dan timun. *Dutch bucket* merupakan sistem budidaya hidroponik dimana nutrisi diberikan dalam bentuk tetesan yang menetes pada media tanaman secara terus menerus dan kelebihan dari nutrisi akan dialirkan melalui pipa pembuangan dan dikembalikan pada bak penampung nutrisi untuk digunakan kembali. Mediatanam yang digunakan dalam *dutch bucket* seperti serabut kelapa, *perlite*, batu leca, kerikil, dan juga pasir. Banyak tomat yang di kembangkan dengan menggunakan sistem ini, dikarenakan sistem ini membutuhkan perawatan yang relatif kecil dan umumnya dapat memberikan hasil yang sangat bagus. Pada sistem ini barisan dari tanaman tomat didukung dengan tali yang disebut dengan *air-layering*(Roberto, 2003).



Gambar 2.2 Metode *Dutch Bucket* untuk tanaman yang besar dan hidupnya lama seperti tomat, timun dan mawar (Roberto 2003).

2.1.2 *Light Expanded Clay Aggregate*(LECA)

Leca atau hidroton merupakan media tanam hidroponik yang terbuat dari bahan dasar plastik yang dikombinasikan dengan tanah liat yang dipanaskan pada suhu 1100°C , berbentuk bulatan-bulatan dengan ukuran 6.4 ± 0.8 mm. dalam bulatan-bulatan ini terdapat pori-pori yang dapat menyerap nutrisi sehingga dapat menjaga ketersediaan nutrisi, dengan *water absorbance* 14 % (Nuevaespana & Matias, 2014). Dengan bentuknya yang bula maka leca dapat mengurangi resiko merusak akar tanaman, dan ruang antar bulatan-bulatan sangat baik untuk ketersediaan oksigen bagi akar.

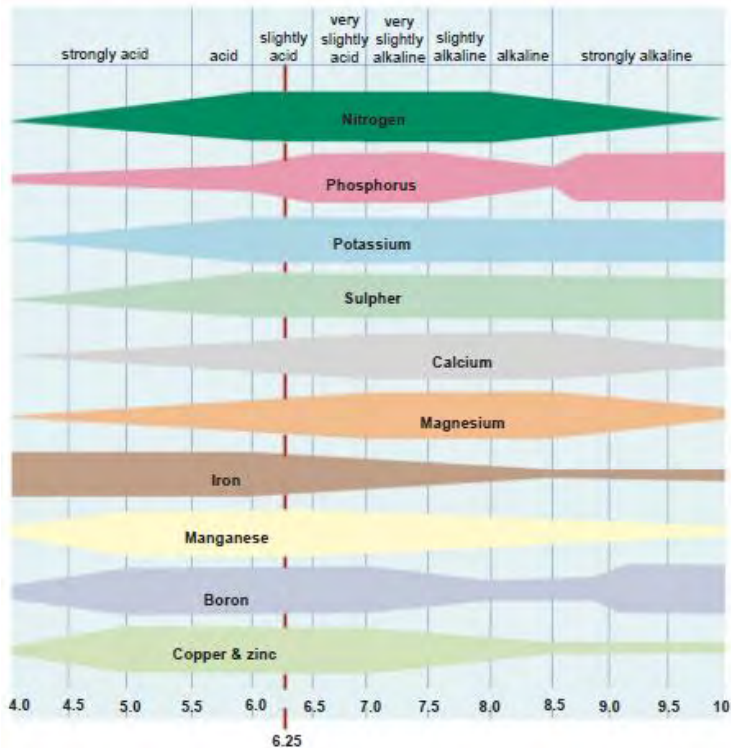
LECA



Gambar 2.3 Leca (Nuevaespana & Matias, 2014)

2.2 Teori PH

Untuk mendapatkan pertumbuhan yang optimal sistem hidroponik harus memperhatikan beberapa hal seperti kondisi level, pH, suhu, kelembaban dan kekentalan nutrisi yang digunakan dalam sistem. sedangkan untuk pH nilainya harus konsisten sesuai kebutuhan tanaman dari waktu ke waktu. Larutan nutrisi pada sistem hidroponik apabila digunakan secara terus menerus maka pH nya akan meningkat. PH yang sangat tinggi akan menurunkan ketersediaan Besi , Mangan , Boron , Tembaga , seng dan fosfor . Sedangkan pH yang terlalu rendah akan mengurangi ketersediaan Kalium , Sulphur , Kalsium , Magnesium dan fosfor(Roberto, 2003).



Gambar 2.4 Ketersediaan nutrisi dengan skala pH.(Ministry of Agriculture, 1994)

Dalam pengukuran ion terdapat hubungan logaritmik antara tegangan dan aktivitas ion. Partikel yang akan diamati adalah ion H dengan hubungan matematika untuk menerangkan notasi p untuk power dalam pH.

$$pH = -\log a_{H^+} \quad (2.1)$$

$$a_{H^+} = 10^{-pH} \quad (2.2)$$

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log[H^+] \quad (2.3)$$

Dengan a_{H^+} adalah ion hidrogen atau $[H^+] = 10^{-pH}$. Dengan demikian makin kecil nilai pH maka keasaman semakin besar dan kebasaan semakin kecil, serta sebaliknya makin besar nilai pH maka keasaman akan semakin kecil dan kebasaan semakin besar. Untuk larutan asam memiliki $pH < 7$ dan larutan basa memiliki $pH > 7$. Eksponen ion hidroksil dinyatakan sebagai berikut :

$$pOH = -\log[OH^-] = \log \frac{1}{[OH^-]} \quad (2.4)$$



$$[OH^-] = 10^{-pOH} \quad (2.5)$$

Maka untuk semua larutan air berlaku korelasi :

$$pH + pOH = 14 \quad (2.6)$$

Berikut ini merupakan hubungan ion hidrogen dan ion hidroksida terhadap pH :

Tabel 2.1 Hubungan ion hidrogen dan ion hidroksida terhadap pH (Cordova et al., 2009).

$[H^-]$	$[OH^-]$	pH	pOH	Keterangan
1	10^{-14}	0	14	Asam Kuat
10^{-1}	10^{-13}	1	13	
10^{-3}	10^{-11}	3	11	
10^{-5}	10^{-9}	5	9	Asam Lemah
10^{-7}	10^{-7}	7	7	Netral
10^{-9}	10^{-5}	9	5	Basa Lemah
10^{-11}	10^{-3}	11	3	
10^{-13}	10^{-1}	13	1	
10^{-14}	1	14	0	Basa Kuat

Tabel 2.2 Respon Tanaman terhadap variasi nilai pH((Melvix & Sridevi, 2014)

Rentang pH	Respon Tanaman
pH<3	Akar membrane akan rusak
3<pH<5	Akar akan terinfeksi oleh penyakit jamur
5.2<pH<5.5	Kelarutan asam fosfat, kalsium, dan magnesium akan turun
5.5<pH<6.5	Rentang optimal
6.5<pH<7.5	Asupan gizi berkurang
pH>7.5	Ketersediaan zat besi, mangan, tembaga seng, dan boron berkurang

Tabel 2.3 Nilai pH dan EC beberapa tumbuhan(Phutthisathian, Pantasen, & Maneerat, 2011).

Plant	pH	EC
Cauliflower	6.0-6.5	2.5-3.0
Cabbage	6.6-7.0	2.5-3.0
Broccoli	6.0-6.5	1.8-2.4
Carrot	5.8-6.3	1.8-2.2
Kana	6.0-6.4	1.5-3.5
Cucumber	5.5-6.0	1-2.5
Lettuce	6.0-6.5	0.8-1.2
Tomato	5.5-6.5	2.0-5.0
Rose	5.0-6.0	1.8-2.2
Strawberry	6.0-6.5	1.4-2.0
Apple	6.8-7.2	2.2-3.0

- **Larutan Penyangga (Buffer atau Dapar)**

Larutan penyangga yaitu larutan yang bersifat dapat mempertahankan pH-nya, jika ditambahkan sedikit asam ataupun

sedikit basa. Larutan penyangga merupakan larutan yang terbentuk dari campuran asam lemah dengan garamnya atau basa lemah dengan garamnya .

- **Larutan Penyangga Asam**

Larutan penyangga asam merupakan larutan penyangga yang dapat mempertahankan $\text{pH} < 7$, yang tersusun atas campuran :

1. Asam lemah dan garamnya
Contoh : CH_3COOH dengan CH_3COONa
2. Asam lemah dan basa konjugasinya
Contoh : CH_3COOH dengan CH_3COO^-

Larutan penyangga asam dapat dibuat dengan cara mereaksikan asam lemah dengan basa kuat. Reaksi tersebut akan menghasilkan basa konjugasi , menghabiskan basa kuat dan menyisakan asam lemah.

Cara larutan penyangga Asam menjaga pH:

- Pada penambahan asam (penambahan H^+), kesetimbangan bergeser ke kiri, asam bereaksi dengan basa membentuk asam lemah.
- Pada penambahan basa (penambahan OH^-), kesetimbangan bergeser ke kanan, basa akan bereaksi dengan asam membentuk air.

- **Larutan Penyangga Basa**

Larutan penyangga basa merupakan larutan penyangga yang dapat mempertahankan $\text{pH} > 7$, yang tersusun atas campuran :

1. Basa Lemah dan garamnya
Contoh : NH_3 dengan NH_4Cl
2. Basa lemah dan asam konjugasinya
Contoh : NH_3 dengan NH_4^+

Larutan penyangga basa dapat dibuat dengan cara mereaksikan asam kuat dengan basa lemah. Reaksi tersebut akan menghasilkan garam atau asam konjugasi, menghabiskan asam kuat dan menyisakan basa lemah.

Cara larutan penyangga Basa menjaga pH:

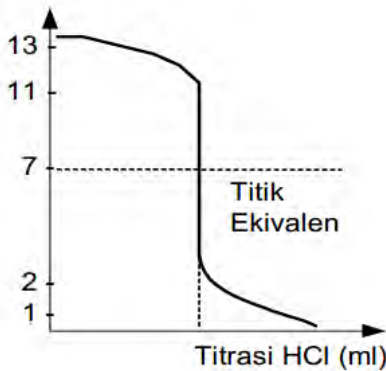
- Pada penambahan asam (penambahan H^+), kesetimbangan bergeser ke kanan, asam bereaksi dengan basa membentuk asam lemah.

- Pada penambahan basa (penambahan OH^-), kesetimbangan bergeser ke kiri, basa akan bereaksi dengan asam membentuk air.

Berikut ini beberapa grafik titrasi dari larutan

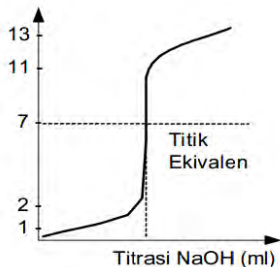
A. Asam Kuat vs Basa Kuat

- Basa Kuat dititrasi dengan Asam Kuat



Gambar 2.5 Basa kuat (NaOH) dititrasi dengan Asam Kuat (HCL)(Cordova et al., 2009)

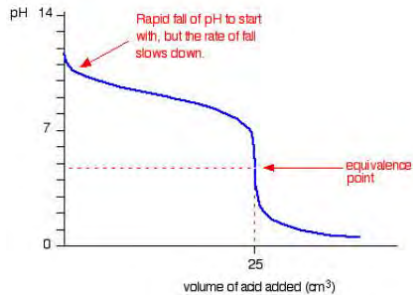
- Asam Kuat dititrasi dengan Basa Kuat



Gambar 2.6 Asam kuat (HCL) dititrasi dengan Basa Kuat (NaOH)(Cordova et al., 2009)

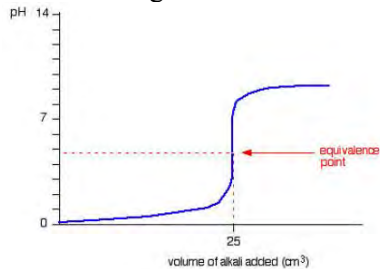
B. Asam Kuat vs Basa Lemah

- Basa lemah dititrasi dengan Asam Kuat



Gambar 2.7 Basa Lemah dititrasi dengan Asam Kuat(Sulistyani, 2015)

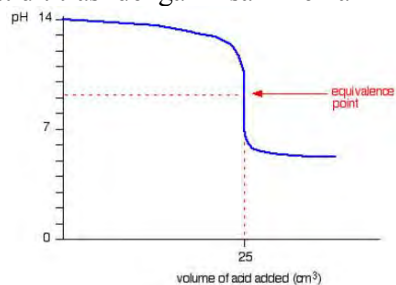
- Asam Kuat dititrasi dengan Basa Lemah



Gambar 2.8 Asam Kuat dititrasi dengan Basa Lemah(Sulistyani, 2015)

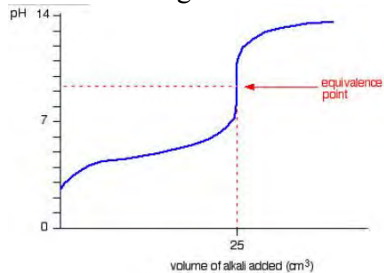
C. Asam Lemah vs Basa Kuat

- Basa Kuat dititrasi dengan Asam Lemah



Gambar 2.9 Basa Kuat dititrasi dengan Asam Lemah(Sulistyani, 2015)

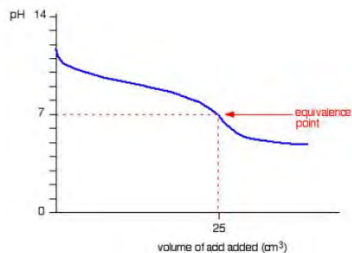
- Asam Lemah dititrasi dengan Basa Kuat



Gambar 2.10 Asam Lemah dititrasi dengan Basa Kuat
(Sulistiyani, 2015)

D. Basa Lemah vs Asam Lemah

- Basa Lemah dititrasi dengan Asam Lemah

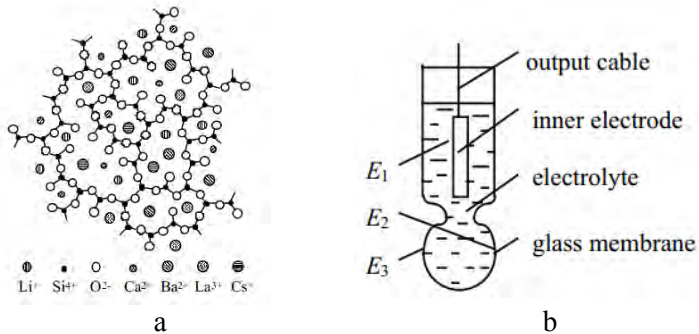


Gambar 2.11 Basa Lemah dititrasi dengan Asam Lemah
(Sulistiyani, 2015)

2.3 pH Meter

pH meter merupakan sebuah alat elektronik yang digunakan untuk pengukuran pH dari suatu cairan. pH meter biasanya terdiri dari probe khusus (glass electrode) yang terhubung dengan dengan meteran elektronik yang dapat mengukur dan menampilkan hasil pembacaan dari pengukuran.

Elektroda kaca terdiri dari *tube glass* yang di isi dengan larutan *buffer* yang mengandung Cl^- , yang biasanya nilai pH nya 7 (Ylén, 2001). Berikut ini merupakan bagian bagian pada electrode kaca:



Gambar 2.12 a) Structure dari pH glass, b) Bagian dari electrode kaca(Ylén, 2001)

Dimana E_1 antara elektroda dalam dan elektrolit

:

E_2 antara permukaan dalam electrode kaca dan elektrolit

E_3 antara permukaan luar kaca dan cairan yang akan

Diukur

E_0 nilainya konstan pada suhu tertentu

E_1 perbedaan potensial konstan.

$$E_3 = E_0 - \left(\frac{RT \ln 10}{F} \right) pH_{Inner} \quad (2.7)$$

$$E_3 = E_0 - \left(\frac{RT \ln 10}{F} \right) pH_{Outer} \quad (2.8)$$

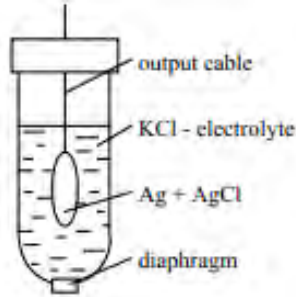
$$E_{M0} = E_1 + \left(\frac{RT \ln 10}{F} \right) pH_{Inner} \quad (2.9)$$

$$E_M = E_1 - E_2 + E_3 \quad (2.10)$$

$$E_M = E_{M0} - \left(\frac{RT \ln 10}{F} \right) pH_{Outer} \quad (2.11)$$

Elektroda referensi merupakan elektroda yang mempunyai potensial elektrokimia konstan sepanjang tidak ada arus yang mengalir. Electroda referensi akan menghasilkan potensial referensi, yang akan digunakan sebagai pembanding dengan

potensial elektroda kaca. Elektroda pembanding contohnya adalah Ag-AgCl elektroda.



Gambar 2.13 Struktur dari Ag-AgCl elektroda referensi (Ylén, 2001)

Pengaruh suhu terhadap *Electrode Slope*

Respon elektroda pH ideal didefinisikan oleh persamaan Nernst :

$$E = E^0 - 2.3 \left(\frac{RT}{nF} \right) \log a_{H^+} \quad (2.12)$$

Dimana :

E = Potensial total (dalam mV) antara pengukuran dengan elektroda pembanding

E^0 = Potensial Standar dari elektroda pada $a_{H^+} = 1 \text{ mol/l}$

R = Konstanta Gas

T = Temperature

n = ion valensi

F = konstanta Faraday

a_{H^+} = Aktifitas ion hydrogen didalam larutan

Berikut ini merupakan variasi Nernst slope terhadap suhu untuk elektroda ideal :

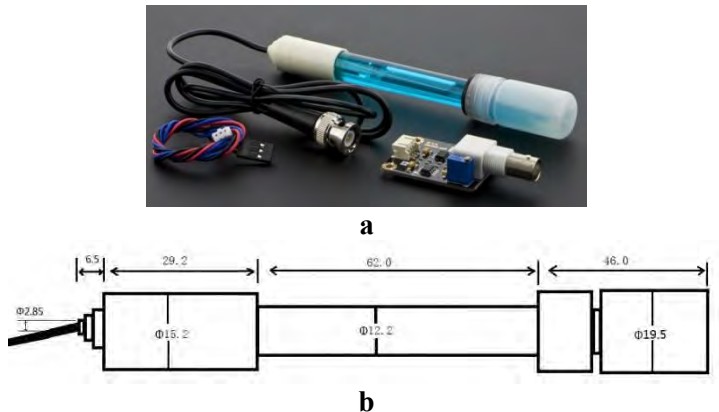
Tabel 2.4 Nernst slope terhadap suhu untuk elektroda ideal (Ashton & Geary, 2005)

Suhu $^{\circ}\text{C}$	Nernst Slope (mV/pH)
0	54.20
10	56.18
20	58.17
25	59.16
30	60.15
40	62.14

Tabel 2.4 Lanjutan

Suhu $^{\circ}\text{C}$	Nernst Slope (mV/pH)
50	64.12
60	66.10
70	68.09
80	70.07
90	72.06

Pada penelitian ini pH meter menggunakan Analog pH meter yang dihubungkan dengan mikrokontroller, berikut merupakan Analog pH meter:



Gambar 2.14 a)Analaog pH Meter Kit, b) dimensi Probe (dfrobot.com)

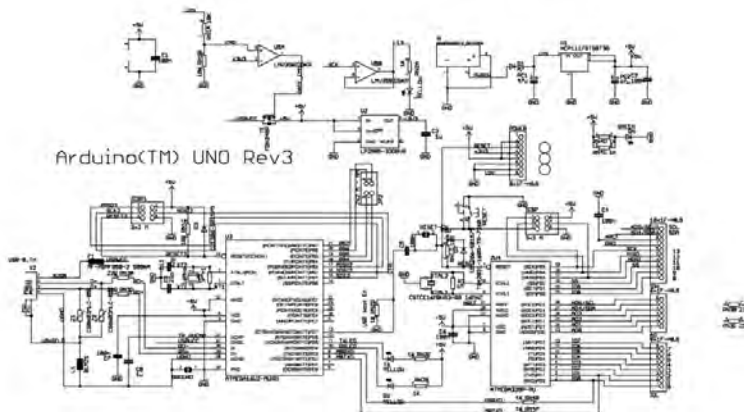
2.4 Arduino

Arduino merupakan platform elektronik atau papan rangkaian elektronik yang bersifat *open sourced* didalamnya terdapat komponen utama berupa chip mikrokontroller berbasis *ATMega*. Chip mikrokontroller didalam Arduino tergantung dengan jenis jenis arduino yang digunakan. Misal Arduino Mega 2560 didalamnya terdapat chip mikrokontroller berbasis *ATMega 2560*. Mikrokontroller tersebut berupa suatu chip atau *integrated circuit* (IC) yang dapat diprogram dengan menggunakan komputer (Windarto,dkk 2012) . Selain itu arduino merupakan gabungan dari *hardware*, bahasa pemrograman, dan *integrated*

development environment (IDE) yang sudah canggih. IDE disini merupakan sebuah *software* yang berperan dalam menulis program, meng-*compile* menjadi suatu kode biner dan kemudian mengupload ke dalam memori mikrokontroller. Program yang dibuat dan di upload ke dalam arduino bertujuan agar suatu rangkaian elektronik dapat membaca input, kemudian memberikan input untuk diproses ATmega, dan selanjutnya menghasilkan suatu output yang diinginkan. *Output* dari rangkaian elektronika tersebut bisa berupa tegangan, sinyal, *vibration*, gerakan, keterangan, dan lain sebagainya. Pada sisi *software* arduino dapat digunakan di multiplatform seperti *linux*, *windows*, dan *mac*.

- **Analog Input/Output pada arduino**

Arduino mempunyai tegangan *output* 0 volt dan 5 volt. Sehingga suatu rangkaian elektronika yang dihubungkan dengan arduino akan memperoleh input dari arduino hanya di 0 volt atau 5 volt. Input yang diberikan arduino dikenal sebagai digital input dengan logika 1 (*HIGH*) atau 5 volt dan 0 (*LOW*) atau 0 volt (Windarto, dkk 2012).



Gambar 2.15 Schematic Arduino Uno (Arduino.cc)



Gambar 2.16 Board Arduino Uno (Arduino.cc)

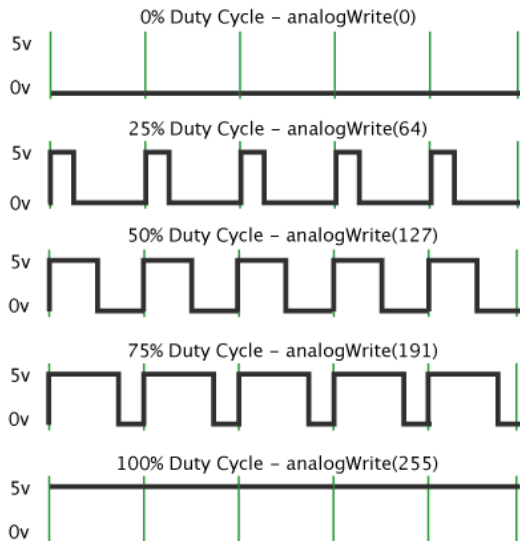
Berikut merupakan datasheet arduino mega 2560 diatas :

- Mikrokontroler : ATmega 328P
- Tegangan Operasi : 5v
- Input Voltage(rekomendasi) :7-12v
- Input Voltage (limits) :6-20v
- Pin Digital I/O : 14 (6 PWM output)
- Pin Digital PWM I/O : 6
- Pin Input Analog : 6
- Arus DC per I/O pin : 20mA
- Arus DC for 3.3v Pin :50mA
- Memori Flash : 32 KB
- SRAM : 2KB
- EEPROM : 1KB
- Kecepatan Cklock : 16MHz
- Panjang : 68.6 mm
- Lebar : 53.4 mm
- Berat : 25 g

2.5 PWM (Pulse Width Modulation)

Modulasi Lebar Pulsa (PWM) merupakan metode untuk memanipulasi lebar pulsa sinyal digital dalam satu periode. Pada dasarnya prinsip dari PWM yaitu membandingkan antara sumber sinyal yang membawa (sinyal segitiga) dengan sinyal referensi (sinyal modulasi). Sinyal referensi tersebut dapat diubah-ubah nilainya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sinyal PWM merupakan sinyal digital yang memiliki amplitude tetap namun lebar pulsa pada setiap periodenya bisa berubah-ubah. Disini sinyal referensinya dapat diubah-ubah dengan menggunakan *duty cycle* pada sinyal PWM tersebut (Ramadha, 2012).

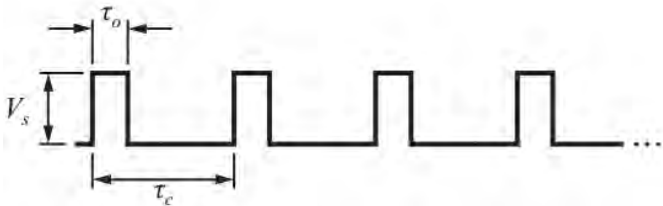
Pada arduino penentuan *duty cycle* dapat dituliskan dengan fungsi `analogWrite()` dengan skala 0-255. Misalkan dituliskan `analogWrite(255)` maka akan meminta 100% *duty cycle*, sedangkan untuk `analogWrite(127)` yaitu 50 % *duty cycle*.



Gambar 2.17 Modulasi Lebar Pulsa Arduino(Arduino.cc)

$$V_{eff} = V_s \frac{\tau_o}{\tau_c} \quad (2.13)$$

$\frac{\tau_o}{\tau_c}$ adalah *duty cycle of square wave pulse*

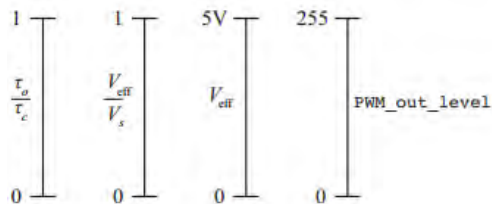


Gambar 2.18 PWM Duty cycle(Recktenwald, 2011)

Tegangan keluaran digital dari arduino uno adalah 0 V atau 5 V, dengan demikian pada persamaan 2.14 $V_s = 5$ V.

$$PWM\ Output = 255 \times \frac{T_o}{T_c} = 255 \times \frac{V_{eff}}{V_s} \quad (2.14)$$

$$PWM\ Output = \frac{255}{5} \times V_{eff} \quad (2.15)$$

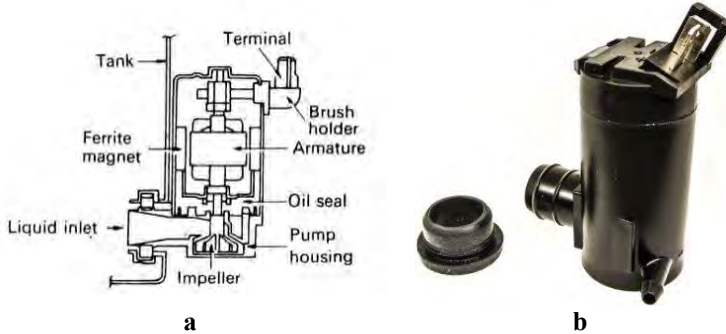


Gambar 2.19 Skala hubungan parameter PWM, tingkat keluaran PWM 8bit yang digunakan untuk parameter kedua fungsi *analogWrite* (Recktenwald, 2011)

2.6 Pompa DC

Pompa merupakan mesin fluida yang dapat memindahkan fluida cair dari suatu tempat ke tempat lain dengan memberikan energy mekanik pada pompa yang kemudian akan diubah menjadi energi gerak fluida. Fluida cair tersebut contohnya adalah oli atau pelumas, air, dan fluida lain yang tidak mampu mampat. Dalam industri-industri banyak yang menggunakan pompa sebagai salah satu peralatan bantu. Salah satu contohnya yaitu pompa washer(motor washer), pompa washer terdiri dari motor washer yang digunakan untuk menggerakkan pompa mengeluarkan fluida cair dari tangki. Beberapa tipe pomp yaitu tipe gigi(*gear type*),

tipe *squeeze* dan tipe sentrifugal. Pompa tipe sentrifugal biasanya diletakkan dibawah tanki fluida dikarenakan tidak mampu menghisap cairan ke atas tanki.



Gambar 2.20 Pompa Dc 12V(Setyono, 2011)

2.7 Kendali Logika Fuzzy (KLF)

Kendali Logika Fuzzy adalah metodologi kontrol yang digunakan oleh manusia untuk mendeskripsikan sistem fisik dan mendefinisikan strategi kontrol yang dipakai didalamnya.

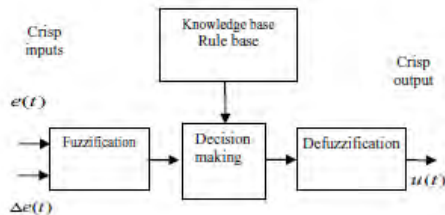
Logika *Fuzzy* merupakan salah satu komponen pembentuk *soft computing*. Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Prof.Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Dasar logika *fuzzy* adalah teori himpunan *fuzzy*. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan merupakan ciri utama dari penalaran logika *fuzzy*(Kusumadewi,2010).

Beberapa Alasan penggunaan logika *fuzzy* adalah sebagai berikut:

1. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti, karena logika *fuzzy* menggunakan dasar teori himpunan, maka konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* tersebut cukup mudah untuk dimengerti.
2. Logika *fuzzy* sangat fleksibel, artinya mampu beradaptasi dengan perubahan-perubahan dan ketidakpastian yang menyertai permasalahan.
3. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks

4. Logika *fuzzy* mampu membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
5. Logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa alami. Logika *fuzzy* menggunakan bahasa sehari-hari sehingga mudah dimengerti(Cox,1994).

Logika fuzzy digunakan untuk menentukan keputusan yang berbasis sebab dan akibat (*if-then*). Beberapa bagian-bagian yang penting dari logika fuzzy adalah fuzzifikasi, *rule base*, *fuzzy inference system*, dan defuzzifikasi. Struktur lohika fuzzy sendiri secara umum dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.21 Proses Kendali Logika Fuzzy(Gheibi, Mohammadi, & Maghfoori, 2011)

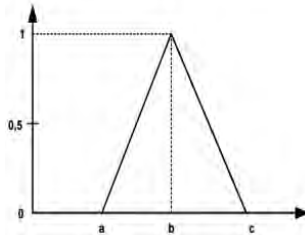
a) Fuzzifikasi

Digunakan untuk memetakan dan mengubah atau mengkonversi masukan yang bersifat *crisp* menjadi suatu bilangan fuzzy. Bagian pada fuzzifikasi yang digunakan untuk memetakan adalah fungsi keanggotaan(*membership function*). Fungsi keanggotaan merupakan suatu range nilai yang dapat mempresentasikan bentuk masukan atau keluaran sistem. Fungsi keanggotaan fuzzy ini digunakan untuk memetakan masukan ke derajat keanggotaan fuzzy. Berikut ini beberapa bentuk dari fungsi keanggotaan diantaranya :

- **Fungsi Segitiga**

Fungsi segitiga merupakan fungsi keanggotaan yang berbentuk segitiga dan terdiri dari tiga parameter yaitu a,b, dan c, dengan persamaan sebagai berikut :

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases} \quad (2.16)$$

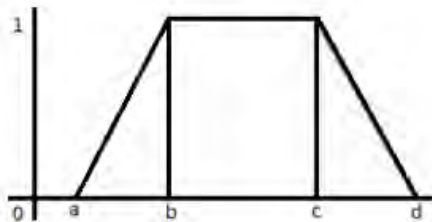


Gambar 2.22 Fungsi keanggotaan segitiga(Saelan, 2009)

- **Fungsi Trapezium**

Fungsi trapezium merupakan fungsi keanggotaan yang terdiri dari 4 parameter yaitu a,b,c,dan d, dengan persamaan sebagai berikut :

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (2.17)$$

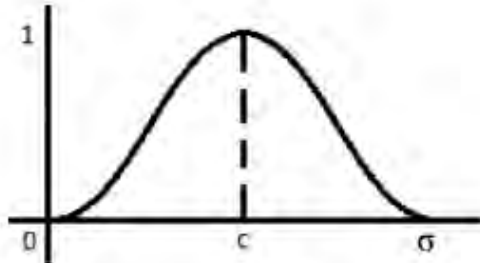


Gambar 2.23 Fungsi Keanggotaan Trapezium(Saelan, 2009)

- **Fungsi Gaussian**

Fungsi gaussian merupakan fungsi yang terdiri dari dua parameter yaitu σ dan c , dengan persamaan sebagai berikut :

$$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.18)$$



Gambar 2.24 Fungsi Keanggotaan Gaussian(Saelan, 2009)

b) Rule Base

Digunakan sebagai aturan dasar pada proses kendali yang mendefinisikan himpunan fuzzy atas daerah-daerah masukan dan keluaran yang telah ditentukan, *rule-base* ini menggunakan logika *if-then*.

c) Fuzzy Inference System

Digunakan untuk mengolah masukan yang telah difuzzifikasikan, dan menyimpulkan masukan tersebut berdasarkan *rule base* menjadi *output*. *Inference engine* menggunakan metode mamdani.

d) Defuzzifikasi

merupakan proses mengubah derajat keanggotaan hasil agregasi menjadi nilai analog keluaran. Pada proses defuzzifikasi dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti metode mamdani, metode tsukamoto, dan metode sugeno. Pada penelitian ini akan digunakan metode mamdani

- **3 Tipe Logika Fuzzy :**

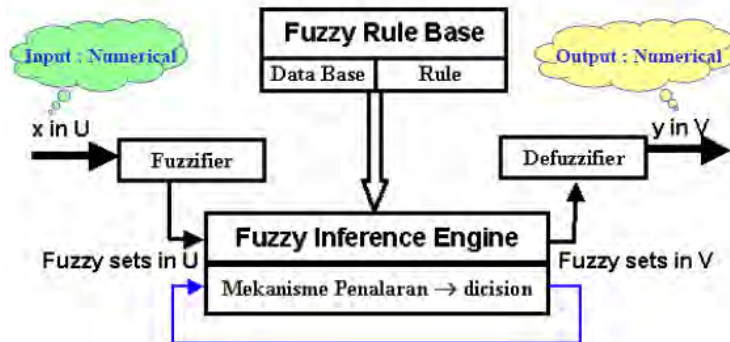
- a. Logika Fuzzy Murni
- b. Logika Fuzzy Takagi dan Sugeno
- c. Logika Fuzzy Mamdani

Pada penelitian ini akan digunakan logika fuzzy mamdani.

- **Logika Fuzzy Mamdani**

Logika Fuzzy Mamdani atau sering dikenal dengan nama metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim

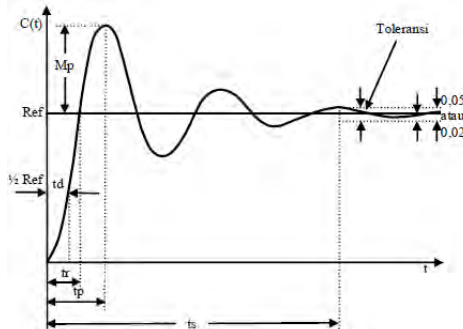
Mamdani pada tahun 1975. Merupakan logika fuzzy yang memiliki input numerik dan output numerik. Dengan arsitektur sebagai berikut :



Gambar 2.25 Arsitektur Logika Fuzzy Mamdani(Arifin, 2014).

2.8 Pengendalian Kestabilan

Pada umumnya karakteristik performansi sistem pengendalian dinyatakan dalam besaran waktu. Seringkali, karakteristik performansi pengendalian dinyatakan dalam bentuk respon transien. Beberapa parameter nilai kestabilan adalah sebagai berikut :



Gambar 2.26 Respon Transien(Sutikno, 2010)

- ✓ *Mximum Overshoot* (MP) merupakan nilai puncak maksimum kurva respon yang diukur dari satuan, dimana apabila nilai akhir tunak responnya jauh dari satu, maka

biasanya digunakan persen *overshoot* maksimum, yang diperoleh dengan persamaan :

$$MP = \frac{c(tp) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100 \% \quad (2.19)$$

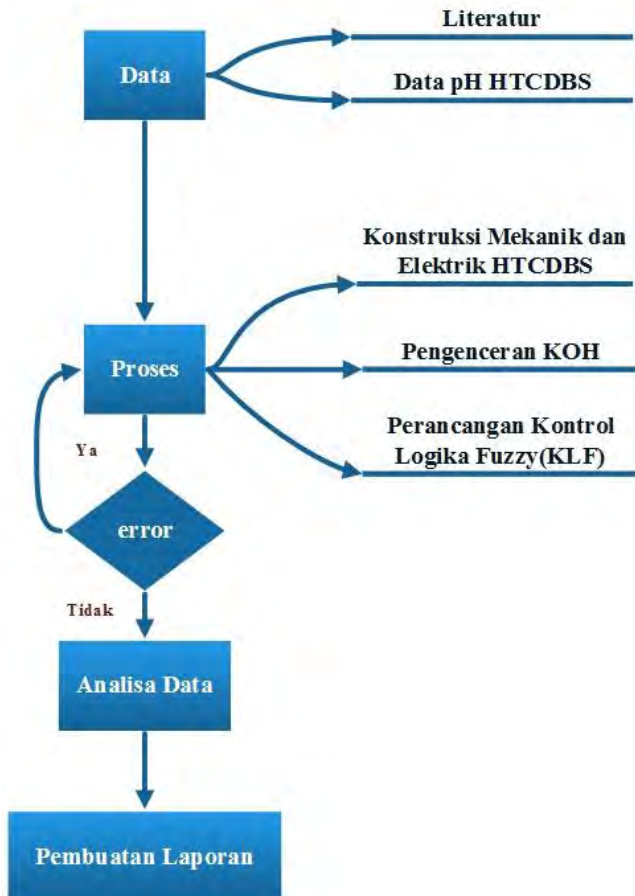
- ✓ *Rise Time (tr)* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh respon untuk naik dari 5% sampai 95 % atau 10 % sampai 90% dari *steady state*.
- ✓ *Peak Time (tp)* merupakan waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai puncak pertama *overshoot*, dengan kriteria 2 % atau 5 %.
- ✓ *Settling Time (ts)* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh respon untuk mencapai keadaan stabil.
- ✓ *Delay Time (Td)* merupakan waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah dari nilai *steady state* untuk pertama kali.
- ✓ *Error Steady State (Ess)* merupakan besarnya kesalahan pada keadaan tunak.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

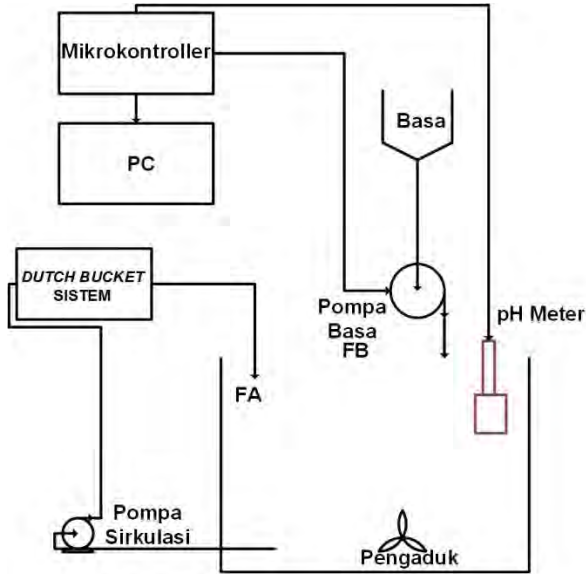
3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada pengerjaan tugas akhir ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut.



Gambar 3.1 Flowchart Pelaksanaan Tugas Akhir

Pengendalian pH pada *Hydroponic Tomat Cherry Dutch Bucket System* (HTCDBS) ini memiliki skema pengendalian sebagai berikut ini :



Gambar 3.2 Skema *dutch bucket hydroponic system tomat cherry* dengan pengendalian pH.

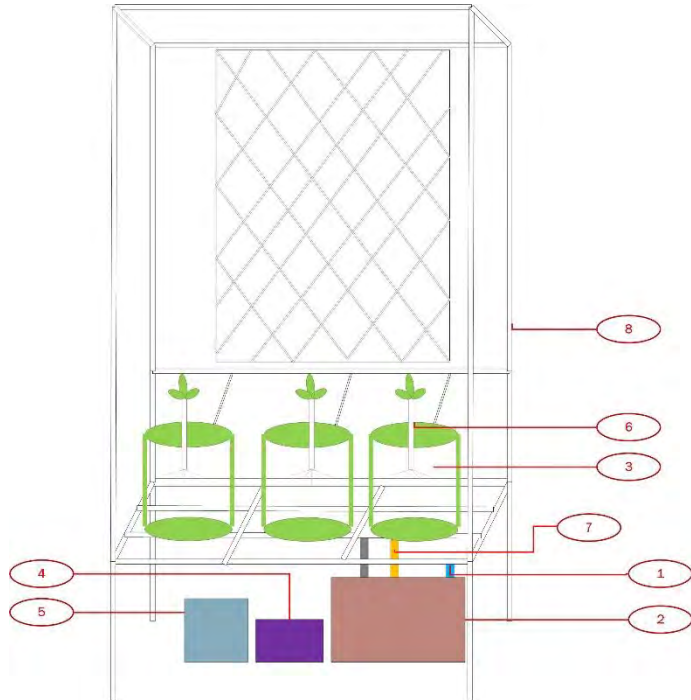
3.2 Data

Data pH HTCDBS akan dibahas pada analisa data, dimana data pH ini digunakan sebagai penentuan parameter fuzzy yang akan dibuat. Pada tugas akhir ini digunakan nilai *setpoint* pH pada nilai 6.25, dimana nilai 6.25 diambil berdasarkan referensi pada bab 2 gambar 2.4 oleh Kementerian Pertanian Sri Lanka. Garis merah pada gambar 2.4 dengan pH 6.25 menunjukkan nilai maksimum dari elemen nutrisi dengan ketersediaan paling tinggi, sehingga nilai ini digunakan sebagai *setpoint* pengendalian pH pada tugas akhir ini .

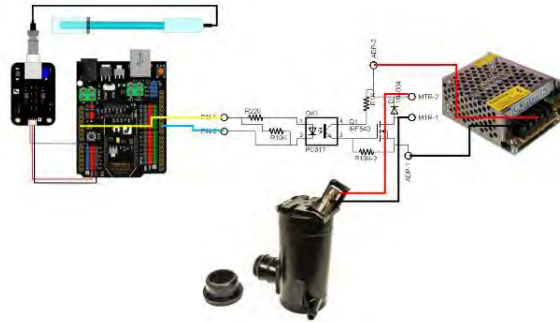
3.3 Proses

- **Konstruksi Mekanik dan Elektrik HTCDBS**

Pada tahap ini dilakukan pembuatan konstruksi dari HTCDBS, yang terdiri dari komponen mekanik dan elektrik. Konstruksi dari HTCDBS sendiri dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



a.



b.

Gambar 3.3 a).Konstruksi HTCDBS , b).Elektrik HTCDBS

Dengan keterangan sebagai berikut:

- 1.Sensor pH
- 2.Tangki Nutrisi
3. Tempat Tanaman
4. Pump
5. Electrical Box
- 6.Tomat Cherry
- 7.Pengaduk
- 8.Kerangka HTCDBS

Secara garis besar desain konstruksi mekanik dari HTCDBS ditunjukkan oleh gambar 3.3 diatas. Sedangkan untuk elektriknya terdiri dari Arduino uno, driver motor, dan sensor pH. Sensor pH digunakan sebagai masukan untuk Arduino, yang kemudian data akan di olah dan digunakan sebagai masukan pada fuzzy, dan akan memberikan aksi pada driver motor untuk menyalakan pompa dc 12 V.

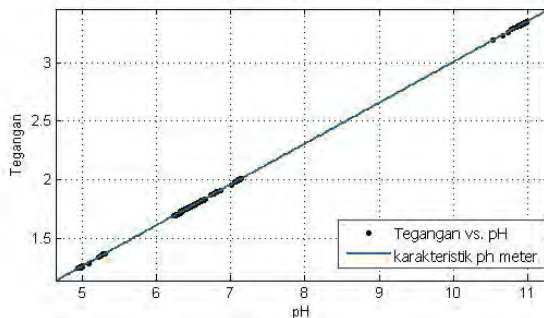
✓ Model Matematik Pengendalian

Adapun model matematika komponen pengendalian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

• Model Matematik Sensor

pH meter digunakan sebagai transmitter pH, seperti yang dijelaskan pada bab 2 bahwasanya ph meter menggunakan dua

electrode yaitu satu electrode digunakan sebagai pembanding atau referensi dan satu electrode lainnya sebagai pengukuran. Perubahan konsentrasi ion hydrogen akan dikonversi kedalam sinyal listrik oleh electrode gelas. Pada sistem pengendalian pH pada hidroponik ini memiliki *setpoint* 6.25 , karena pada pH ini ketersediaan nutrisi paling maksimal. Pada pH meter ini sinyal keluaran berupa tegangan 1.2637volt sampai 3.352volt dengan variable input terukur yaitu pH 5 sampai 11. Pada tugas akhir ini untuk mencari gain transmitter pertama dilakukan pengujian untuk memperoleh hubungan pH dengan tegangan. Berikut ini hubungan pH dengan tegangan :



Gambar 3.4Karakteristik pH meter

Dengan persamaan hubungan Antara pH dengan tegangan sebagai berikut :

$$Y = 0.348 x I - 0.4763 \quad (3.1)$$

Dengan I adalah input nilai pH dan Y adalah tegangan keluaran.

Dengan demikian diperoleh gain transmitter sebagai berikut :

$$K_{pH} = \frac{\text{Span Output}}{\text{Span Input}} \quad (3.2)$$

$$K_{pH} = \frac{3.35v - 1.2637v}{11 - 5} = \frac{2.086}{6} = 0.35 \quad (3.3)$$

$$G_{pH} = \frac{K_{pH}}{\tau(s)+1} \quad (3.4)$$

Hubungan pH dengan sinyal input berbanding linear maka dapat digunakan persamaan seperti di bawah ini :

$$K_{pH} = \frac{y - 1.2637}{3.35} = \frac{x - 5}{11} \quad (3.5)$$

$$K_{pHTras} = y = 0.305x - 0.26 \quad (3.6)$$

Dengan media pengiriman berupa sinyal elektrik maka *time constant* yang ada sangat kecil dan dapat diabaikan nilainya sehingga konstanta waktunya dapat dianggap nol. Dengan demikian fungsi *transfer* transmitter adalah persamaan 3. Dengan keluaran dari sensor pH berupa nilai tegangan 1.2637 *volt* sampai dengan 3.35 *volt*. Kemudian nilai tegangan akan di kirim ke ADC.

- **Model Matematik Pompa**

Dalam pengendalian pH diperlukan aktuator berupa pompa yang akan menginjeksikan larutan basa. Model Matematika dari pompa ini di peroleh dari pemodelan FOPDT, dikarenakan pompa yang digunakan hanya diketahui spesifikasi tegangan inputnya. Dengan menggunakan eksperiment maka diperoleh model matematika FOPDT pompa sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{K}{\sigma s + 1} e^{-\theta s} \quad (3.7)$$

Dari hasil eksperiment diperoleh nilai:

$$K = 8.646025$$

$$\sigma = 2.264017$$

$$\theta = 1.509345$$

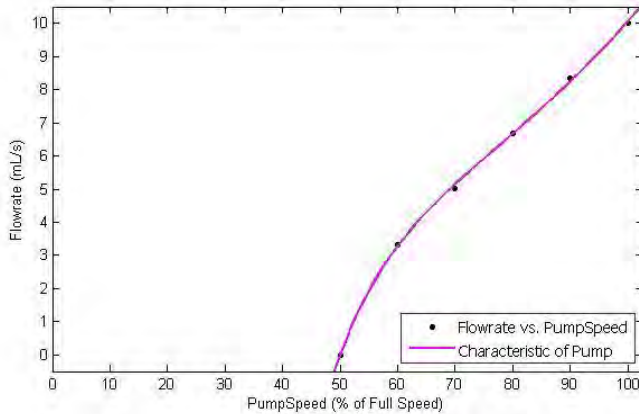
Dengan demikian model matematika pompa yaitu :

$$G(s) = \frac{8.646025}{2.264017s + 1} e^{-1.509345s} \quad (3.8)$$

Sedangkan untuk karakteristik pompa sendiri diperoleh dengan menggunakan bantuan Matlab Curve Fitting toolbox, maka akan diperoleh pendekatan hubungan antara *flow rate* (mL/s) dan K besar bukaan pompa (% dari bukaan). Dari hasil pengujian di peroleh persamaan dan grafik karakteristik pompa sebagai berikut :

$$F = 1.456 x e^{0.01934 x k} + -629.9 x e^{-0.1021 x k} \quad (3.9)$$

Dengan F adalah *flowrate*(ml/s) dan k adalah besarnya bukaan (% bukaan)



Gambar 3.5 Karakteristik aliran dari pompa

- **Model Matematik Plant**

Model matematika dari plant diperoleh dari data eksperimen, penambahan KOH kedalam larutan nutrisi yang telag di buat. Dengan menggunakan FOPDT maka diperoleh model matematika dari plant sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{K}{\sigma s + 1} e^{-\theta s} \quad (3.10)$$

Dari hasil eksperimen diperoleh nilai:

$$K = 0.0112$$

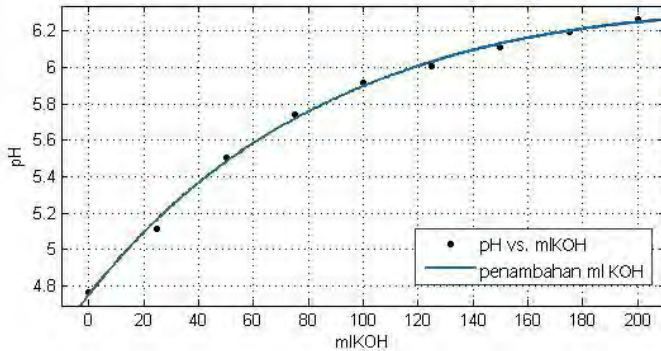
$$\sigma = 5.1$$

$$\theta = 3.4$$

Dengan demikian model matematika plant yaitu :

$$G(s) = \frac{0.0112}{5.1s + 1} e^{-3.4s} \quad (3.11)$$

Sedangkan untuk karakteristik plant dengan matlab curve fitting adalah sebagai berikut :



Gambar 3.6 Penambahan ml KOH terhadap pH nutrisi

Dari data hasil pengujian, maka diperoleh karakteristik plant sebagai berikut :

$$F_{pH} = \frac{7.102 m + 506.9}{m + 107} \quad (3.12)$$

F_{pH} adalah nilai pH yang diperoleh, sedangkan m adalah besarnya KOH yang ditambahkan.

- **Pengenceran KOH**

KOH yang digunakan untuk menaikkan pH pada nutrisi hidroponik ini dengan menggunakan konsentrasi 0.2M, diperoleh dari pengenceran berikut :

$$M = \frac{\frac{gram}{BM}}{V} \quad (3.13)$$

$$gram = Bm \cdot V \cdot M \quad (3.14)$$

Dengan BM KOH adalah 56 , volume pengenceran adalah 1 liter, untuk membuat larutan KOH 0.2M maka diperlukan KOH sebesar:

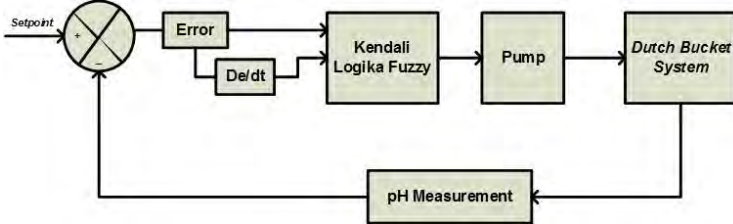
$$gram = 56 \cdot 1 \cdot 0.2 \quad (3.15)$$

$$gram = 11.2 \quad (3.16)$$

Jadi dibutuhkan 11.2 gram KOH yang dilarutkan dalam 1 liter air untuk memperoleh konsentrasi 0.2M.

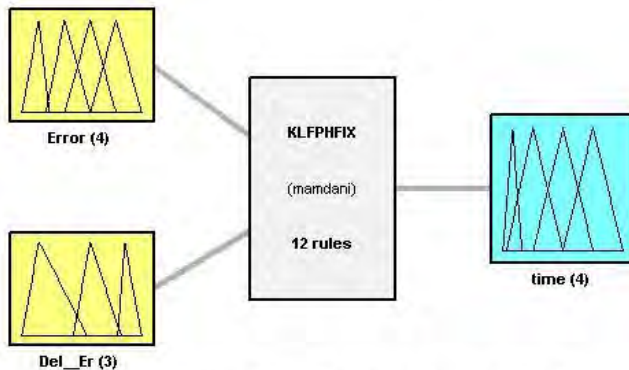
- **Perancangan Kontrol Logika Fuzzy**

Perancangan KLF berupa penentuan *input-output* yang digunakan dalam sistem *fuzzy* ini dan fungsi keanggotaan yang akan digunakan pada sistem. Menentukan rentang nilai-nilai pada fungsi keanggotaan yang akan digunakan.



Gambar 3.7 Diagram blok kendali fuzzy

Setelah menentukan fungsi keanggotaan *input* dan *output*, kemudian menentukan *rule base* dari sistem. Selanjutnya Mengkonversi hasil perancangan KLF kedalam bentuk program agar dapat dibaca oleh mikrokontroller, agar mikro dapat bekerja sesuai dengan KLF yang telah ditentukan. Berikut rancangan KEndali Logika Fuzzy yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

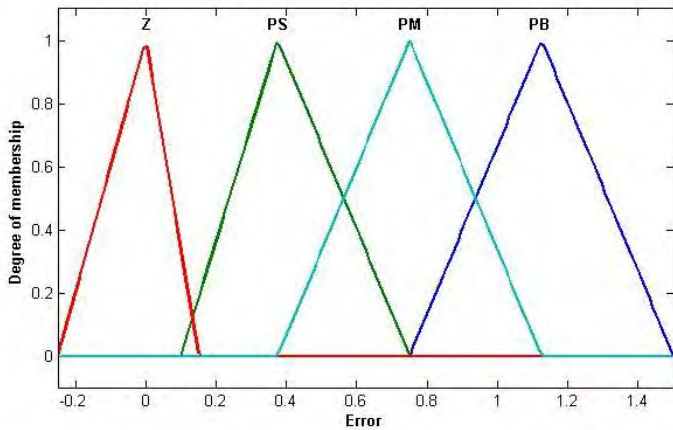


System KLFPHFIX: 2 inputs, 1 outputs, 12 rules

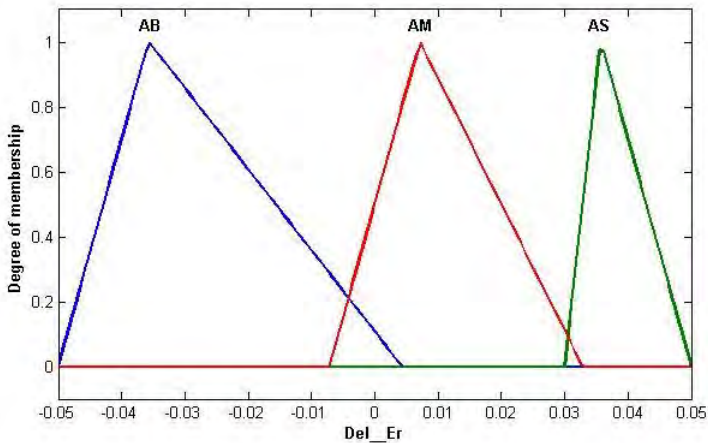
Gambar 3.8 FIS pada pengendalian pH

Penentuan nilai sebagai parameter masukan pada sistem ini berdasarkan pada data-data *real* sensor dan *datasheet* dari *hardware-hardware* yang digunakan yang akan memperoleh nilai

error. Sedangkan untuk keluarannya berdasarkan pada eksperimen. Berikut ini merupakan fungsi keanggotaan masukan :



a)



b)

Gambar 3.9 a) Fungsi keanggotaan masukan *error* . b) Fungsi Keanggotaan *delta error*

Fungsi keanggotaan masukan ini terdiri dari 4 mf. Untuk fungsi keanggotaan masukan *error* , yaitu : Z: Zero , PS: Positif Small, PM: Positif Medium , dan PB: Positif Big. Sedangkan

untuk fungsi keanggotaan masukan pH, yaitu : AB: Acid Big , AM: Acid medium dan AS: Acid *Setpoint*.

Untuk input error menggunakan range input antara -0.25 hingga 1.5, dimana parameter ini diperoleh dari pengamatan dilapangan, dengan *open loop* pH nutrisi minimal mencapai 4.75 dan maksimal 6.5, sehingga diperoleh rentang *error* seperti diatas. Dengan variable *error* sebagai berikut :

Tabel 3.1 Variabel *error*

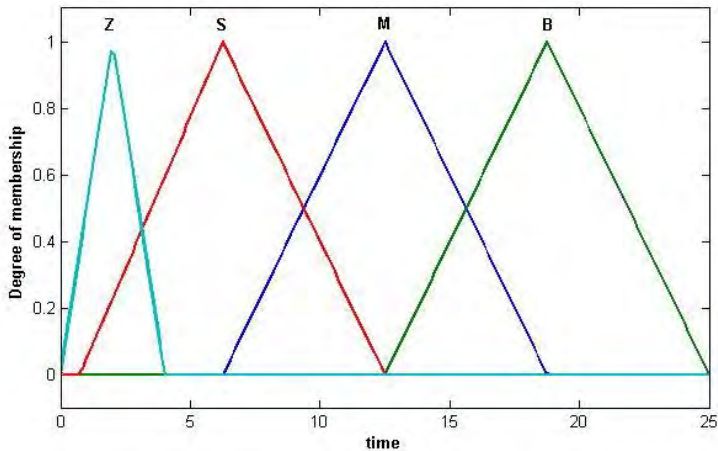
Membership Function	Parameter
Z	[-0.25 0 0.15]
PS	[0.1 0.375 0.75]
PM	[0.375 0.75 1.125]
PB	[0.75 1.125 1.5]

Sedangkan untuk masukan variable *delta error* dengan range -0.05 hingga 0.05, juga diperoleh dari pengamatan di lapangan, dan penentuan parameter di peroleh dari eksperiment uji *openloop*. Untuk variable pH sebagai berikut :

Tabel 3.2 Variabel *delta error*

Membership Function	Parameter
AB	[-0.05 -0.03572 0.004284]
AM	[-0.007144 0.007143 0.03286]
AS	[0.03 0.0357 0.05]

Fungsi keanggotaan keluaran yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu berupa waktu yang akan digunakan untuk lamanya penyalaan pompa.



Gambar 3.10 Fungsi keanggotaan keluaran

Keluaran dari fuzzy ini adalah lamanya waktu aktuator pompa menyala. keluaran fuzzy ini memiliki empat fungsi keanggotaan yaitu Z:Zero, S:Small, M:Medium, dan B: Big. Untuk variable keluaran dari waktu in adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Variabel keluaran waktu

Membership Function	Parameter
Z	[0 2 4]
S	[0.75 6.25 12.5]
M	[6.25 12.5 18.76]
B	[12.5 18.76 25]

Dari dua masukan dan satu keluaran diperoleh 16 aturan fuzzy, sesuai yang ditunjukkan pada table dibawah ini :

Tabel 3.4 Rule Base

<i>Del_error</i>	<i>Error</i>			
		Z	PS	PM
AB	Z	B	B	B
AM	Z	B	B	B
AS	S	M	M	B

3.4 Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data perbandingan yang akan diperoleh nilai performansi *output* kontrol ph hidroponik yang telah dibuat , dan untuk melihat seberapa baik respon sistem dengan kendali logika fuzzy.

3.5 Penyusunan Laporan

Dilakukan penyusunan laporan dari hasil penelitian.

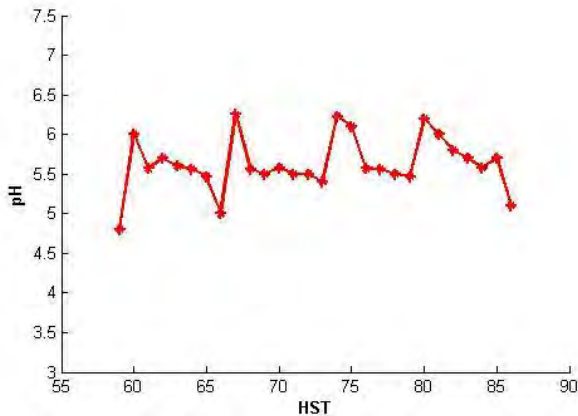
“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA

4.1 Data HTCDBS

- **Pengujian pH pada HTCDBS *open loop***

Data pengamatan plant digunakan sebagai acuan dalam merancang kontrol logika fuzzy yang akan digunakan nantinya, dimana diketahui setiap harinya pH pada tanaman hidroponik terus menurun sesuai dengan grafik dibawah ini :



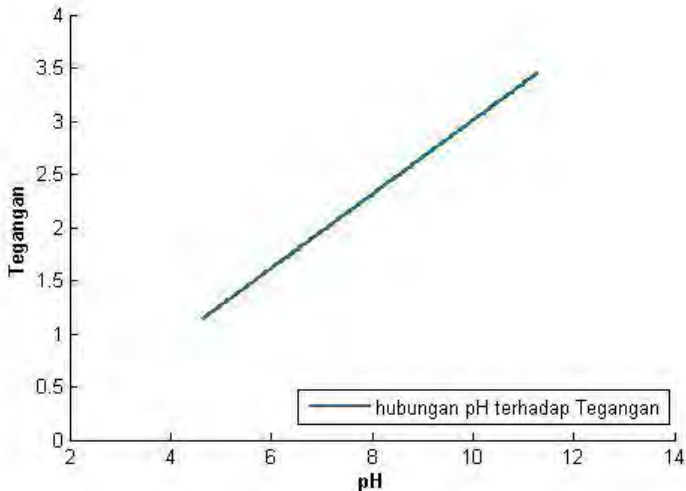
Gambar 4.1 Nilai pH pada HTCDBS

Dari gambar 4.1 diatas terlihat bahwasanya nilai pH pada HTCDBS cenderung mengalami penuurunan dalam rentang waktu 1 minggu. Gambar diatas menunjukkan hubungan HST(hari setelah tanaman) terhadap pH. Sehingga dari gambar diatas diperlukannya pengendalian pH pada HTCDBS agar nilai pH HTCDBS dapat terjaga sesuai dengan acuan

- **Data Kalibrasi**

Pengambilan data kalibrasi yaitu dengan larutasn solusi pH 5, pH 7, dan pH 11 untuk mengetahui *error* pH pada asam, netral, dan basa. Berikut ini grafik pengambilan data sensor.

Pengujian awal yaitu mencari hubungan antara pH dengan tegangan keluaran dari sensor, dimana dari pengambilan data diperoleh grafik hubungan pH dengan tegangan sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik hubungan pH terhadap Tegangan sensor

Dari gambar 4.2 menunjukkan hubungan linearitas antara pH dengan tegangan keluaran sensor. Semakin besar nilai pH maka tegangan yang dihasilkan juga akan semakin besar, begitu pula sebaliknya semakin kecil nilai pH maka tegangan yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Hasil pengujian kalibrasi digunakan untuk mengetahui standar deviasi *error* dengan membandingkan hasil pembacaan pH meter kit SEN0161 dengan larutan *buffer* standar. Berikut merupakan data hasil pengujian.

Tabel 4.1 Data kalibrasi alat ukur pH

Xstd	\bar{x}_i	yi (koreksi)	\bar{y}_i	Stdev
5	4.977	0.023	-0.03	0.0764
7	7.138	-0.138		
11	10.975	0.025		

Dengan keterangan :

X_{std} : merupakan pembacaan setandar (larutan buffer sebagai kalibrator)

\bar{x}_i : merupakan pembacaan rata-rata alat ukur pH yang digunakan dalam pengendalian

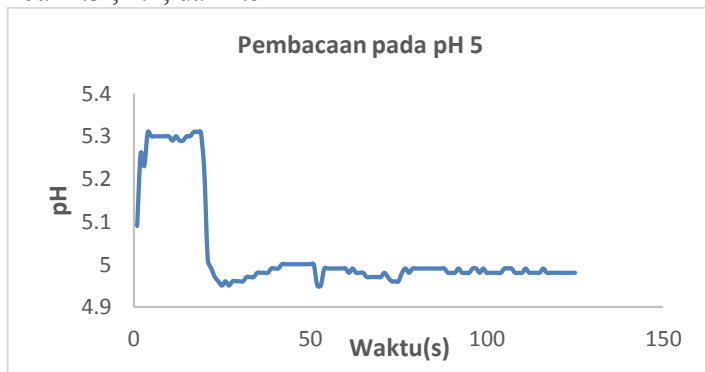
Y_i : merupakan koreksi antara standar dengan pembacaan alat

\bar{y}_i : Merupakan rata-rata koreksi

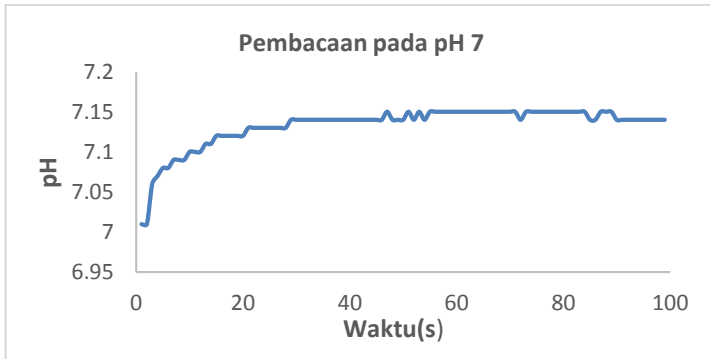
Stdev : Merupakan standar deviasi alat

Dari tabel 4.1 dapat diketahui bahwasanya pH meter yang digunakan pada pengendalian pH pada tugas akhir ini setelah dilakukan kalibrasi memiliki standar deviasi ± 0.0764 . Sedangkan untuk *error* sensor sendiri menurut datasheet pabrikan yaitu ± 0.5 pH.

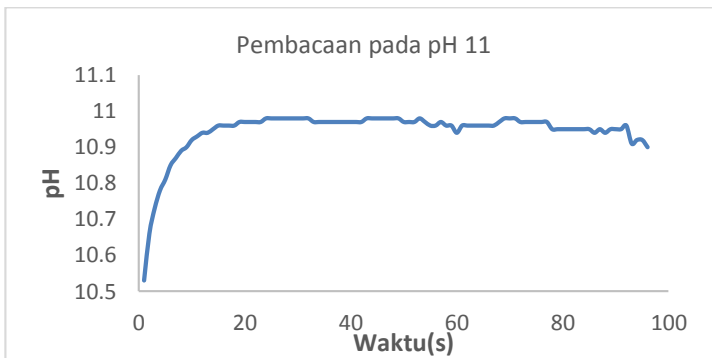
Sedangkan pembacaan pH terhadap waktu di tunjukkan oleh gambar 4.3 , 4.4, dan 4.5



Gambar 4.3 Grafik pembacaan sensor pada pH solusi 5



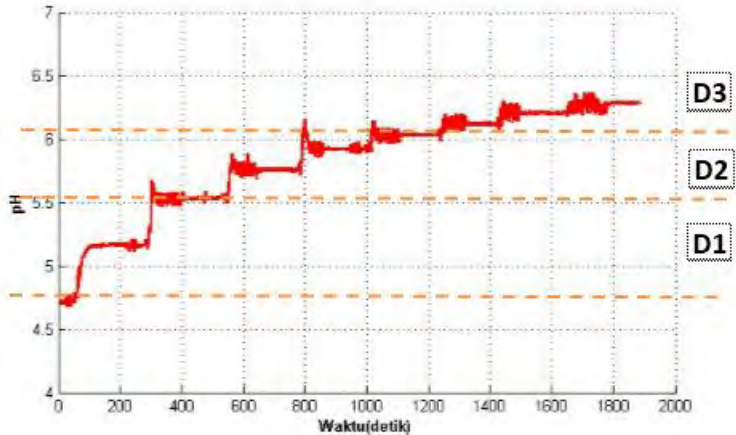
Gambar 4.4 Grafik pembacaan sensor pada pH solusi 7



Gambar 4.5 Grafik pembacaan sensor pada pH solusi 11

4.2 Pengujian Karakteristik Plant

Pengujian *open loop* dilakukan untuk mengetahui respon plant dengan adanya penambahan KOH. Hasil dari pengujian ini digunakan sebagai dasar pembuatan parameter masukan dan keluaran pada fuzzy. Larutan nutrisi dengan perbandingan antara air, nutrisi stok A dan Stok B adalah 1L:5ml:5ml. berikut ini grafik hasil dari uji karakteristik plant:



Gambar 4.6 Plot respon karakteristik plant

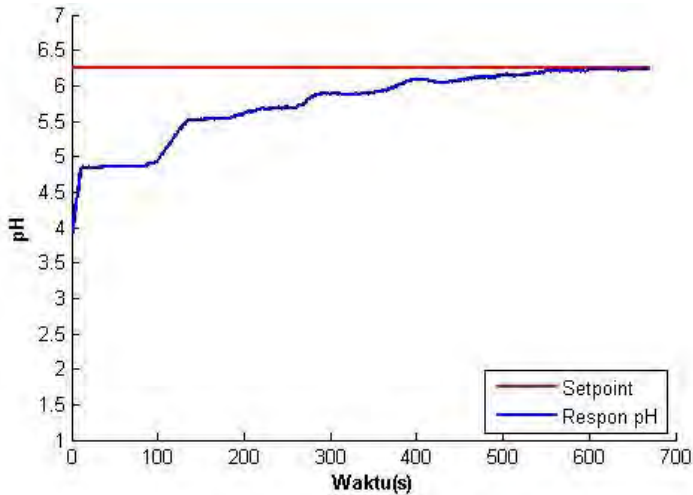
Dari gambar 4.6 dapat diketahui bahwasanya didalam larutan nutrisi pada daerah D3 dan D2 memiliki gradient yang lebih besar daripada D1. Hal ini menunjukkan bahwasanya pada D2, reaksi antara larutan nutrisi hidroponik dengan basa berlangsung lebih cepat dibandingkan pada daerah D3 dan D2. Dengan kata lain, penambahan KOH pada pH 4.75 sampai dengan 5.5 akan sangat berpengaruh pada nilai pH secara signifikan.

4.3 Pengujian *Close Loop*

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian *close loop*, dimana pada sistem diberi blok pengendalian yang mendapat umpan balik dari respon sistem.

- **Pengujian *close loop* set point pH =6.25 dengan error awal 1.41**

Pada pengujian hardware sistem *close loop* pada *setpoint* pH= 6.25 dengan *error* awal 1.41, menghasilkan respon seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.7 Respon pH pada *close loop* dengan *setpoint* pH= 6.25 dan *error* pH awal 1.41

Dari pengujian sistem *close loop* yang telah dirancang pada *hardware*, maka dapat dilihat bahwa *setpoint* pH diikuti nilai respon pH bergerak pada angka sekitar pH 6.25. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang telah di rancang ini memiliki performansi yang cukup baik dimana indeks performansi *close loop* pada *setpoint* ph 6.25 adalah sebagai berikut :

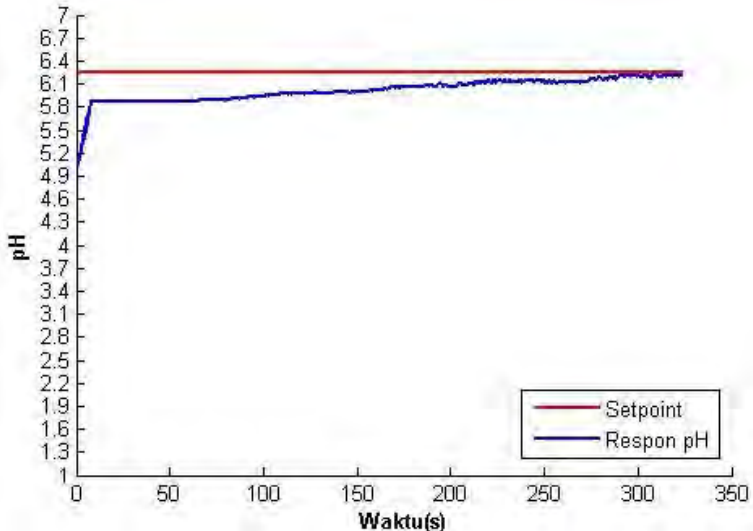
Tabel 4.2 Indeks Performansi dengan *error* pH awal sistem 1.41

Indeks Performansi	Value
<i>Time delay</i> (t_d)	10 detik
<i>Rise time</i>	201 detik
<i>Settling time</i>	468 detik
<i>Error Steady State</i>	0.687
RMSE	0.466

Pada *setpoint* 6.25 ini tidak terjadi *overshoot* dan *peak time* sehingga nilai *maksimum overshoot*=0 dan *peak time* = 0.

- **Pengujian *close loop setpoint* pH=6.25 dengan *error* awal 0.37**

Pada pengujian *hardware* sistem *close loop* pada *setpoint* pH= 6.25 dengan *error* awal 0.37, menghasilkan respon seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.8 Respon pH pada *close loop* dengan *setpoint* pH= 6.25 dan *error* awal 0.37

Dari pengujian sistem *close loop* yang telah dirancang pada *hardware*, maka dapat dilihat bahwa *setpoint* pH diikuti nilai respon pH bergerak pada angka sekitar ph 6.25 dengan *error* awal 0.37. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang telah di rancang ini memiliki performansi yang cukup baik dimana indeks performansi *close loop* pada *setpoint* pH 6.25 adalah sebagai berikut :

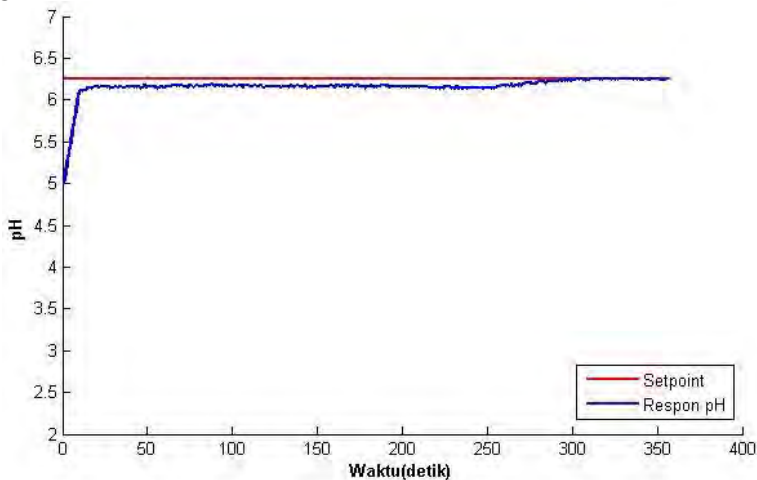
Tabel 4.3 Indeks Performansi dengan *error* pH awal sistem 0.37

Indeks Performansi	Value
<i>Time delay (t_d)</i>	8 detik
<i>Rise time</i>	6 detik
<i>Settling time</i>	210 detik
<i>Error Steady State</i>	0.309
RMSE	0.131

Pada *setpoint* 6.25 dengan *error* awal 0.37 ini tidak terjadi *overshoot* dan *peak time* sehingga nilai *maksimum overshoot*=0 dan *peak time* = 0.

- **Pengujian *close loop setpoint* pH=6.25 dengan *error* awal 0.14**

Pada pengujian *hardware* sistem *close loop* pada *setpoint* pH= 6.25 dengan *error* awal 0.14, menghasilkan respon seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.9 Respon pH pada *close loop* dengan *setpoint* pH= 6.25 dan *error* awal 0.14

Dari pengujian sistem *close loop* yang telah dirancang pada *hardware*, maka dapat dilihat bahwa *setpoint* pH diikuti nilai respon pH bergerak pada angka sekitar pH 6.25 dengan *error* awal 0.14. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang telah di rancang ini memiliki performansi yang cukup baik dimana indeks performansi *close loop* pada *setpoint* pH 6.25 adalah sebagai berikut :

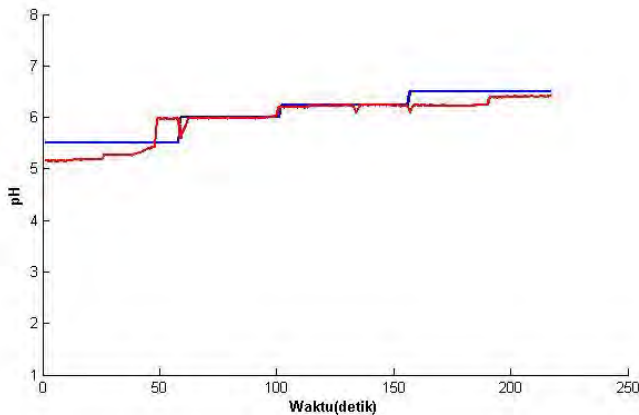
Tabel 4.4 Indeks Performansi dengan *error* pH awal sistem 0.14

Indeks Performansi	Value
<i>Time delay (t_d)</i>	5 detik
<i>Rise time</i>	6 detik
<i>Settling time</i>	13 detik
<i>Error Steady State</i>	0.55
RMSE	0.38

Pada *setpoint* 6.25 dengan *error* awal 0.14 ini tidak terjadi *overshoot* dan *peak time* sehingga nilai *maksimum overshoot*=0 dan *peak time* = 0.

- **Pengujian *Tracking setpoint***

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian *tracking setpoint* yang mana pengujian *tracking setpoint* dilakukan untuk mengetahui apakah sistem mampu bekerja pada *setpoint-setpoint* lain yang ada di dalam range dari desain KLF. Selain itu pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah pengendalian yang telah dirancang dapat mengatasi kondisi proses pada saat diberi gangguan berupa perubahan *setpoint* (Aziz dan Hussein, 2012). Berikut ini merupakan hasil dari pengujian *tracking setpoint*.

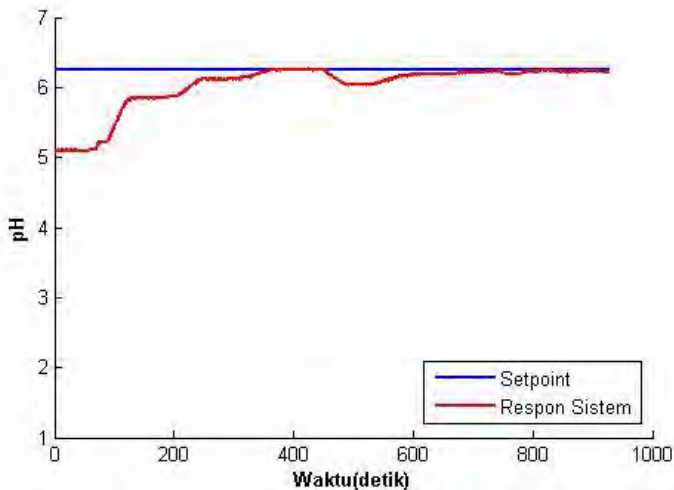


Gambar 4.10 Respon pH pada pengujian *tracking setpoint* pH 5.5 , pH 6, pH 6.25 dan pH 6.5

Gambar 4.10 menunjukkan representasi respon pH pada pengujian *close loop* untuk *tracking setpoint*, dimana pada gambar tersebut terlihat bahwasanya nilai pH respon sistem mampu mengikuti perubahan *setpoint* yang telah di tentukan pada pengujian diatas.

- **Pengujian *Disturbance***

Uji selanjutnya adalah dengan memasukkan gangguan pada plant yang di gambarkan oleh gambar 4.9. gangguan ini berupa penurunan nilai pH ketika sudah mencapai *setpoint*, dengan memberi asam lemah agar nilai pH yang sudah mencapai *setpoint* sebelumnya menjadi turun. Dengan hasil pengujian *disturbance* sebagai berikut :



Gambar 4.11 Respon uji *disturbance*

Dari gambar 4.11 sistem mula-mula memiliki pH 5.09, kemudian pengendalian fuzzy memberikan aksi kepada sistem untuk mencapai *setpoint*, pada proses ini diperoleh indeks performansi *close loop* pada *setpoint* pH 6.25 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Indeks Performansi dengan *error* pH awal sistem
1.16 pengujian *disturbance*

Indeks Performansi	Value
<i>Time delay (t_d)</i>	2 detik
<i>Rise time</i>	109 detik
<i>Settling time</i>	247 detik
<i>Error Steady State</i>	0.68
RMSE	0.37

Pada pengujian ini tidak terjadi *overshoot* dan *peak time* sehingga nilai *maksimum overshoot*=0 dan *peak time* = 0. Pada Gambar 4.11 juga terlihat bahwasanya gangguan diberikan pada plant dan pH plant turun dari 6.25 menjadi 6.04, ini terjadi mulai pada detik ke 450 sampai dengan detik ke 522, kemudian sistem melakukan aksi untuk menuju *setpoint* kembali. Dari hasil ini menunjukkan bahwasanya sistem dapat merespon plant ketika terjadi perubahan nilai pH pada plant, dan sistem akan melakukan aksi untuk menuju *setpoint* kembali pada detik ke 670 sistem mencapai *Setpoint*, dengan *settling time* 43 detik, Dari pengujian ini menunjukkan bahwa sistem dapat merespon adanya gangguan pada plant dan mengembalikan pH ke *setpoint* yang telah ditentukan yaitu pH 6.25.

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN A

Listing Program Arduino

a. Program Utama

```
#include "fis_header.h"

///// Fuzzy ///////////////////////////////////
// Number of inputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcI = 2;
// Number of outputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcO = 1;
// Number of rules to the fuzzy inference system
const int fis_gcR = 12;

FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];

///// PWM ///////////////////////////////////
#define PWM_PIN 9

///// pH ///////////////////////////////////
#define SensorPin A1 //pH meter Analog output
#define LED 13
#define setpoint 6.25
#define samplingInterval 1000
#define ArrayLenth 40 //times of collection
int pHArray[ArrayLenth]; //Store the average value of the
sensor feedback
int pHArrayIndex=0;
unsigned long samplingTime = millis();
unsigned long printTime = millis();
float pHValue ,voltage;
```

```

float v_p10=3.3;
float v_p7=1.96;
float Error_pH , Last_error , Del_er ;
double avergearray(int* arr, int number);

///// Sampling ////////////
unsigned long pm = 0;
unsigned long interval;
unsigned long delaysensor = 120000 - samplingInterval;
unsigned long output_time;
boolean sampling = true;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PWM_PIN,OUTPUT);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Time,waktu>Action,pH Value,
Error,Del_er, Output Fuzzy");

}

void loop() {
  if(sampling){
    pH_sampling();
  }

}

```

b. Program Fuzzy

```
void fuzzy()
```

```

{
    ///Error Value///
    Error_pH = setpoint - pHValue ;
    ///Delta Error Value///
    Del_er = Error_pH - Last_error ;
    ///Last_Error///
    Last_error= Error_pH;

// Read Input: Error
g_fisInput[0] = Error_pH;
// Read Input: Del__Er
g_fisInput[1] = Del_er;

g_fisOutput[0] = 0;

fis_evaluate();

// Set output vlaue: time
output_time = g_fisOutput[0]* 1000;

// Triangular Member Function
FIS_TYPE fis_trimf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
    FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
    if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
    if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2*(b <= x)*(x <= c));
    if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1*(a <= x)*(x <= b));
    t1 = min(t1, t2);
}

```

```
    return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}
```

```
FIS_TYPE fis_min(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return min(a, b);
}
```

```
FIS_TYPE fis_max(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return max(a, b);
}
```

```
FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size,
    _FIS_ARR_OP pfnOp)
{
    int i;
    FIS_TYPE ret = 0;

    if (size == 0) return ret;
    if (size == 1) return array[0];

    ret = array[0];
    for (i = 1; i < size; i++)
    {
        ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
    }

    return ret;
}
```

```

//*****
*****

// Data for Fuzzy Inference System
//*****
*****

// Pointers to the implementations of member functions
_FIS_MF fis_gMF[] =
{
    fis_trimf
};

// Count of member function for each Input
int fis_gIMFCount[] = { 4, 3 };

// Count of member function for each Output
int fis_gOMFCount[] = { 4 };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { 0.75, 1.125, 1.5 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { 0.1, 0.375, 0.75 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff3[] = { -0.25, 0, 0.15 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff4[] = { 0.375, 0.75, 1.125 };
FIS_TYPE* fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff1,
    fis_gMFI0Coeff2, fis_gMFI0Coeff3, fis_gMFI0Coeff4 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff1[] = { -0.05, -0.03572, 0.004284 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff2[] = { 0.03, 0.0357, 0.05 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff3[] = { -0.007144, 0.007143, 0.03286
};
FIS_TYPE* fis_gMFI1Coeff[] = { fis_gMFI1Coeff1,
    fis_gMFI1Coeff2, fis_gMFI1Coeff3 };

```

```

FIS_TYPE** fis_gMFIcoeff[] = { fis_gMFI0coeff,
fis_gMFI1coeff };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFO0coeff1[] = { 6.25, 12.5, 18.76 };
FIS_TYPE fis_gMFO0coeff2[] = { 12.5, 18.76, 25 };
FIS_TYPE fis_gMFO0coeff3[] = { 0.75, 6.25, 12.5 };
FIS_TYPE fis_gMFO0coeff4[] = { 0, 2, 4 };
FIS_TYPE* fis_gMFO0coeff[] = { fis_gMFO0coeff1,
fis_gMFO0coeff2, fis_gMFO0coeff3, fis_gMFO0coeff4 };
FIS_TYPE** fis_gMFOcoeff[] = { fis_gMFO0coeff };

// Input membership function set
int fis_gMFI0[] = { 0, 0, 0, 0 };
int fis_gMFI1[] = { 0, 0, 0 };
int* fis_gMFI[] = { fis_gMFI0, fis_gMFI1 };

// Output membership function set
int fis_gMFO0[] = { 0, 0, 0, 0 };
int* fis_gMFO[] = { fis_gMFO0 };

// Rule Weights
FIS_TYPE fis_gRWeight[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Type
int fis_gRType[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Inputs
int fis_gRI0[] = { 1, 1 };
int fis_gRI1[] = { 1, 3 };
int fis_gRI2[] = { 1, 2 };

```



```

int fis_gRI3[] = { 2, 1 };
int fis_gRI4[] = { 2, 3 };
int fis_gRI5[] = { 2, 2 };
int fis_gRI10[] = { 4, 3 };
int fis_gRI11[] = { 4, 2 };
int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3,
fis_gRI4, fis_gRI5, fis_gRI6, fis_gRI7, fis_gRI8, fis_gRI9,
fis_gRI10, fis_gRI11 };

// Rule Outputs
int fis_gRO0[] = { 2 };
int fis_gRO1[] = { 2 };
int fis_gRO2[] = { 2 };
int fis_gRO3[] = { 2 };
int fis_gRO4[] = { 2 };
int fis_gRO5[] = { 1 };
int fis_gRO6[] = { 4 };
int* fis_gRO[] = { fis_gRO0, fis_gRO1, fis_gRO2, fis_gRO3,
fis_gRO4, fis_gRO5, fis_gRO6, fis_gRO7, fis_gRO8, fis_gRO9,
fis_gRO10, fis_gRO11 };

// Input range Min
FIS_TYPE fis_gIMin[] = { -0.25, -0.05 };

// Input range Max
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 1.5, 0.05 };

// Output range Min
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { 0 };

// Output range Max

```

```

FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 25 };

//*****
//*****
// Data dependent support functions for Fuzzy Inference System
//*****
//*****

FIS_TYPE fis_MF_out(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, FIS_TYPE
x, int o)
{
    FIS_TYPE mfOut;
    int r;

    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        int index = fis_gRO[r][o];
        if (index > 0)
        {
            index = index - 1;
            mfOut = (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x,
fis_gMFOCoeff[o][index]);
        }
        else if (index < 0)
        {
            index = -index - 1;
            mfOut = 1 - (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x,
fis_gMFOCoeff[o][index]);
        }
        else
        {
            mfOut = 0;
        }
    }
}

```

```

    }

    fuzzyRuleSet[0][r] = fis_min(mfOut, fuzzyRuleSet[1][r]);
}
return fis_array_operation(fuzzyRuleSet[0], fis_gcR, fis_max);
}

```

```

FIS_TYPE fis_defuzz_centroid(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, int
o)

```

```

{
    FIS_TYPE step = (fis_gOMax[o] - fis_gOMin[o]) /
(FIS_RESOLUTION - 1);
    FIS_TYPE area = 0;
    FIS_TYPE momentum = 0;
    FIS_TYPE dist, slice;
    int i;

```

```

// calculate the area under the curve formed by the MF outputs

```

```

for (i = 0; i < FIS_RESOLUTION; ++i){
    dist = fis_gOMin[o] + (step * i);
    slice = step * fis_MF_out(fuzzyRuleSet, dist, o);
    area += slice;
    momentum += slice*dist;
}

```

```

return ((area == 0) ? ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2) :
(momentum / area));
}

```

```

/*****
*****

```

```

// Fuzzy Inference System
//*****
*****
void fis_evaluate()
{
    FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gcI] = { fuzzyInput0, fuzzyInput1,
};
    FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gcO] = { fuzzyOutput0, };
    FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires };
    FIS_TYPE sW = 0;

    // Transforming input to fuzzy Input
    int i, j, r, o;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        for (j = 0; j < fis_gIMFCount[i]; ++j)
        {
            fuzzyInput[i][j] =
                (fis_gMF[fis_gMFI[i][j]])(g_fisInput[i],
fis_gMFCoeff[i][j]);
        }
    }

    int index = 0;
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {

```

```

if (fis_gRType[r] == 1)
{
    fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        index = fis_gRI[r][i];
        if (index > 0)
            fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
        else if (index < 0)
            fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
        else
            fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1);
    }
}
else
{
    fuzzyFires[r] = FIS_MIN;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        index = fis_gRI[r][i];
        if (index > 0)
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
        else if (index < 0)
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
        else
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 0);
    }
}

```

```

    }

    fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
    sW += fuzzyFires[r];
}

if (sW == 0)
{
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2);
    }
}
else
{
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = fis_defuzz_centroid(fuzzyRuleSet, o);
    }
}
}
}

```

c. Program Sampling pH

```

void pH_sampling()
{
    if(millis()-samplingTime > samplingInterval)
    {

        pHArray[pHArrayIndex++]=analogRead(SensorPin);
        if(pHArrayIndex==ArrayLenth)pHArrayIndex=0;
        voltage = avergearray(pHArray, ArrayLenth)*4.9/1024;
        pHValue =
        pHConversion(voltage,v_p10,v_p7,v_p4,temp,temp_cal);
    }
}

```

```

    if(sampling){
        fuzzy();
    }

    samplingTime=millis();
}

}
double avergearray(int* arr, int number){
    int i;

    int max,min;
    double avg;
    long amount=0;

    if(number<=0){
        Serial.println("Error number for the array to
avraging!/n");
        return 0;
    }

    if(number<5){ //less than 5, calculated directly statistics

        for(i=0;i<number;i++){
            amount+=arr[i];
        }

        avg = amount/number;
        return avg;
    }
}

```

```

}
else{
    if(arr[0]<arr[1]){
        min = arr[0];max=arr[1];
    }
    else{
        min=arr[1];max=arr[0];
    }

    for(i=2;i<number;i++){
        if(arr[i]<min){
            amount+=min;    //arr<min
            min=arr[i];
        }else {
            if(arr[i]>max){
                amount+=max;    //arr>max
                max=arr[i];
            }else{
                amount+=arr[i]; //min<=arr<=max
            }
        } //if
    }
    avg = (double)amount/(number-2);
}

return avg;
}
}

```

d. Program actuator (Pump)

```

void set_pwm(int duty){
    analogWrite(PWM_PIN, val_duty);

```



```
}

void print_sampling(){
    Serial.print(millis() - printTime);
    Serial.print(" Sampling ");
    Serial.print(pHValue);
    Serial.print("|");
    Serial.print(Error_pH);
    Serial.print("|");
    Serial.print(output_time);
    Serial.println("|");
}

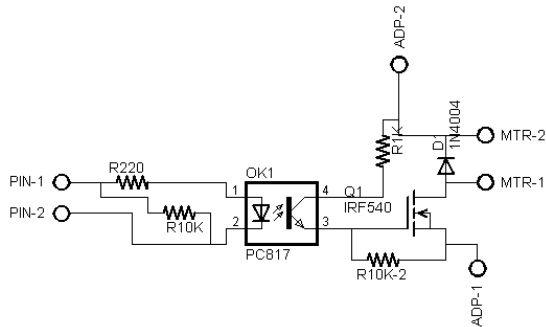
void print_fuzzy(){
    Serial.print(millis() - printTime);
    Serial.print(" Fuzzy OK ");
    Serial.print(pHValue);
    Serial.print("|");
    Serial.print(Error_pH);
    Serial.print("|");
    Serial.print(output_time);
    Serial.println("|");
}
```

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN B DATA SHEET

- **Driver Motor**

Untuk mengendalikan *flowrate* yang dihasilkan dengan cara mengatur besar PWM yang masuk pada pompa, dan dibutuhkan *driver motor* agar dapat mengendalikan PWM. Berikut ini rancangan driver motor yang digunakan.



Gambar 1 Rangkaian *driver motor*

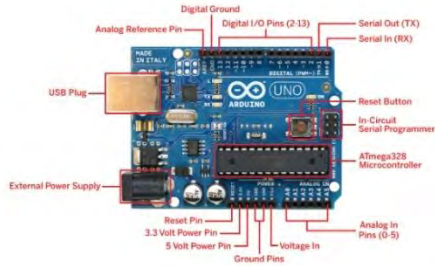
Driver motor ini terdiri dari beberapa komponen yaitu :

Tabel B-1 List komponen motor *driver*

Komponen	Jumlah
R 220 ohm	1
R 10K	2
R 1K	1
PC 817	1
IRF 540	1

- **Arduino Uno**

Arduino Uno: digunakan sebagai kontroller yang didalamnya terdapat kendali logika fuzzy yang digunakan sebagai kontrol pH pada bak nutrisi, yang memberikan tegangan keluaran pada rangkaian *driver motor* agar mengatur besar kecilnya *flowrate*.



Gambar 2 konfigurasi pin Arduino uno

Keterangan :

Berikut beberapa pin yang digunakan pada sistem :

- Pin Analog In : pin analog in digunakan sebagai pembacaan analog dari sensor pH.
- Pin Digital I/O : pada pin digital 2-13 ada beberapa pin yang akan digunakan sebagai pengendali tegangan keluaran yang akan masuk pada *driver motor*.
- Pin Ground : sebagai ground
- USB Port : sebagai koneksi via komputer
- 5V power pin : digunakan sebagai vcc pada rangkaian sensor.
- **Plant HTCDBS**



Gambbar 3 Plant hidroponik *dutch bucket*



Gambar 4. Aktuator pompa dan elektrik.

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN C
PENGAMBILAN DATA KALIBRASI

Tabel C-1 Data Kalibrasi

Xstd	PembacaanBerulang (Xi)										xibar	yi (koreksi)	yibar
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
5	5	5	4.95	4.95	4.99	4.98	4.98	4.97	4.97	4.98	4.977	0.023	-0.03
7	7.12	7.13	7.13	7.13	7.14	7.15	7.14	7.15	7.14	7.15	7.138	-0.138	
11	10.98	10.98	10.98	10.98	11	11	11	10.97	10.97	11	10.975	0.025	

- Rata-rata (\bar{y}_i) = $\frac{\sum y_i}{n}$

$$\bar{y}_i = \frac{-0.09}{3}$$

$$\bar{y}_i = -0.03 \text{ volt}$$
- Standart Deviasi (σ) = $\sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2}{n}}$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(0.023 - (-0.03))^2 + \dots}{3}}$$

$$\sigma = 0.0763719 \text{ Volt}$$

Sehingga Standar Deviasi dari pH meter yang digunakan pada pengendalian ini adalah ± 0.0763719

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN D

- **Data Pengendalian pH**

Berikut ini beberapa data hasil pengendalian pH dengan *error* awal 0.14 pH :

Tabel D-1 Hasil monitoring data Pengendalian pH pada nutrisi

Action	Sp	pH Value	Error	Del_er	Output Fuzzy
Sampling	6.25	5	1.25	-0.12	12500
Sampling	6.25	5.13	1.12	-0.14	12500
Sampling	6.25	5.26	0.99	-0.13	12500
Sampling	6.25	5.37	0.88	-0.11	12500
Sampling	6.25	5.51	0.74	-0.13	12500
Sampling	6.25	5.64	0.61	-0.13	12500
Sampling	6.25	5.76	0.49	-0.12	12500
Sampling	6.25	5.88	0.37	-0.12	12500
Sampling	6.25	6.01	0.24	-0.14	12500
Sampling	6.25	6.11	0.14	-0.13	12500
Sampling	6.25	6.11	0.14	0	5723
Sampling	6.25	6.11	0.14	0	5537
Sampling	6.25	6.12	0.13	0.02	13581
Sampling	6.25	6.12	0.13	-0.02	5906
Sampling	6.25	6.15	0.1	-0.01	3367
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	3066
Sampling	6.25	6.14	0.11	0.01	8203
Sampling	6.25	6.15	0.1	-0.01	4863
Sampling	6.25	6.16	0.09	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.01	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	1999
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.02	2000

Tabel D-1 Lanjutan

Action	Sp	pH Value	Error	Del_er	Output Fuzzy
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.01	2130
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.02	1999
Sampling	6.25	6.14	0.11	0.03	6145
Sampling	6.25	6.15	0.1	-0.01	3323
Sampling	6.25	6.15	0.1	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.01	2606
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	1999
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.02	1999
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.02	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.14	0.11	0.01	5157
Sampling	6.25	6.15	0.1	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.03	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.02	2000

Tabel D-1 Lanjutan

Action	Sp	pH Value	Error	Del_er	Output Fuzzy
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.01	1999
Sampling	6.25	6.17	0.08	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.01	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.14	0.11	0.02	7756
Sampling	6.25	6.15	0.1	-0.01	2370
Sampling	6.25	6.16	0.12	0.02	10772
Sampling	6.25	6.15	0.1	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.01	4360
Fuzzy	6.25	6.16	0.1	0.02	4153
Fuzzy	6.25	6.16	0.1	0.02	4153
Fuzzy	6.25	6.16	0.1	0.02	4153
Fuzzy	6.25	6.16	0.1	0.02	4153
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.03	2000
Sampling	6.25	6.18	0.07	0	1999
Sampling	6.25	6.17	0.08	0.01	1999
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.02	2000
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.02	1999
Sampling	6.25	6.17	0.08	0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.01	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.01	1999
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.02	1999
Sampling	6.25	6.17	0.08	0.01	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.02	1999

Tabel D-1 Lanjutan

Action	Sp	pH Value	Error	Del_er	Output Fuzzy
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.02	1999
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.18	0.07	0	2000
Sampling	6.25	6.19	0.06	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	0.02	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	0.01	1999
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	0	2000
Sampling	6.25	6.18	0.07	0	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.02	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.02	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.02	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.02	2000

Tabel D-1 Lanjutan

Action	Sp	pH Value	Error	Del_er	Output Fuzzy
Sampling	6.25	6.18	0.07	0.01	1999
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.02	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	0	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	0	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.01	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.02	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	0	1999
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.02	3066
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000

Tabel D-1 Lanjutan

Action	Sp	pH Value	Error	Del_er	Output Fuzzy
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	0	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.02	4360
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.02	1999
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.02	1999
Fuzzy	6.25	6.17	0.07	-0.02	1999
Fuzzy	6.25	6.16	0.07	-0.02	1999
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.04	6817
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.17	0.08	0	1999
Sampling	6.25	6.14	0.11	0.02	5723
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	4060
Sampling	6.25	6.17	0.08	-0.02	1999
Sampling	6.25	6.15	0.1	0.02	1999
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	2000
Sampling	6.25	6.15	0.1	0	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	-0.01	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	2000
Sampling	6.25	6.16	0.09	0.01	1999
Sampling	6.25	6.16	0.09	0	1999
Sampling	6.25	6.18	0.07	-0.02	2000

Tabel D-1 Lanjutan

Action	Sp	pH Value	Error	Del_er	Output Fuzzy
Sampling	6.25	6.17	0.08	0	2000
Sampling	6.25	6.2	0.05	0	2000
Sampling	6.25	6.19	0.06	0.01	2000
Sampling	6.25	6.2	0.05	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.2	0.05	0	2000
Sampling	6.25	6.22	0.03	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.22	0.03	0	2000
Sampling	6.25	6.22	0.03	0	1999
Sampling	6.25	6.22	0.03	0	2000
Sampling	6.25	6.2	0.05	0.02	1999
Sampling	6.25	6.21	0.04	-0.01	1999
Sampling	6.25	6.23	0.02	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.22	0.03	0.01	2000
Sampling	6.25	6.22	0.03	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.22	0.03	0	2000
Sampling	6.25	6.22	0.03	0	2000
Sampling	6.25	6.22	0.03	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.23	0.02	0	2000
Sampling	6.25	6.23	0.02	0	2000
Sampling	6.25	6.22	0.03	0.01	2000
Sampling	6.25	6.24	0.01	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.23	0.02	0	2000
Sampling	6.25	6.23	0.02	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	-0.02	1999
Sampling	6.25	6.22	0.03	0.02	2000
Sampling	6.25	6.25	0	-0.03	2000
Sampling	6.25	6.24	0.01	0.01	2000

Tabel D-1 Lanjutan

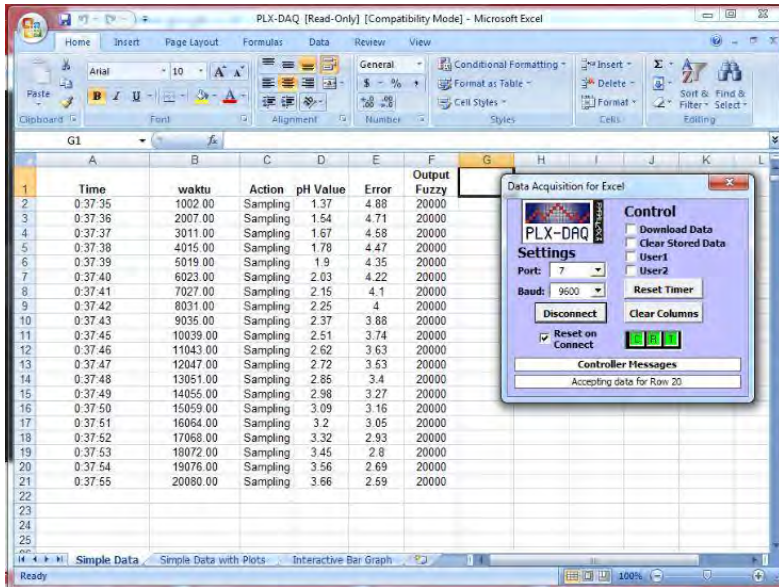
Action	Sp	pH Value	Error	Del_er	Output Fuzzy
Sampling	6.25	6.25	0	-0.01	1999
Sampling	6.25	6.26	-0.01	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.24	0.01	0.02	1999
Sampling	6.25	6.26	-0.01	-0.03	2000
Sampling	6.25	6.24	0.01	0.02	2000
Sampling	6.25	6.25	0	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.23	0.02	0.02	2000
Sampling	6.25	6.24	0.01	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	-0.02	1999
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0.01	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0.01	1999
Sampling	6.25	6.26	-0.01	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0.01	1999
Sampling	6.25	6.26	-0.01	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0.01	2000
Sampling	6.25	6.26	-0.01	0	1999
Sampling	6.25	6.25	0	0.01	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	1999
Sampling	6.25	6.25	0	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	1999
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000

Tabel D-1 Lanjutan

Action	Sp	pH Value	Error	Del_er	Output Fuzzy
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	1999
Sampling	6.25	6.25	0	0	1999
Sampling	6.25	6.26	-0.01	-0.01	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.26	-0.01	0	1999
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.24	0.01	0.01	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	1999
Sampling	6.25	6.25	0	0.02	1999
Sampling	6.25	6.25	0	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.24	0.01	0.01	1999
Sampling	6.25	6.25	0	-0.02	1999
Sampling	6.25	6.25	0	0.01	2000
Sampling	6.25	6.25	0	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0.01	2000
Sampling	6.25	6.25	0	0	2000
Sampling	6.25	6.24	0.01	0.02	2000
Sampling	6.25	6.25	0	-0.02	2000
Sampling	6.25	6.24	0.01	0.02	2000
Sampling	6.25	6.25	0	-0.02	1999
Sampling	6.25	6.25	0	0.01	2000
Sampling	6.25	6.25	0	-0.01	1999

- **Monitoring Data Pengendalian pH**

Monitoring data pada tugas akhir ini menggunakan software PLX-DAQ. Berikut merupakan tampilan monitoring data dengan software PLX DAQ :



Gambar 5 Monitoring data pengendalian pH

PLX DAQ merupakan software yang dapat terhubung dengan Arduino, dan dapat menyimpan atau merecord data dari Arduino kedalam excel.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Telah berhasil dibuat *hardware* pengendalian pH pada tomat *cherry hydroponic dutch bucket system* yang mampu menjaga kestabilan dengan metode Kendali Logika Fuzzy. Telah dirancang metode kendali logika fuzzy dengan 2 masukan dan 1 keluaran yang memiliki 4 fungsi keanggotaan.
2. Dengan melakukan pengujian pada *hardware*, dengan *error* awal pH 1.41 diperoleh performansi *time delay* (t_d) 10 detik, *rise time* 201 detik, *settling time* 468 detik, *error steady state* 0.601, RMSE 0.477, dan tidak terjadi *maximum overshoot* serta *peak time* 0 detik, pada semua pengujian yang dilakukan *maximum overshoot* 0 dan *peak time* 0 detik. Pada pengujian *disturbance* dengan perubahan nilai *error* dengan *error* pH awal 1.16 sistem memiliki indeks performansi *time delay* (t_d) 2 detik, *rise time* 109 detik, *settling time* 247 detik, *error steady state* 0.68, RMSE 0.37, dan tidak terjadi *maximum overshoot* serta *peak time* 0 detik, Kemudian sistem diberi gangguan sehingga nilai pH sistem menjadi turun dari 6.25 menjadi 6.04, dimana terjadi mulai pada detik ke 450 sampai dengan detik ke 522, kemudian sistem melakukan aksi untuk menuju *setpoint* kembali, pada detik ke 670 sistem dapat mencapai *setpoint* 6.25 dengan *settling time* 43 detik. Pengujian *Disturbance* menunjukkan bahwasanya ketika terjadi perubahan *error* dan *error*nya masih pada rentang desain KLF, maka sistem akan bekerja untuk mengontrol pH untuk selalu pada *setpoint* acuan. Pengujian terhadap *tracking setpoint* menunjukkan bahwasanya respon sistem dapat mengikuti perubahan *setpoint* yang telah ditentukan. Larutan nutrisi yang tidak ada pengendaliannya, pH nya akan cenderung menurun jika digunakan secara terus menerus. Sedangkan dengan kontrol logika fuzzy, pH pada larutan

nutrisi dapat dikontrol pada level *setpoint* yang telah ditentukan.

5.2 Saran

Adapun saran pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pompa yang digunakan untuk kontrol aliran pH up dengan menggunakan dosing pump.
2. *Green House* atau kerangka sistem hidroponik disesuaikan dengan tinggi tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, M. (2015). Diversifikasi Konsumsi Pangan di Indonesia, (70), 118–131.
- Domingues, D. S., Takahashi, H. W., Camara, C. A. P., & Nixdorf, S. L. (2012). Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 53–61. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006>
- Monnet, F., Vaillant, N., Hitmi, A., Vernay, P., Coudret, A., & Sallanon, H. (2002). Treatment of domestic wastewater using the nutrient film technique (NFT) to produce horticultural roses. *Water Research*, 36(14), 3489–3496. [http://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00058-1](http://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00058-1)
- Roberto, K. (2003). *How To Hydroponics* (4th ed.). The Futuregarden Press. Retrieved from www.futuregarden.com
- Spinu, V. C., Langhans, R. W., & Albright, L. D. (1998). Electrochemical pH control in hydroponic systems. *Acta Horticulturae*, 456(3), 275–282.
- Suharyanto, H., Seminar, K. B., Chadirin, Y., & Setiawan, B. I. (2010). Development Of A pH Control System For Nutrient Solution In Ebb And Flow Hydroponic Culture Based On Fuzzy Logic, (March 2016). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/266293575_Development_Of_A_Ph_Control_System_For_Nutrient_Solution_In_Ebb_And_Flow_Hydroponic_Culture_Based_On_Fuzzy_Logic
- Ashton, J., & Geary, L. (2005). The Effects of Temperature on pH Measurement. *Tsp*, 1(2), 1–7. Retrieved from http://www.reagecon.com/pdf/technicalpapers/Effects_of_Temperature_on_pH_v4-_TSP-01-2.pdf
- Cordova, H., Purwani, K. I., & Nurhidayati, T. (2009). Hibah Penelitian Strategis Nasional Its Pengembangan Sistem Multi Kontrol Ph (Non-Linier), Intensitas Radiasi Matahari

- Dan Kelembapan Untuk Kecepatan Tumbuh Lettuce Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2009, (April), 1–89.
- Gheibi, A., Mohammadi, S. M. A., & Maghfoori, M. (2011). Maximum power point tracking of photovoltaic generation based on the type 2 fuzzy logic control method. *Energy Procedia*, 12, 538–546. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.10.073>
- Melvix, L., & Sridevi. (2014). Design of Efficient Hydroponic Nutrient Solution Control System using Soft Computing based Solution Grading. *2014 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (TCCPETC)*.
- Ministry of Agriculture. (1994). *Hydroponics*. Sri Lanka: Department of Agriculture Sri Lanka.
- Nuevaespana, J., & Matias, J. R. (2014). Comparison of the physical profile of Klayton and LECA as media for aquaponics.
- Phutthisathian, A., Pantasen, N., & Maneerat, N. (2011). Ontology-based nutrient solution control system for hydroponics. *Proceedings - 2011 International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control, IMCCC 2011*, (1), 258–261. <http://doi.org/10.1109/IMCCC.2011.260>
- Recktenwald, G. (2011). PWM output Arduino, 7.
- Saelan, A. (2009). Logika Fuzzy, (13508029), 1–5.
- Sulistiyani. (2015). Konsep Materi. *Universitas Negeri Yogyakarta*, pp. 1–15. Yogyakarta.
- Sutikno. (2010). Studi Kasus Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC, 1–10.
- Ylén, Jean-P. (2001). *Measuring , Modelling And Controlling The Ph. Control Engineering*.

BIODATA PENULIS



Nama Penulis Wilujeng Fitri Alfiah dilahirkan di Kabupaten Ngawi tanggal 18 Maret 1993 dari ayah yang bernama Sutrisno dan Ibu bernama Suparmi. Saat ini penulis tinggal di Dusun Suka Maju, Desa Belonsat RT.010/RW.003, Kec. Belimbing, Kab.Melawi, Provinsi Kalimantan Barat. Pada tahun 2005 penulis telah menyelesaikan pendidikannya di SDN 2 Karanganyar-Ngawi. Kemudian pada tahun 2008 telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 2 Karanganyar-Ngawi. Tahun 2011 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di MAN 2 Madiun , pada tahun 2014 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat Diploma di Jurusan Teknik Fisika Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi FTI-ITS dan melanjutkan S1 Jurusan Teknik Fisika ITS. Pada bulan Juli 2016 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ***IMPLEMENTASI KONTROL LOGIKA FUZZY(KLF) DALAM PENGENDALIAN KADAR KEASAMAN(pH) HYDROPONIC DUTCH BUCKET SYSTEM PADA TOMAT CHERRY.*** Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir maka dapat menghubungi penulis melalui email wilujeng.ep11@gmail.com.