

RANCANG BANGUN OTOMATISASI KONTROL SUHU, KELEMBAPAN DAN INTENSITAS CAHAYA PADA BUDIDAYA PAK CHOY (BRASSICA CHINENSIS L.) HIDROPONIK BERBASIS LOGIKA FUZZY

TESIS

Untuk Memenuhi Persyaratan

Memperoleh Gelar Magister

PROGRAM STUDI MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN



CHOIRUL UMAM

166100300011003

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2019



TESIS

**Rancang Bangun Otomatisasi Kontrol Suhu, Kelembapan dan
Intensitas Cahaya pada Budidaya PAKCOY (*BRASSICA CHINENSIS*)
Hidroponik Berbasis Logika Fuzzy**

Oleh :

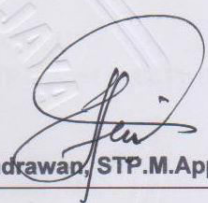
Choirul Umam

Dipertahankan di depan penguji
Pada Tanggal **09 Januari 2019**
Dan dinyatakan memenuhi syarat

Komisi Pembimbing,


Dr. Ir. Sapdra Malin Sutan, MP

Ketua


Yusuf Hendrawan, STP.M.App.Life.Sc., Ph.D

Anggota

Anggota

Malang,

Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Brawijaya

Dekan,


Dr. Ir. Sudarminto Setyo Yuwono, M.App.Sc

NIP. 19631216 198803 1 002



IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul Tesis : Rancang Bangun Otomatisasi Kontrol Suhu, Kelembapan dan Intensitas Cahaya Pada Budidaya Pakcoy (*Brassica Chinensis L.*) Hidroponik Berbasis Logika Fuzzy.

Nama Mahasiswa : Choirul Umam

NIM : 166100300011003

Minat Ilmu Studi : Keteknikan Pertanian

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Universitas : Brawijaya

TIM DOSEN PEMBIMBING

1. Pembimbing I : Dr. Ir. Sandra Malin Sutan, MP

2. Pembimbing II : Yusuf Hendrawan, STP. M.App. Life. Sc. Ph.D.

TIM PENGUJI

1. Penguji I : Dr. Ir. Gunomo Djojowasito, MS

2. Penguji II : Dr. Ir. Anang Lastriyanto, M.Si.

Tanggal Pengujian : 9 Januari 2019



PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah TESIS ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah TESIS ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia TESIS ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 20 FEBRUARI 2019

Mahasiswa



Nama : CHOIRUL UMAM
NIM : 166100300011003
PS : KETEKNIAKN PERTANIAN
PPSFTPUB

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Banyuwangi 18 Januari 1995, merupakan anak ke empat dari empat bersaudara. Penulis lahir dari ayah yang bernama Mis Aditoha dan (Alm.) Ibu Qoyyumiyah.

Penulis menyelesaikan Pendidikan Taman Kanak-kanak di TK Khodijah 100 Genteng Banyuwangi pada tahun 2000, pendidikan Sekolah Dasar di SDI Kebunrejo Genteng

Banyuwangi pada tahun 2001 sampai pada tahun 2007, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Genteng pada tahun 2007 sampai pada tahun 2010 dan menyelesaikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Genteng Banyuwangi pada tahun 2010 sampai tahun 2013. Penulis kemudian melanjutkan sekolah ke jenjang Strata 1 perguruan tinggi di Universitas Brawijaya Malang Jurusan Keteknikan Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian pada tahun 2013-2017. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan magister di Universitas Brawijaya Malang tahun ajaran genap 2016, kekhususan studi Mesin Agro Biosistem (MAB), Jurusan Keteknikan Pertanian Universitas Brawijaya. Penulis berhasil menyelesaikan studi magister pada tahun 2019 dengan judul tesis **“Rancang Bangun Otomatisasi Kontrol Suhu, Kelembapan dan Intensitas Cahaya Pada Budidaya Pakcoy (*Brassica Chinensis L.*) Hidoponik Berbasis Logika Fuzzy”**.

Halaman Peruntukan

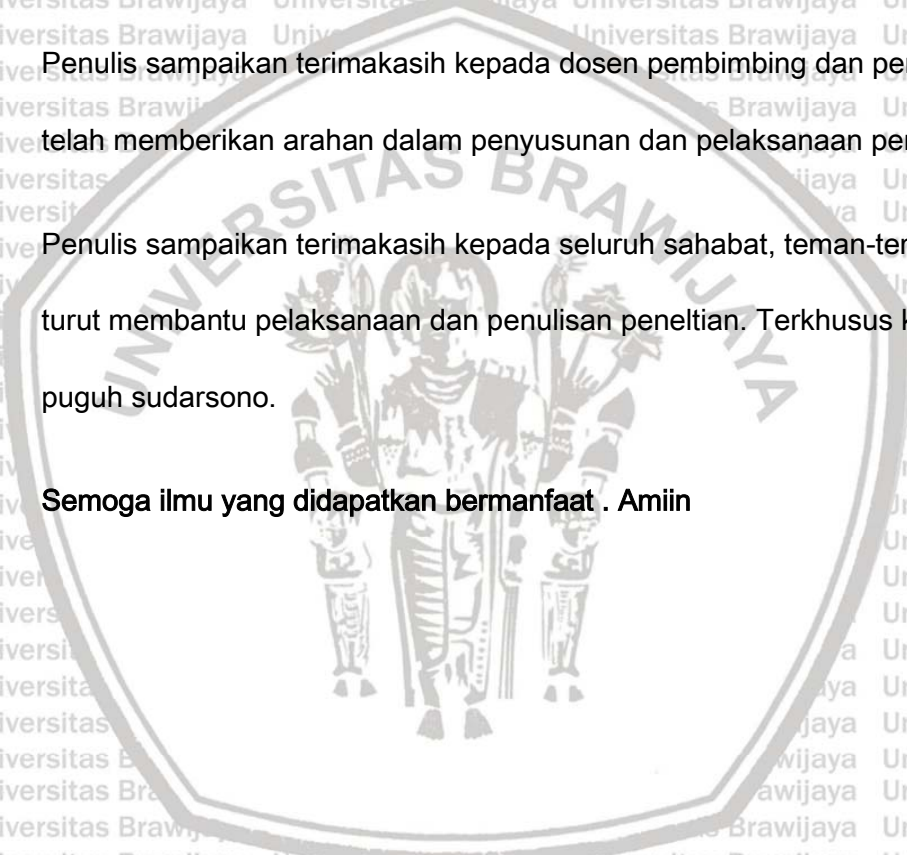
Alhamdulillah Ya Rabb

Penulis sampaikan terimakasih kepada kedua orang tua, dan kakak panulis yang selalu memberikan tiada henti berupa dukungan moral dan moril.

Penulis sampaikan terimakasih kepada dosen pembimbing dan penguji yang telah memberikan arahan dalam penyusunan dan pelaksanaan penelitian.

Penulis sampaikan terimakasih kepada seluruh sahabat, teman-teman yang telah turut membantu pelaksanaan dan penulisan peneltian. Terkhusus kepada cak pugu sudarsono.

Semoga ilmu yang didapatkan bermanfaat . Amiin



CHOIRUL UMAM. 166100300011003. RANCANG BANGUN OTOMATISASI KONTROL SUHU, KELEMBAPAN DAN INTENSITAS CAHAYA PADA BUDIDAYA PAK CHOY (*BRASSICA CHINENSIS L.*) HIDROPONIK BERBASIS LOGIKA FUZZY.

Pembimbing : 1. Dr. Ir. Sandra Malin Sutan, MP,
2. Yusuf Hendrawan, STP.M.App.Life.Sc.Ph.D

RINGKASAN

Hidroponik merupakan salah satu metode bercocok tanam yang sedang digemari masyarakat Indonesia. Sistem hidroponik tidak mengenal musim dan tidak memerlukan lahan yang luas dibandingkan dengan kultur tanah untuk menghasilkan satuan produktivitas yang sama (Mas'ud, 2009). Dibalik potensinya kedepan yang sangat besar dan penerapan teknologi hidroponik yang terus berkembang pesat, terdapat beberapa masalah yang perlu diatasi. Masalah pertama, tanaman hidrponik masih sangat tergantung pada cahaya, suhu dan kelembapan, disaat cahaya matahari kurang optimal bisa dipastikan kualitas tanaman akan turun dan pasti harga jual tanaman akan turun. Masalah kedua, mengingat hidroponik banyak diterapkan dengan metode tanam vertikal, kualitas tanaman yang di bagian atas dan bawah sangat berbeda. Masalah ketiga adalah perlunya bertanam hidroponik yang mudah dan simpel, singkat kata di masyarakat dibutuhkan ber-hidroponik yang otomatis dan terkontrol mulai dari semai tanaman, masa tanam dan panen yang tentunya dengan kualitas tanaman yang sangat baik. Dari permasalahan diatas, penulis akan melakukan penelitian dengan judul " Rancang Bangun Otomatisasi Kontrol Suhu, Kelembapan Dan Intensitas Cahaya Pada Budidaya *PAK CHOY (Brassica Chinensis L.)* Hidroponik Berbasis Logika Fuzzy".

Sistem kontrol tingkat pencahayaan/intensitas cahaya berbasis logika fuzzy didapatkan dengan nilai PWM (Pulse Width Modulation) 872.1662 untuk set point intensitas cahaya sebesar 8000 LUX. Dengan nilai rata-rata nilai error; positive error 15.37 LUX (0.192%) dan negative error 30.66 LUX (0.386%). Sistem kontrol suhu dan kelembapan cahaya logika fuzzy didapatkan dengan nilai PWM (Pulse Width Modulation) 686.4738 pada set point suhu 280C. Dengan nilai rata-rata error; positive error 0.06280C (0.225%) dan negative error 0. Hasil panen panen tanaman PAK CHOY (*Brassica Chinensis L.*) berbasis logika fuzzy adalah

sebagai berikut : tinggi tanaman 20.25 cm; lebar daun tanaman 6.95 cm; jumlah daun tanaman 12.25 buah; bobot segar tajuk 93.625 gr; bobot segar akar 11.4 gr; bobot total 105.025 gr; bobot kering total 18.575 gr; luas daun 25.4125; indeks luas daun 0.03975; klorofil daun 59.94167; penyeangkapan cahaya 43.2; ketebalan daun 0.4775; dan indeks sampah 0.89.

Kata Kunci : Hidroponik, Logika Fuzzy, PAK CHOY, PWM



CHOIRUL UMAM. 166100300011003. DESIGN OF AUTOMATED TEMPERATURE CONTROL, HUMIDITY AND LIGHT INTENSITY IN HYDROPONICS SYSTEM BASED FUZZY LOGIC.

**Supervisor : 1. Dr. Ir. Sandra Malin Sutan, MP,
2. Yusuf Hendrawan, STP.M.App.Life.Sc.Ph.D**

SUMMARY

Hydroponics is one method of farming is being favored Indonesia society. Hydroponic system knows no season and no need for extensive land compared to the culture of the land to produce the same unit of productivity (Mas'ud, 2009). Behind its potential in the future and the implementation of a hydroponic technology continues to evolve rapidly, there are several issues that need to be addressed. The first problem, the plant hidrponik is still very dependent on light, temperature and humidity, when the sunlight is less optimal can be sure the quality of the plants will go down and the plant's sale price will surely drop. The second issue, given many hydroponic methods applied by planting vertically, the quality of the plants that are on the top and bottom are very different. The third issue is the need for hydroponic cultivation that is easy and simple, short words in the community needed air-controlled automatic and a hydroponics ranging from planting period for crops, and harvest the crop quality is certainly very good. From the above problems, the author will conduct research under the title "Architecture of automation control of temperature, Humidity And light intensity On the cultivation of PAK CHOY (Brassica Chinensis L.) Hydroponics-Based Fuzzy Logic ".

Level control system of lighting/light intensity-based fuzzy logic PWM value obtained (Pulse Width Modulation) 872.1662 for set point light intensity of 8000 LUX. With the value of the average values of the error; positive error 0192 LUX (15.37%) and negative error LUX (0386 30.66%). Control system of temperature and humidity light fuzzy logic PWM value obtained (Pulse Width Modulation) 686.4738 on the set point temperature of 280C. With an average value of error; positive error 0.06280 0225 C (%) and negative error 0. Harvest harvest PAK CHOY (Brassica Chinensis L.) based fuzzy logic is as follows: high plant 20.25 cm; wide leaf plants 6.95 cm; the number of plant leaf 12.25 fruit; the fresh weight of the heading 93,625 gr; fresh root weight 11.4 grams; the total weight of

105,025 gr; the total dry weight of 18,575 gr; the broad leaves of 25.4125, the broad leaves index 0.03975; 59.94167 leaf chlorophyll; illegal confinement of light 43.2; the thickness of the leaf 0.4775; and trash index 0.89.

Keywords: Hydroponic, Fuzzy Logic, PAK CHOY, PWM



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah Tuhan yang Maha Esa atas segala Rahmat, Nikmat dan Berkah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul : Rancang Bangun Otomatisasi Kontrol Suhu, Kelembapan Dan Intensitas Cahaya Pada Budidaya PAK CHOY (*Brassica Chinensis L.*) Hidroponik Berbasis Logika Fuzzy. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister.

Pada kesempatan ini penyusun mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Sandra Malin Sutan, MP dan. selaku dosen pembimbing I dan Yusuf Hendrawan, STP.M.App.Life.Sc.Ph.D selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu, dan pengetahuan kepada penulis.
2. Dr. Ir. Gunomo Djojowasito, MS selaku dosen penguji I dan Dr. Ir. Anang Latriyanto M.Si selaku dosen penguji II yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis.
3. Dr.Ir. Ir. Sandra Malin Sutan, MP selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Keteknikan Pertanian.
4. Kedua Orang tua penulis, yang selalu mendoakan, mensupport moril, materil , dan memberi semangat yang tiada hentinya kepada penulis.
5. Kedua kakak penulis, yang selalu sabar dan telaten terhadap penulis dalam segala hal.
6. Teman-teman Pascasarjana 2016 dan 2017 yang telah memberikan bantuan dan semangat penulis dalam penyelesaian TA ini.
7. Dolor-dolor VBT 717 yang selalu memberi lecutan semangat dan motivasi kepada penulis.

Menyadari adanya keterbatasan pengetahuan, referensi dan pengalaman, penyusun mengharapkan saran dan masukan di masa mendatang.

Akhirnya harapan penyusun semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penyusun maupun semua pihak yang membutuhkan.

Malang, 20 Desember 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
IDENTITAS TIM PENGUJI	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
HALAMAN PERUNTUKAN	v
RINGKASAN	vi
SUMMARY	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	4
2.1 Hidroponik	4
2.2 Tanaman PAK CHOY (<i>Brassica Chinensis L.</i>)	5
2.3 Mikrokontroler Arduino Mega 2560	6
2.4 Sensor	7
2.4.1 Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT22)	7
2.4.2 Sensor Cahaya LUX Meter	8
2.5 Aktuator	9
2.5.1 Aktuator Cahaya (LED / Light Emitting Diodes)	9
2.5.2 Aktuator Suhu dan Kelembapan	11
2.6 Logika Fuzzy	12
2.6.1 Komponen Logika Fuzzy	12
2.6.2 Fungsi Keanggotaan Logika Fuzzy	14





2.6.3 Cara Kerja Logika <i>Fuzzy</i>	16
2.7 Cahaya dan Fotosintesis.....	18
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN	20
3.1 Kerangka Konseptual Penelitian.....	20
3.2 Kerangka Operasional Penelitian.....	20
BAB IV METODE PENELITIAN	21
4.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	21
4.2 Alat dan Bahan.....	21
4.2.1 Alat.....	21
4.2.2 Bahan.....	23
4.3 Rancangan Alat.....	23
4.4 Rancangan Fungsional.....	27
4.5 Diagram Rancangan Alat.....	30
4.6 Rancangan Sistem Kerja Alat.....	31
4.7 Rancangan Kontrol Alat.....	34
4.8 Rancangan Elektronika.....	37
4.9 Diagram Blok Pengendalian Sistem Kerja Alat.....	39
4.10 Pengamatan Hasil Pertumbuhan dan Panen Tanaman.....	40
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
5.1 Perancangan Alat.....	41
5.1.1 Rancangan Struktural <i>Ruang Semi Plant-Factory</i>	41
5.1.2 Rancangan Fungsional <i>Ruang Ruang Semi Plant-Factory</i>	42
5.2 Rancangan Sistem Kontrol.....	46
5.2.1 Rancangan Sistem Elektrik <i>Ruang Semi Plant-Factory</i>	46
5.3 Nilai <i>Fuzzy</i>	55
5.3.1 Logika <i>Fuzzy</i> Suhu Dan Kelembapan.....	56
5.3.2 Logika <i>Fuzzy</i> Intensitas Cahaya.....	65
5.4 Pemrograman <i>Ruang Semi Plant-Factory</i>	77
5.5 Data <i>Ruang Semi Plant-Factory</i>	80
5.5.1 Pengujian Performansi <i>Ruang Semi Plant-Factory</i>	80
5.5.2 Data Monitoring Total <i>Ruang Semi Plant-Factory</i>	98
5.6 Data Pengamatan Nilai <i>Ec, Ph</i> Dan Nilai Konsumsi Nutrisi.....	102
5.6.1 Data Pengamatan Nilai <i>Electro Conductivity (EC)</i>	102
5.6.3 Data Pengamatan Nilai Konsumsi Nutrisi.....	104

5.7 Pengamatan Pertumbuhan Dan Panen Tanaman *PAK CHOY* (*Brassica Chinensis L.*) 106

5.7.1 Pengamatan Pertumbuhan Tinggi Tanaman..... 107

5.7.2 Pengamatan Pertumbuhan Lebar Daun Tanaman..... 109

5.7.3 Pengamatan Pertumbuhan Jumlah Daun Tanaman 110

5.7.4 Panen Tanaman *PAK CHOY*..... 111

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 117

6.1 Kesimpulan..... 117

6.2 Saran..... 117

DAFTAR PUSTAKA..... 119



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Panjang Gelombang dan Warna LED 11
Tabel 5. 1 Data Primer Uji Performa Ruang Semi Plant-Factory57
Tabel 5. 2 Basis Aturan Fuzzy Suhu dan Kelembapan..... 62
Tabel 5. 3 Data Uji Performa Intensitas Cahaya Ruang Semi Plant-Factory 66
Tabel 5. 4 Basis Aturan Fuzzy Intensitas Cahaya 71
**Tabel 5. 5 Standar Dropper Supermarket Sayuran Hidroponik Kota Malang
.....107**



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hidroponik Sistem NFT dan DFT5

Gambar 2. 2 Tanaman PAK CHOY6

Gambar 2. 3 Arduino Mega 25607

Gambar 2. 4 Sensor DHT22.....8

Gambar 2. 5 Sensor LUX meter.....9

Gambar 2. 6 Cara Kerja dan komponen LED..... 11

Gambar 2. 7 Humidifier dan Kipas12

Gambar 2. 8 Himpunan Fuzzy Variabel Suhu13

Gambar 2. 9 Kurva Keanggotaan Linier Naik14

Gambar 2. 10 Kurva Keanggotaan Linier Turun.....15

Gambar 2. 11 Kurva Keanggotaan Segitiga.....15

Gambar 2. 12 Kurva Keanggotaan Bahu.....16

Gambar 2. 13 Cara Kerja Logika Fuzzy16

Gambar 3. 1 Kerangka Konseptual Penelitian.....20

Gambar 3. 2 Kerangka Operasional Penelitian20

Gambar 4. 1 Rancangan Alat Tampak Depan24

Gambar 4. 2 Rancangan Alat Tampak Samping.....25

Gambar 4. 3 Rancangan Alat Tampak Atas26

Gambar 4. 4 Rancangan Alat27

Gambar 4. 5 Diagram Rancangan Alat30

Gambar 4. 6 Diagram Raancangan Sistem Kerja Alat32

Gambar 4. 7 Diagram Rancangan Persemaian Otomatis.....33

Gambar 4. 8 Variabel Himpunan Intensitas Cahaya34

Gambar 4. 9 Variabel Himpunan Suhu35

Gambar 4. 10 Variabel Himpunan Kelembapan.....36

Gambar 4. 11 Rancangan Elektronika37

Gambar 4. 12 Diagram Blok Pengendalian Intensitas Cahaya.....39

Gambar 4. 13 Diagram Blok Pengendalian Suhu39

Gambar 4. 14 Diagram Blok Pengendalian Kelembapan39

Gambar 5. 1 Bangunan Struktural *Ruang Semi Plant-Factory*.....41

Gambar 5. 2 Bangunan Struktural *Ruang Semi Plant-Factory*.....43

Gambar 5. 3 a. Hasil Rancangan Sistem Elektrik *Ruang Semi Plant-Factory*

b. Boks Kontrol46

Gambar 5. 4 LUX Meter.....50

Gambar 5. 5 Sensor DHT22.....51

Gambar 5. 6 Rangkaian LED.....52

Gambar 5. 7 Aktuator Kelembapan.....53

Gambar 5. 8 Aktuator Suhu	54
Gambar 5. 9 Tahapan Logika Fuzzy.....	55
Gambar 5. 10 Cara kerja logika Fuzzy	56
Gambar 5. 11 Himpunan Fuzzy Pada Variabel Suhu	58
Gambar 5. 12 Himpunan Fuzzy Pada Variabel Kelembapan.....	60
Gambar 5. 13 Himpunan Fuzzy Pada Variabel Cahaya	67
Gambar 5. 14 Himpunan Fuzzy Pada Variabel Terang	69
Gambar 5. 15 Grafik Nilai Intensitas Cahaya <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> Tanpa Kontrol.....	81
Gambar 5. 16 Grafik Nilai Suhu <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> Tanpa Kontrol..	82
Gambar 5. 17 Grafik Nilai Kelembapan <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> Tanpa Kontrol.....	82
Gambar 5. 18 Grafik Kondisi Intensitas Cahaya Ketika Aktuator Intensitas Cahaya/LED 100%.....	83
Gambar 5. 19 Grafik Kondisi Suhu Ketika Aktuator Intensitas Cahaya 100%	84
Gambar 5. 20 Grafik Kondisi Kelembapan Ketika Aktuator Intensitas Cahaya 100%	84
Gambar 5. 21 Grafik Kondisi Intensitas Cahaya Ketika Aktuator Suhu 100%	85
Gambar 5. 22 Grafik Kondisi Suhu Ketika Aktuator Suhu 100%.....	85
Gambar 5. 23 Grafik Kondisi Kelembapan Ketika Aktuator Suhu 100%	86
Gambar 5. 24 Grafik Kondisi Intensitas Cahaya Ketika Aktuator Kelembapan 100%	86
Gambar 5. 25 Grafik Kondisi Suhu Ketika Aktuator Kelembapan 100%	87
Gambar 5. 26 Grafik Kondisi Kelembapan Ketika Aktuator Kelembapan 100%	87
Gambar 5. 27 Grafik Pengujian Intensitas Cahaya <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> ke-1	88
Gambar 5. 28 Grafik Pengujian Intensitas Cahaya <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> ke-2	89
Gambar 5. 29 Grafik Pengujian Intensitas Cahaya <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> ke-3	90
Gambar 5. 30 Grafik Pengujian Suhu <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> ke-1	92
Gambar 5. 31 Grafik Pengujian Suhu <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> ke-2	93
Gambar 5. 32 Grafik Pengujian Suhu <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> ke-3	94
Gambar 5. 33 Grafik Pengujian Kelembapan <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> ke-1	95
Gambar 5. 34 Grafik Pengujian Kelembapan <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> ke-2	96
Gambar 5. 35 Grafik Pengujian Kelembapan <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> ke-3	96
Gambar 5. 36 Grafik Performa Intensitas Cahaya <i>Ruang Semi Plant-Factory</i>	98

Gambar 5. 37 Grafik Performa Suhu Ruang Semi Plant-Factory99

Gambar 5. 38 Grafik Performa Kelembapan Ruang Semi Plant-Factory 100

Gambar 5. 39 Grafik Nilai PPM Tanaman102

Gambar 5. 40 Grafik Nilai PPM Tanaman103

Gambar 5. 41 Grafik Nilai Konsumsi Nutrisi Tanaman.....105

Gambar 5. 42 a. Tanaman Logika Fuzzy b. Tanaman Logika ON/OFF c. Tanaman Kontrol.....106

Gambar 5. 43 Grafik Pertumbuhan Tinggi Tanaman107

Gambar 5. 44 Grafik Pertumbuhan Lebar Daun Tanaman109

Gambar 5. 45 Grafik Pertumbuhan Jumlah Daun Tanaman110

Gambar 5. 46 Grafik Bobot Segar Tajuk, Bobot Segar Akar dan Bobot Total111

Gambar 5. 47 Grafik Kering Total.....112

Gambar 5. 48 Grafik Luas Daun dan Indeks Luas Daun113

Gambar 5. 49 Grafik Klorofil Daun, Penyeangkapan Cahaya dan Ketebalan Daun.....114

Gambar 5. 50 Grafik Indeks Sampah115



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Parameter Pertumbuhan Tanaman <i>PAK CHOY</i>	102
Lampiran 2. Data Penelitian pendahuluan	103
Lampiran 3. Uji Performa <i>Ruang Semi Plant-Factory</i>	113
Lampiran 4. Hasil Performa <i>Ruang Semi Plant-Factory</i> 40 Hari	155
Lampiran 5. Data Penelitian Pertumbuhan Tanaman, Konsumsi Nutrisi, Nilai PPM dan Nilai pH 0-40 HST	156
Lampiran 6. Data Klorofil 20 HSS	159
Lampiran 7. Data Hasil Panen Tanaman Pak Choy	160
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian	162
Lampiran 9. Datasheet Komponen <i>Ruang Semi Plant-Factory</i>	166
Lampiran 10. Koding Ruang Semi <i>Plant Factory</i>	167
Lampiran 11. Tahapan Logika Fuzzy Penelitian	169
Lampiran 12. Data Ruang Semi Plant Factory	170
Lampiran 13. Skema Rangkaian Elektronika	178





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plant Factory di Jepang diawali pada periode tahun 1970-1980, tujuan agar dapat panen sayur sepanjang tahun, menggunakan lampu *sodium* bertekanan tinggi dan lampu *metal halide*, pada tahun tersebut masih belum bertanam *plant factory* secara bertingkat. Pada awal tahun 2000, baru dimulai bertanam *plant factory* secara bertingkat didalam kontainer menggunakan lampu *fluorescent*, mulai dari tahun 2009 sampai sekarang *plant factory* terus berkembang di Jepang. Tahun 2010 mulai dikembangkan sumber cahaya *plant factory* menggunakan *LED*, dengan beberapa kelebihanannya antara lain umur pakai 40.000 jam (setengah dari umur lampu *fluorescent*) dan hemat energi. Saat ini Jepang sudah bisa membuat *plant factory* skala terbesar didunia, mampu memproduksi 10.000 tanaman/hari (Nakamura, K., Shimizu, H. 2019). Dipimpin oleh Osaka prefecture University sejak tahun 2011, dengan gedung pusat riset yang terbaru adalah *Green Clocks New-Generation Plant Factory*. *GCN-GPF* ini mampu memproduksi sebesar 5000 tanaman/hari. Didalam *Green Clocks New-Generation Plant Factory* semua system hampir secara keseluruhan berlangsung secara otomatis, mulai dari persemaian, perawatan sampai panen dengan sumber energi terbarukan. Beberapa penekanan dari system *GCN-GPF* adalah pengembangan beberapa system dalam *plant factory* antara lain, system penanaman (system hidroponik, rak multilayer, bentuk rak tanaman, warna *LED*), pengontrolan oksigen udara (dikontrol suhu, kelembapan), pengontrolan *GCN-GPF* full otomatis (*PLC Programmable Logic Control*) dan komponen *peripheral* (otomatisasi komponen produksi, mesin penanam, mesin transportasi dan lain-lain) (Wada, T., Fukuda, H., Ogura, T. 2019).

Untuk *Plant factory* di Taiwan, diawali dengan bertanam dalam *greenhouse*. Untuk *plant factory* baru mulai dilakukan pada tahun 2007-2008, setelah Taiwan mengalami krisis ekonomi, digunakan *plant factory* menggunakan *LED*. Secara umum *plant factory* menggunakan *LED* mulai diketahui publik Taiwan pada tahun 2010, tepatnya pada acara Taipei Flower Expo 2010. Pusat ilmu pengembangan dari *plant factory* negara Taiwan adalah negara Jepang, tepatnya belajar dan riset bersama dengan beberapa institute dan universitasnya, antara lain Chiba University, Tokyo Institute of Technology, Tamagawa University dan Osaka Prefectural University. Untuk saat ini perkembangan *plant factory* di Taiwan adalah menggabungkan dengan *IoT system (Internet of Things)*, dengan pasar produknya adalah Negara China (Lin, Y. C. 2019). Dilakukan riset *plant factory* di China, dengan sistem full tertutup, energi semi panel surya dan tanaman dikedung bawah tanah (tidak terkena paparan cahaya matahari). Cahaya untuk tanaman yang digunakan adalah *LED* dan *Fluorescent*, system bertanam hidroponik terapung bertingkat, dan dengan variasi perlakuan lama penyinaran (12 jam/hari, 16 jam/hari dan 20 jam/hari), *full* kontrol dan terpadu (kontrol suhu, kelembapan dan oksigen) (Quan, Q., Zhang, X., Xue, X. Z. 2018).

Hidroponik merupakan salah satu metode bercocok tanam yang sedang digemari masyarakat Indonesia. Hidroponik adalah metode bercocok tanam yang sangat menarik, dimana kita dapat bertani tanpa menggunakan tanah sebagai tempat tumbuhnya tanaman, media tanam bisa diganti dengan air atau bahan lain yang kondisi nutrisinya dapat diatur. Di Indonesia khususnya pada daerah perkotaan, teknologi hidroponik terus mengalami perkembangan, karena sistem tanam ini mudah dan tidak butuh tempat yang luas untuk budidaya. Sistem tanam ini dapat dilakukan secara vertikal dan di halaman rumah yang tidak terlalu luas, sebagai contohnya di daerah kota Malang dan Surabaya sudah banyak masyarakat yang menanam sayur dan buah di rumah dengan sistem hidroponik. Demikian artinya kita dapat memproduksi sayur dan buah dengan jumlah yang banyak dengan

penggunaan lahan yang efektif. Kelebihan yang paling terasa, sistem hidroponik tidak mengenal musim dan tidak memerlukan lahan yang luas dibandingkan dengan kultur tanah untuk menghasilkan satuan produktivitas yang sama (Mas'ud,2009).

Dibalik penerapan teknologi hidroponik yang terus berkembang pesat, baik bagi masyarakat yang hanya digunakan sebagai sekedar hobi atau pelaku usaha hidroponik profesional terdapat beberapa masalah yang terjadi dan perlu dicarikan solusi. Masalah tersebut antara lain adalah tentang cahaya, suhu dan kelembapan saat bercocok tanam hidroponik, disaat cahaya matahari kurang optimal bisa dipastikan kualitas tanaman akan turun dan hasilnya pasti akan jelek yang tentunya akan menyebabkan sayur hidroponik harganya turun, bahkan tidak laku untuk dijual. Suhu dan kelembapan yang tidak ideal sangat mempengaruhi hasil tanaman hidroponik dan para pelaku hidroponik belum bisa mengatasi secara maksimal. Suhu yang terlalu panas juga dapat membuat tanaman menjadi lemas, para pelaku hidroponik biasanya menyiasati dengan pemberian tutup/naungan dan yang terakhir adalah kelembapan lingkungan, saat musim hujan tanaman mudah sekali busuk serta terserang virus karena kondisi lingkungan yang sangat lembap.

Penelitian tentang hidroponik sudah sangat banyak dilakukan di Indonesia. Namun, penyelesaian masalah pencahayaan,suhu dan kelembapan masih sangat terbatas, sebagai contoh penelitian Setiandi (2015) yang membahas tentang pengontrolan lingkungan dan pemberian nutrisi pada metode tanam aeroponik. Pada faktanya permasalahan hidroponik yang berkaitan dengan intensitas cahaya, suhu dan kelembapan terjadi dengan alami serta sulit ditebak/tidak *linier*, sehingga perlu sistem pemikiran dan cara penyelesaian yang tepat/presisi.

Dari permasalahan diatas, penulis akan melakukan penelitian dengan judul “ Rancang Bangun Otomatisasi Kontrol Suhu, Kelembapan Dan Intensitas Cahaya Pada Budidaya Pak

Choy (*Brassica Chinensis L.*) Hidroponik Berbasis Logika Fuzzy". Mengingat perlunya solusi yang tepat guna untuk permasalahan pelaku tani hidroponik. Perlu sebuah kontrol yang mampu menjaga kondisi lingkungan yaitu intensitas cahaya, suhu dan kelembapan tanaman pada sistem hidroponik. Kontrol yang dibutuhkan harus bersifat fleksibel, karena kondisi lingkungan sendiri sangat sulit ditebak. Harapannya hasil penelitian dapat menjadi informasi dan rujukan tentang pengontrolan lingkungan sistem tanam hidroponik.

1.2 Rumusan Masalah

- Bagaimana membuat sistem kontrol tingkat pencahayaan berbasis logika fuzzy yang sesuai dengan kebutuhan cahaya tanaman Pak Choy (*Brassica Chinensis L.*) ?
- Bagaimana membuat sistem kontrol suhu dan kelembapan berbasis logika fuzzy yang dapat diatur dan disesuaikan dengan kondisi suhu ideal tanaman Pak Choy (*Brassica Chinensis L.*)?
- Bagaimana hasil panen tanaman Pak Choy (*Brassica Chinensis L.*) pada logika fuzzy ?

1.3 Tujuan Penelitian

- Membangun sistem kontrol tingkat pencahayaan berbasis logika fuzzy yang sesuai dengan kebutuhan tanaman Pak Choy (*Brassica Chinensis L.*).
- Membangun sistem kontrol suhu berbasis logika fuzzy yang sesuai dengan kebutuhan tanaman Pak Choy (*Brassica Chinensis L.*).
- Menghitung parameter hasil panen tanaman Pak Choy (*Brassica Chinensis L.*) pada logika fuzzy.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain dapat memberikan ilmu dan pemahaman tentang pengontrolan lingkungan sistem tanam hidroponik berbasis logika fuzzy pada tanaman Pak Choy (*Brassica Chinensis L.*) Hasil dari penelitian ini diharapkan nantinya

dapat memberikan rekomendasi dan dapat diaplikasikan pada pelaku hidroponik pada umumnya dan khususnya pelaku hidroponik di kota Malang.

1.5 Batasan Masalah

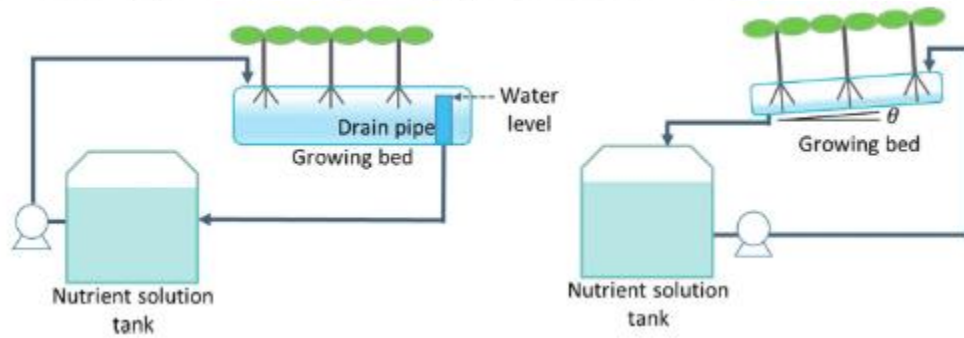
- a. Sistem kontrol yang digunakan digunakan untuk ruangan semi tertutup, sehingga masih ada faktor gangguan lingkungan dari luar.
- b. Mengingat ukuran alat tidak terlalu besar, khusus aktuator suhu hanya berfungsi sebagai pendingin ruangan, tidak digunakan sebagai pemanas ruangan.



BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Hidroponik

Hidroponik adalah metode bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai media tanam. Tanah diganti dengan dengan media lain, misalnya: *rockwool*, *cocopeat*, sekam padi dan lain-lain. Sistem ini memudahkan untuk mengontrol jumlah nutrisi yang diberikan kepada tanaman, pada umumnya nutrisi yang diberikan adalah *Ab-Mix* (Adrover, M., et, al. 2013). Kelebihan metode ini adalah bercocok tanam dapat dilakukan dengan mudah dan ditempat yang relatif tidak luas, karena bertanam hidroponik dapat dilakukan secara bersusun/vertikal. Untuk jenis metode tanam hidroponik terdapat 3 jenis (Anpo, M., et.al. 2019): sitem *DFT* (*Deep Flow Technique*), sistem *NFT* (*Nutrient Flow Technique*) dan sistem hidroponik terapung. Sistem *DFT* (*Deep Flow Technique*) bekerja dengan cara pengairan pada media tanam dengan kondisi nutrisi yang banyak, nutrisi disirkulasi menggunakan pompa . Jika kita hidroponik dengan paralon maka tinggi larutan nutrisi banyak (setengah dari diameter paralon) dan kelebihanannya adalah sistem ini hemat listrik karena pompa bekerja tidak secara terus menerus. Sistem *NFT* (*Nutrient Flow Technique*) bekerja hampir sama dengan sistem *DFT*, bedanya sirkulasi pengairan sistem ini yang sangat rendah, artinya pompa nutrisi harus bekerja secara terus menerus. Kelemahannya adalah boros listrik jika dibandingkan dengan sistem *DFT*. Sistem terakhir adalah sistem hidroponik terapung, sistem ini sedikit berbeda dengan sistem *DFT* dan *NFT*, cara kerjanya sangat simpel dimana tanaman yang sudah punya media tanam dan wadah media diletakkan pada bak yang berisi cairan nutrisi tanpa ada pompa sebagai sirkulasi cairan. Sistem ini kelebihan utama adalah sangat mudah dan murah biaya (Susila. 2013). Berikut adalah hidroponik sistem *NFT* dan *DFT* (Wada, T. 2019):



Gambar 2. 1 Hidroponik Sistem NFT dan DFT

2.2 Tanaman Pak Choy (*Brassica Chinensis L.*)

Pak Choy adalah tanaman yang pertama kali ditanam di China sebelum abad ke-5 dan mulai dikembangkan secara luas setelah itu. Tanaman ini masuk kedalam keluarga *Brassicaceae* atau banyak dikenal sebagai petsai, dimana tanaman ini mempunyai nilai jual yang cukup tinggi dan dapat tumbuh pada daerah tropis maupun sub-tropis. Klasifikasi tanaman *Pak Choy* sebagai berikut :

- Divisi : permatophyta
- Kelas : Angiospermae
- Sub-kelas : Dicotyledonae
- Ordo : Papavorales
- Famili : Cruciferae atau Brassicaceae
- Genus : Brassica
- Spesies : Brassica Chinensis L



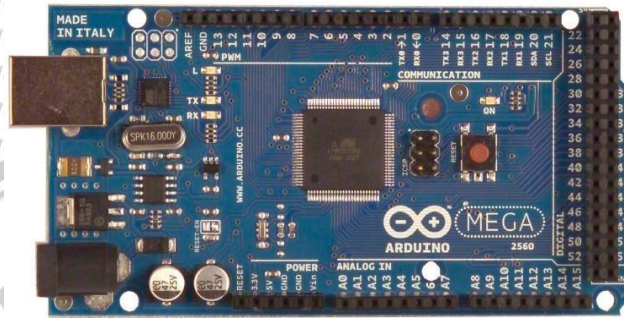
Gambar 2. 2 Tanaman Pak Choy

Kondisi lingkungan yang ideal untuk tanaman Pak Choy adalah untuk suhu berkisar antara $15^{\circ}\text{--}32^{\circ}\text{C}$, kelembapan bernilai 60-80% (Rukaman. 1994). Kebutuhan cahaya sinar matahari tanaman ini berkisar 8 jam dalam sehari, dan yang bagus adalah cahaya matahari pagi (bukan cahaya terik). Menurut Shane (2017) intensitas cahaya yang dibutuhkan untuk tanaman sayuran adalah pada masa generatif bernilai 500-1000 $\text{Micromols/m}^2/\text{detik}$, dan pada masa vegetatif berkisar 300-400 $\text{Micromols/m}^2/\text{detik}$ (satuan PAR). Masa tanam diawali dengan persemaian tanaman Pak Choy, benih Pak Choy dimasukkan kedalam rock woll dan disimpan dalam kondisi gelap serta dibungkus (agar suhu dan kelembapan tetap), setelah 36-48 jam maka boleh dibuka dan akan keluar tanaman dari benih Pak Choy. Setelah itu tanaman dikenakan cahaya matahari langsung (diutamakan cahaya matahari pagi untuk bayi Pak Choy) selama 4 jam sekitar jam 06.00-10.00, masa ini selama 14 hari dan tanaman bisa dipindah ke tempat tanam dan dilanjutkan dengan perlakuan tanam Pak Choy, tanaman dapat dipanen pada usia 25-40 HST (Hari Setelah Tanam).

2.3 Mikrokontroler Arduino Mega 2560

Arduino mega 2560 adalah salah satu seri Mikrokontroler Arduino, tipe ini berbasis pada IC ATmega 2560. Arduino mega 2560 memiliki 54 buah pin digital yang dapat digunakan sebagai output ataupun input, yang dapat mengubah data analog menjadi digital untuk diolah. Dari ke 54 pin tersebut, 15 pin diantaranya adalah yang dapat digunakan sebagai output Pulse Width

Modulation (PWM). 16 buah pin analog input, 4 buah pin yang memiliki fungsi sebagai *port serial hardware*. Selanjutnya terdapat sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah jack female untuk koneksi *USB*, lalu *jack female* adaptor, dan sebuah tombol *reset*. Kinerja pada *Arduino mega 2560* ini memerlukan sumber listrik bisa dengan AC atau DC (Banzi, 2011).



Gambar 2. 3 Arduino Mega 2560

2.4 Sensor

2.4.1 Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT22)

Sensor suhu adalah suatu alat yang dapat merubah besaran panas menjadi besaran listrik, atau dapat dikatakan dapat menerima rangsangan suhu berupa data analog dan merubah ke data digital yang dapat diolah oleh otak arduino, setelah itu dapat dilakukan perintah sesuai dengan kebutuhan melalui perintah pemrograman. Sensor DHT22 ini punya 2 kemampuan sekaligus, dimana dapat menjadi sensor suhu dan juga kelembaban. Sebuah sensor suhu melakukan pengukuran terhadap jumlah energi panas/dingin yang dihasilkan oleh suatu objek sehingga memungkinkan kita untuk mendeteksi gejala perubahan suhu tersebut dalam bentuk output analog maupun digital. Sedangkan yang dimaksud dengan sensor kelembaban adalah sebuah sensor untuk membantu dalam proses pengukuran suatu kelembaban uap air yang terkandung di udara. Sensor DHT22 memiliki output sinyal digital yang dikalibrasi dengan sensor suhu dan kelembaban yang kompleks, teknologi ini memastikan keandalan tinggi dan memiliki stabilitas dalam jangka panjang yang sangat baik. Kelebihan dari sensor DHT22 adalah memiliki kualitas yang baik, respon yang cepat, memiliki fitur kalibrasi sangat akurat, dan

sinyal transmisinya dapat mencapai 20 meter. Dalam sebuah sensor DHT22 terdapat 3 buah pin diantaranya VCC, Signal Analog (data) dan Ground (Wisnu, dkk. 2014). Spesifikasi lengkap sensor ini terdapat pada **Lampiran 9**.



Gambar 2. 4 Sensor DHT22

2.4.2 Sensor Cahaya LUX Meter

LUX meter yang digunakan adalah Lux meter merk pabrikan HS1010. Berdasar pada datasheet, diketahui Lux meter ini dapat digunakan pada intensitas cahaya maksimal 50.000 LUX. Dengan nilai akurasi $\pm 4\%$ pada intensitas cahaya ≤ 10.000 LUX, dan $\pm 5\%$ pada intensitas cahaya ≤ 10.000 LUX. Dapat beroperasi pada kondisi lingkungan suhu -10°C - 40°C dan kelembapan $\leq 70\%$. Sedangkan kondisi penyimpanan alat ini, yang baik berada pada suhu -10°C - 50°C dan nilai kelembapan 0%-80%. Spesifikasi lengkap sensor ini terdapat pada **Lampiran 9**.



Gambar 2. 5 Sensor LUX meter

2.5 Aktuator

Aktuator adalah pelaksana/perangkat mekanis dari perintah yang kita berikan, sebagai penjaga/pengontrol kondisi yang diinginkan. Aktuator yang digunakan adalah cahaya, suhu dan kelembapan.

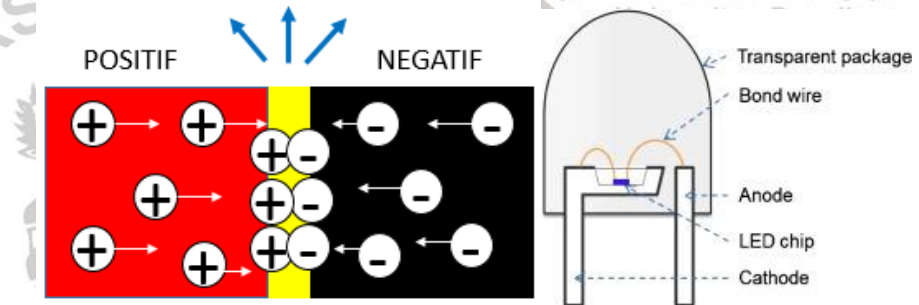
2.5.1 Aktuator Cahaya (*LED / Light Emitting Diodes*)

LED adalah singkatan dari *Light Emitting Diodes*, merupakan suatu komponen yang dapat memancarkan cahaya, *LED* terbuat dari bahan semikonduktor dan kerjanya 10 kali lipat lebih efisien dibanding lampu pijar biasa, hal itu karena hampir secara keseluruhan energinya menghasilkan cahaya tampak. Lampu *LED* mempunyai banyak variasi warna, dimana setiap warna mempunyai karakter yang berbeda terutama tentang panjang gelombangnya (Dubay, et.al. 2008). Warna yang dipancarkan *LED*, tergantung dari bahan semikonduktor yang menyusunnya.

Komponen utama *LED* adalah kepingan bahan semikonduktor yang ada di pusat *LED*. Bagian ini terdapat 2 komponen utama, yaitu bagian P (listrik positif/anoda) dan bagian N (listrik negatif/katoda). *LED* hanya akan bekerja saat dialiri tegangan maju (dari anoda menuju katoda), saat *LED* dialiri tegangan maju yaitu dari anoda (P) menuju katoda (K), maka akan terjadi kelebihan elektron pada N-Type material akan berpindah ke wilayah yang kelebihan *Hole* (tengah) yaitu wilayah yang bermuatan positif. Akhirnya saat elektron berjumpa dengan hole akan melepaskan photon dan memancarkan cahaya monokromatik sesuai dengan bahan penyusunnya (Gayral, B. 2017).

Alasan pemilihan *LED* sebagai aktuator cahaya adalah *LED* punya banyak sekali kelebihan jika dibandingkan dengan lampu yang lain. Menurut Singh, et all (2015) kelebihan *LED* antara lain hemat energi dapat mencapai 70% dibanding dengan lampu pijar, *LED* dapat menghasilkan fluks cahaya tinggi dengan keluaran panas yang rendah sehingga dapat diposisikan sangat dekat dengan tanaman, umur *LED* yang cukup lama bisa

mencapai 30.000-50.000 jam, kemampuan untuk mengendalikan komposisi spektral dengan panjang gelombang biru, hijau, merah, dan variasinya yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Cahaya bantuan selain matahari, yang sesuai dan ideal adalah LED warna biru 460 nm dan merah 650 nm karena panjang gelombangnya sesuai dengan kebutuhan tanaman (Hendrawan, Y., et, al. 2014). Spesifikasi lengkap aktuator ini terdapat pada **Lampiran 9**. Cara kerja dan komponen LED bersumber pada penelitian Singh .et all tahun 2015, dan nilai panjang gelombang pada variasi warna LED bersumber pada penelitian Olle M. and Virsille A tahun 2013.



Gambar 2. 6 Cara Kerja dan komponen LED

Tabel 2. 1 Panjang Gelombang dan Warna LED

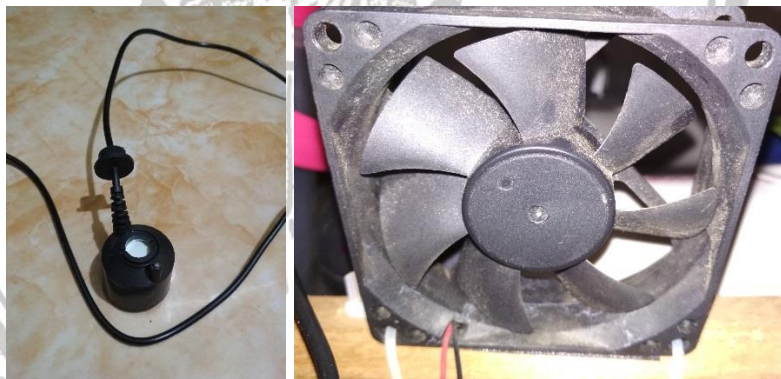
Warna	Panjang Gelombang	Bahan Semikonduktor
Infra Merah	850-940 nm	Gallium Arsenide (GaAs)
Merah	630-660 nm	Gallium Arsenide Phospide (GaAsP)
Jingga	605-620 nm	Gallium Arsenide Phospide (GaAsP)
Kuning	585-595 nm	Galium Arsenide Phospide Nitride (GaAsP-N)
Hijau	550-570 nm	Alumunium Gallium Phospide (AlGaP)
Biru	430-505 nm	Silicon Carbide (SiC)

Putih 450 nm Gallium Indium Nitride (GaInN)

2.5.2 Aktuator Suhu dan Kelembapan

Aktuator suhu dan kelembapan dapat digabung menjadi satu, mengingat dimensi alat yang tidak terlalu besar dan berada di dalam ruangan. Adapun aktuator yang digunakan adalah *Humidifier* dan kipas DC 12 V (Setiandi, A. 2015). Fungsi aktuator ini sebagai penjaga suhu dan kelembapan lingkungan yang ideal dengan tanaman *Pak Choy* (*Brassica Chinensis L.*). Cara kerjanya *Humidifier* didalam bak hidup dan uap yang dihasilkan dihembuskan menggunakan kipas DC 12 V. Dengan demikian kondisi suhu dan kelembapan ruangan dapat dijaga, untuk nilai suhu dan kelembapan ideal untuk pertumbuhan *Pak Choy* berkisar antara 15°C-32°C dan 60%-80% (Susila, A.D. 2013). Spesifikasi lengkap aktuator ini terdapat pada

Lampiran 9.



Gambar 2. 7 *Humidifier* dan Kipas

2.6 Logika Fuzzy

Logika ini merupakan suatu ilmu yang mempelajari tentang nilai kebenaran dengan jumlah yang cukup banyak. Logika *fuzzy* mempunyai nilai kebenaran real dalam selang $[0,1]$ berbeda dengan logika biasa dalam penyelesaian masalah, yang nilainya hanya benar (1) atau salah (0). Ilmu ini ditemukan oleh Profesor Lotfi A. Zadeh ilmuwan Amerika Serikat dari Universitas

California di Berkeley. Namun pada perkembangannya ilmu ini lebih banyak digunakan dan dikembangkan oleh ilmuan Jepang (Sutejo, dkk. 2011).

2.6.1 Komponen Logika Fuzzy

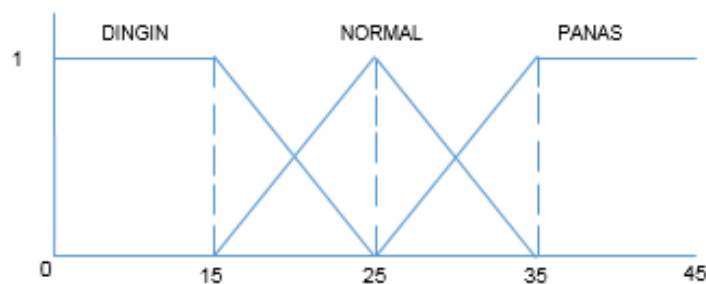
Logika ini punya beberapa komponen, yaitu (Horiuchi, J. 2002) :

a. Variabel Fuzzy

Adalah nilai yang akan dibahas dalam logika *fuzzy*.

b. Himpunan Fuzzy

Adalah suatu kelompok menunjukkan kondisi didalam variabel *fuzzy*. Contoh adalah variabel intensitas cahaya (sangat cerah, sedang, rendah), variabel suhu (dingin, normal, panas) dan kelembapan (sangat lembab, sedang, kering).



Gambar 2. 8 Himpunan Fuzzy Variabel Suhu

c. Semesta Pembicaraan

Adalah semua nilai yang diizinkan untuk digunakan dan dibahas didalam logika.

Nilainya dapat berupa positif dan negatif, semesta pembicaraan hanya dinyatakan dalam nilai angka, untuk satuan masing-masing sesuai dengan yang dibahas.

Contoh :

Semesta pembicaraan Intensitas Cahaya $[0,1000]$.

Semesta pembicaraan suhu $[0,50]$

Semesta pembicaraan kelembapan $[0,100]$.

d. Domain Himpunan Fuzzy

Adalah nilai yang berada dalam batasan semesta pembicaraan dalam logika *fuzzy*.

Bisa diartikan domain merupakan batasan nilai yang membuat logika *fuzzy* dapat menentukan jawaban dalam pemecahan masalah.

Contoh :

- Intensitas Cahaya

Sangat Cerah = [600 1000]

Sedang = [300 700]

Rendah = [0 400]

- Suhu

Dingin = [0 20]

Normal = [15 35]

Panas = [25 45]

- Kelembapan

Sangat Lembab = [0 30]

Sedang = [30 80]

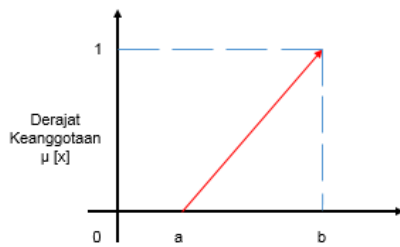
Kering = [75 100]

2.6.2 Fungsi Keanggotaan Logika *Fuzzy*

Menurut Syafitri N (2016) ditulis bahwa “Fungsi keanggotaan fuzzy merupakan grafik yang mewakili besar dari derajat keanggotaan masing-masing variabel input yang berada dalam interval antara 0 dan 1. Derajat keanggotaan sebuah variabel x dilambangkan dengan simbol $\mu(x)$. Rule-rule menggunakan fungsi keanggotaan sebagai faktor bobot untuk menentukan pengaruhnya pada saat melakukan inferensi untuk menarik kesimpulan.” Untuk grafik yang paling sering digunakan antara lain kurva keanggotaan linier, kurva keanggotaan segitiga dan kurva keanggotaan bahu (Yen, H. J., Langari, R. 2005).

1. Kurva Keanggotaan Linier

Derajat keanggotaan dinyatakan dalam grafik linier lurus. Kurva ini punya 2 jenis, yaitu kurva linier naik dan kurva linier turun.



Gambar 2. 9 Kurva Keanggotaan Linier Naik

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x, a, b] \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases}$$

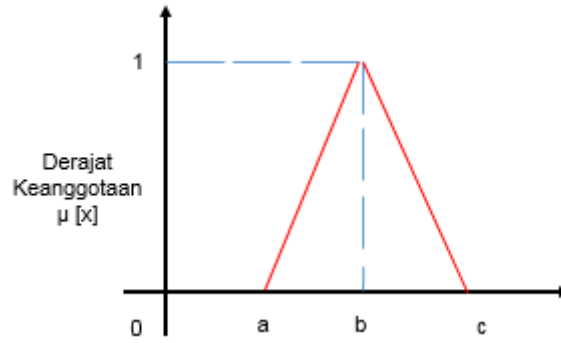


Gambar 2. 10 Kurva Keanggotaan Linier Turun

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x, a, b] \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases}$$

2. Kurva Keanggotaan Segitiga

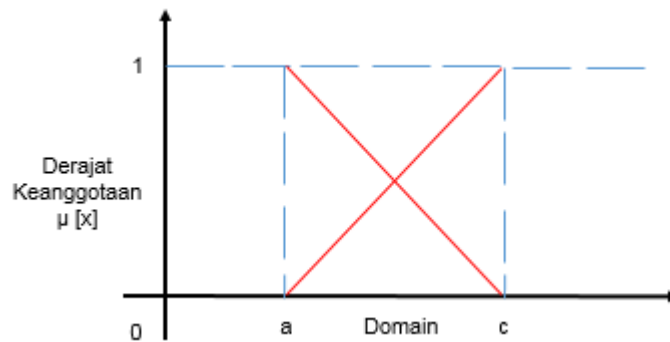


Gambar 2. 11 Kurva Keanggotaan Segitiga

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x, a, b] \begin{cases} 0; x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a} a \leq x \leq b \\ \frac{c - x}{c - b} x \geq b \end{cases}$$

3. Kurva Keanggotaan Bahu

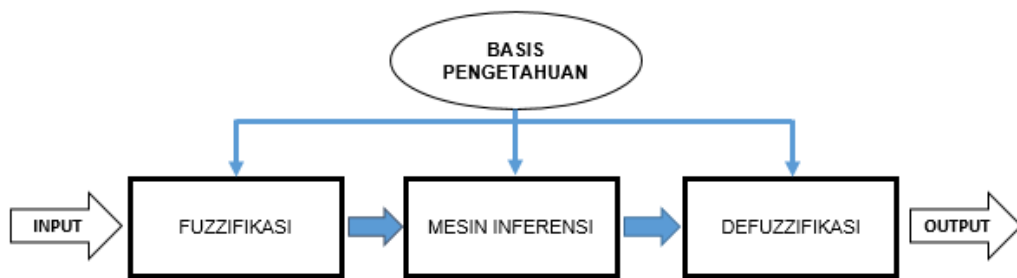


Gambar 2. 12 Kurva Keanggotaan Bahu

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x, a, b] \begin{cases} 0; x \geq b \\ \frac{b-x}{b-a}; a \leq x \leq b \\ 1; x \geq a \\ 0; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; a \leq x \leq b \\ 1; x \geq b \end{cases}$$

2.6.3 Cara Kerja Logika Fuzzy



Gambar 2. 13 Cara Kerja Logika Fuzzy

Tahapan cara kerja (T. J. Ross. 2010) :

a. Basis Pengetahuan

Merupakan aturan dasar, menjelaskan himpunan *fuzzy* atas daerah-daerah masukan dan keluaran dalam bentuk *IF-THEN*.

b. Input

Merupakan masalah, nilai awalan yang akan diproses. Biasanya dalam bentuk variabel tegas.

c. Fuzzifikasi

Proses pengolahan data dari input, nilai awalnya adalah tegas diubah menjadi variabel linguistik menggunakan fungsi anggota yang ada dalam basis pengetahuan. Input dipetakan dalam nilai 0-1. Contoh fungsi keanggotaan μ memetakan elemen x dari himpunan semesta X , ke sebuah bilangan $\mu(x)$, yang menentukan derajat keanggotaan dari elemen dalam himpunan fuzzy $A : A = \{(x, \mu_A(x) | x \in X)\}$.

d. Mesin Inferensi

Merupakan tahapan untuk mengubah input *fuzzy* menjadi output *fuzzy* dengan mengikuti aturan *IF- THEN* yang telah ditetapkan pada pengetahuan *fuzzy*. Adapun beberapa metode yang biasa digunakan adalah Tsukamoto, mamdani dan sugeno. Pada penelitian ini menggunakan metode tsukamoto.

e. Output

Hasil luaran yang sudah diubah dari mesin inferensi, dalam bentuk nilai tegas.

f. Defuzzikasi

Tahapan untuk mengubah output *fuzzy* yang diperoleh dari mesin inferensi menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan nilai fuzzifikasi.

Metode defuzzifikasi yang bisa digunakan antara lain :

1. Metode rata-rata (Average)

$$z^* = \frac{\sum \alpha_i \cdot z_i}{\sum \alpha_i}$$

2. Metode Titik Tengah (Center of Area)

$$z^* = \frac{\int \mu(z) \cdot z \, dz}{\int \mu(z) \cdot dz}$$

2.7 Cahaya dan Fotosintesis

Hal terpenting dari cahaya yang berhubungan dengan tanaman adalah intensitas dan panjang gelombang cahaya yang diterima tanaman untuk melakukan fotosintesis. Tidak semua cahaya

dapat diterima dan digunakan oleh tanaman, cahaya yang dapat diterima oleh tanaman dinyatakan dalam satuan *PAR* (*Photosynthetically Active Radiation*). Adapun cahaya yang dijadikan sumber utama adalah cahaya matahari, cahaya tambahan atau pengganti yang biasa digunakan adalah *LED*, lampu pijar, tabung fluoresen, lampu natrium dan lainnya. Namun yang ideal dan paling banyak digunakan diantara pilihan lampu tersebut adalah *LED*, lampu yang lain punya kelemahan antara lain hanya sebagian panjang gelombang dari lampu tersebut yang bisa diserap oleh tanaman sedangkan panjang gelombang cahaya lainnya terbuang, kedua konsumsi energinya boros dan menghasilkan panas yang cukup tinggi (Xu, Y. et all. 2016).

Cahaya sendiri dapat diartikan sebagai energy dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat dengan mata dan tidak dapat dilihat dengan mata. Cahaya yang panjang gelombangnya sekitar 380-750 nm dapat dilihat dan cahaya dengan panjang gelombang kurang atau lebih dari itu tidak dapat dilihat dengan mata telanjang (Shane, 2017). Satuan cahaya yang dibutuhkan tanaman adalah *PAR* dinyatakan dalam *Micromols/m²/detik* (Xu, H. et.al. 2017.). Cahaya mempunyai panjang gelombang yang beragam, begitu juga dengan proses fotosintesis tanaman yang punya kriteria sendiri. Menurut penelitian dari Xu Y. et all (2016) spektrum cahaya yang dibutuhkan fotosintesis tanaman berkisar pada nilai 400-720 *nanometer* (nm), dan cahaya lampu *LED* warna biru dan merah paling banyak memberi kontribusi pada fotosintesis tanaman.

Satuan panjang gelombang cahaya bag tanaman tersebut adalah *PAR* yang singkatan dari *Photosynthetic Active Radiation*. Cahaya biru panjang gelombangnya 460 nm, mendorong pertumbuhan batang dan daun tanaman (vase vegetatif). Cahaya merah panjang gelombangnya 650 nm, memberi kontribusi nyata pada saat tanaman mekar dan menghasilkan buah (vase generatif).

BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Konseptual Penelitian



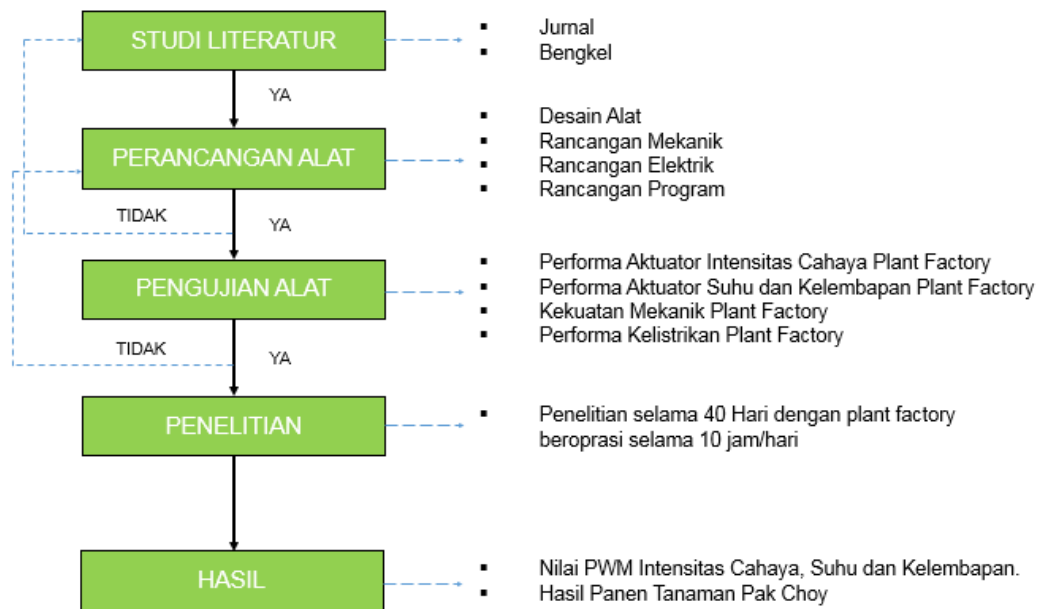
Gambar 3. 1 Kerangka Konseptual Penelitian

Dasar penelitian adalah penelitian terdahulu tentang plant factory di beberapa Negara di dunia, yaitu di Jepang dan Hongkong, yakni penelitian dari Lin, Y. C. 2019 dan Nakamura, K., Shimizu, H. 2019. Kondisi lingkungan dikontrol sesuai jenis komoditi tanaman yang ditanam, dan yang paling penting adalah pencahayaan pada plant factory, berdasar pada 2 buku dari sitasi tersebut diatas pada penelitian ini dilakukan rasio distribusi spektral cahaya relatifnya adalah 50% LED merah dan 50% LED biru.

Konsep penelitian yang dilakukan adalah melakukan bertanam hidroponik dengan metode *plant factory* dengan 2 logika kontrol. Selain itu nanti juga dilakukan metode bertanam hidroponik secara konvensional, yang akan dijadikan sebagai tanaman kontrol (pembanding). *Plant factory* melalui beberapa tahapan, antara lain menggunakan logika fuzzy dan logika kontrol on/off (parameter yang dikontrol adalah suhu, kelembapan dan intensitas cahaya). Kemudian dicatat nilai erromya pada kedua logika kontrol, hasilnya dianalisa dan dibandingkan.

Variabel yang diteliti antara lain: suhu, kelembapan, intensitas cahaya, nilai Ec, nilai pH, nilai konsmsi nutrisi dan parameter pertumbuhan serta panen tanaman *Pak Choy*. Khusus pada parameter terakhir adalah parameter hasil panen tanaman *Pak Choy* (parameter panen yang digunakan berdasar pada buku Fisiologi Tanaman karangan Gardner, et. Al tahun 1991 dan standar dropper hidroponik kota Malang).

3.2 Kerangka Operasional Penelitian



Gambar 3. 2 Kerangka Operasional Penelitian

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pembuatan alat, perakitan sistem kontrol dan perancangan program pada penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekatronika Alat dan Mesin Agroindustri Jurusan Keteknikan Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya. Tempat pelaksanaan penelitian dilakukan kediaman penulis, dengan alamat Villa Bukit Tidar Blok A1 717 Merjosari Kota Malang. Adapun waktu penelitian adalah pada bulan Februari-Juni 2018.

4.2 Alat dan Bahan

4.2.1 Alat

1. Arduino *Mega* 2560 : sebagai otak sistem kontrol
2. Galvalum Hollow : sebagai kerangka alat
3. Seng Gelombang Plastik : sebagai penutup atas
4. *Alfa Board* : sebagai penutup samping dan bawah alat
5. Boks Elektro : sebagai tempat rangkaian elektro alat
6. Aktuator Kelembapan : sebagai penjaga kelembapan
7. *Peltier* : sebagai aktuator suhu
8. Rangkaian *LED* : sebagai aktuator cahaya
9. Catu Daya : sebagai sumber listrik
10. Driver L298N : sebagai pengatur PWM
11. Header male 1x40 : sebagai penghubung antar komponen
12. Kabel : sebagai penyalur listrik
13. Kabel Jumper : sebagai penghubung antar komponen
14. Kamera : sebagai dokumentasi
15. LCD 16x2 : sebagai penampil output sistem kontrol
16. Laptop : sebagai alat pembuat program

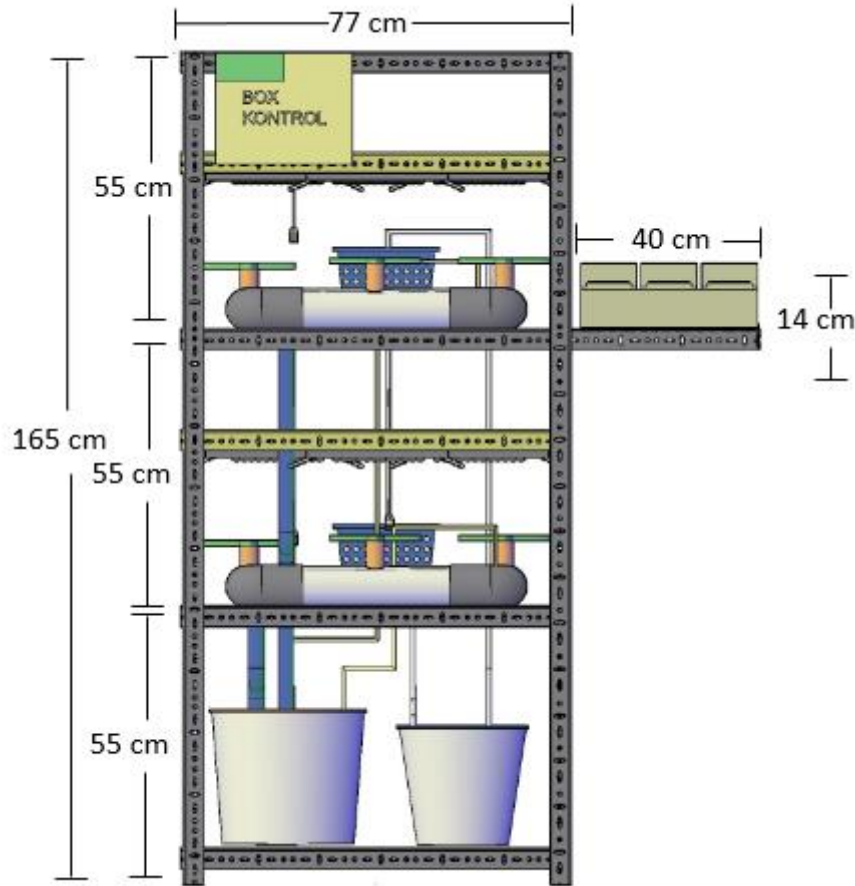
17. PCB : sebagai tempat rangkaian sistem kontrol
18. Jangka Sorong : sebagai pengukur tanaman
19. Rock Woll : sebagai tempat tumbuh tanaman
20. Rangkaian Paralon : sebagai tempat tanaman
21. Potensiometer : sebagai pengatur arus *LCD*
22. Regulator *Step Down* : sebagai pengatur input daya *power supply*
23. Software *Arduino IDE* : sebagai pembuat program
24. Software *AutoCAD* : sebagai pembuat rancangan mekanik alat
25. Software *Proteus* : sebagai pembuat rancangan elektro alat
26. Relay : sebagai terminal listrik
27. *DHT11* : sebagai sensor suhu dan kelembapan
28. *LUX Meter* : sebagai sensor cahaya

4.2.2 Bahan

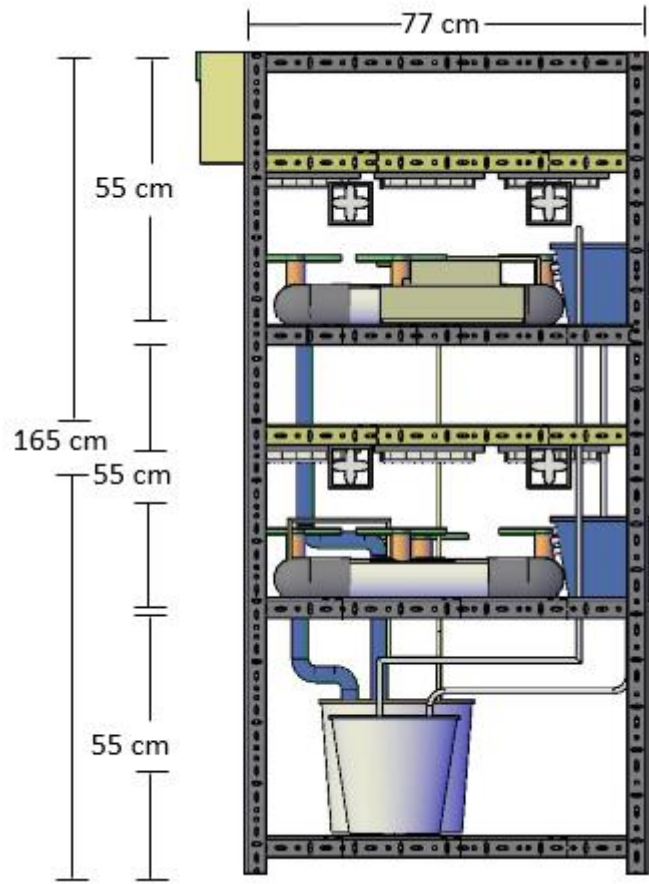
1. Benih *Pak Choy* : sebagai bahan penelitian
2. Air : sebagai sumber uap air dari
3. *Double tape foam* : sebagai perekat komponen ke box
4. *Glue gun* : sebagai perekat antar komponen
5. Mur dan baut : sebagai penghubung berbagai komponen alat
6. *Pylox* : sebagai pewarna box kontrol
7. Pupuk Organik : sebagai nutrisi organik bagi tanaman
8. *AB-MIX* : sebagai nutrisi kimia bagi tanaman

4.3 Rancangan Alat

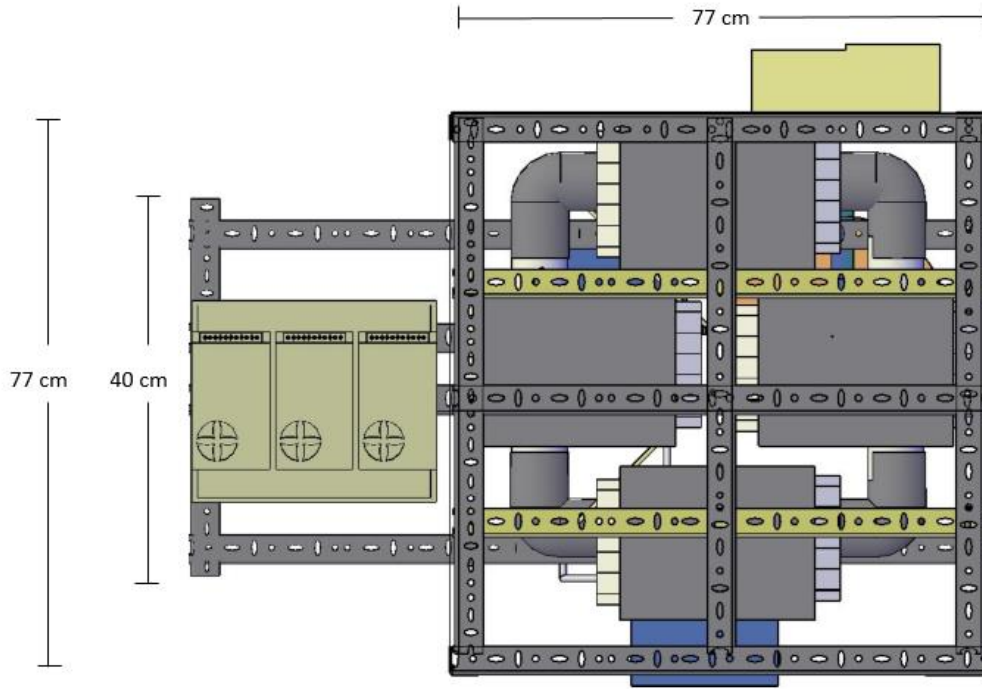
Rancangan alat ini kerangka utama terbuat dari besi siku, terdapat rangka utama untuk rangkaian hidroponik, rangka semai dan rangka pembatu untuk tempat aktuator suhu berupa *peltier*. Dalam alat ini terdapat 8 tanaman yang tersusun secara vertikal, dengan masing-masing tanaman terdapat rangkaian aktuator cahaya berupa *LED* dengan perbandingan 50:50 (merah:biru). Dibawah ini adalah gambar dari rancangan alat.



Gambar 4. 1 Rancangan Alat Tampak Depan

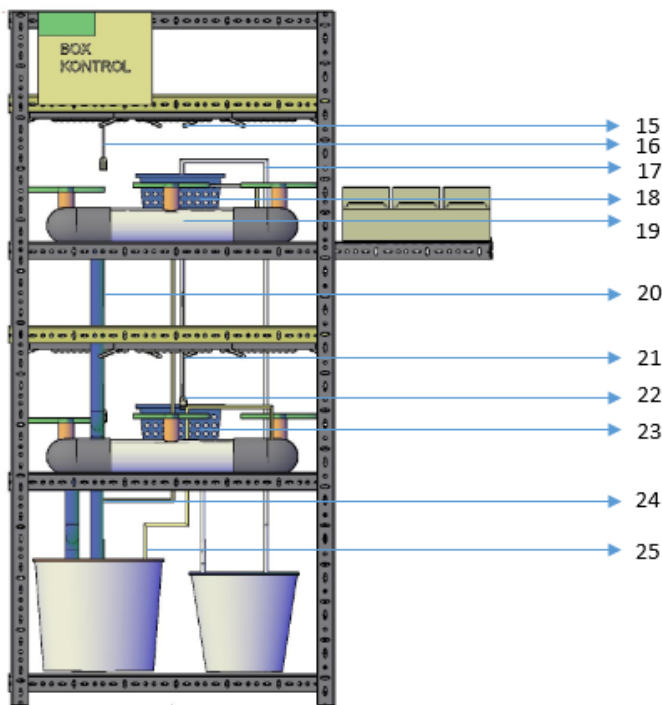
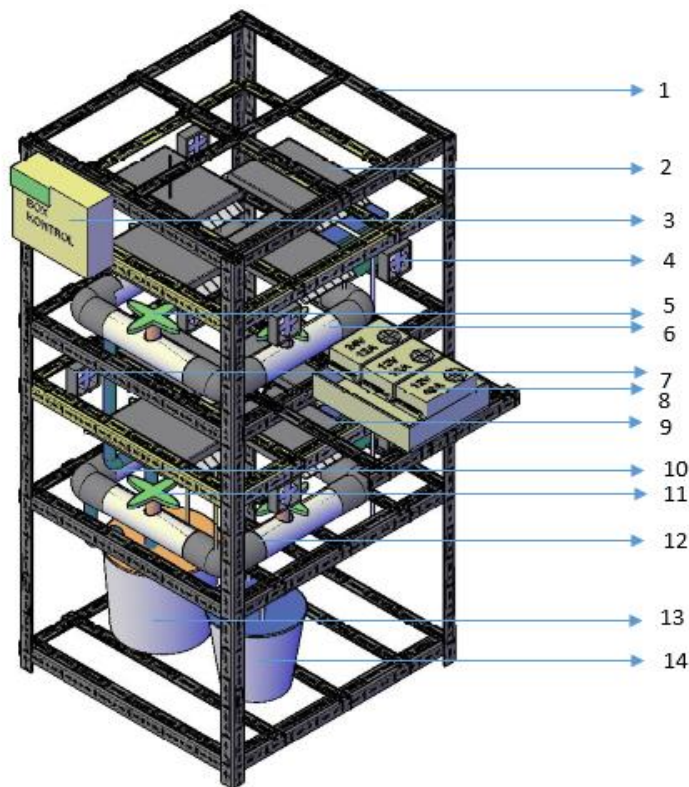


Gambar 4. 2 Rancangan Alat Tampak Samping



Gambar 4. 3 Rancangan Alat Tampak Atas

4.4 Rancangan Fungsional



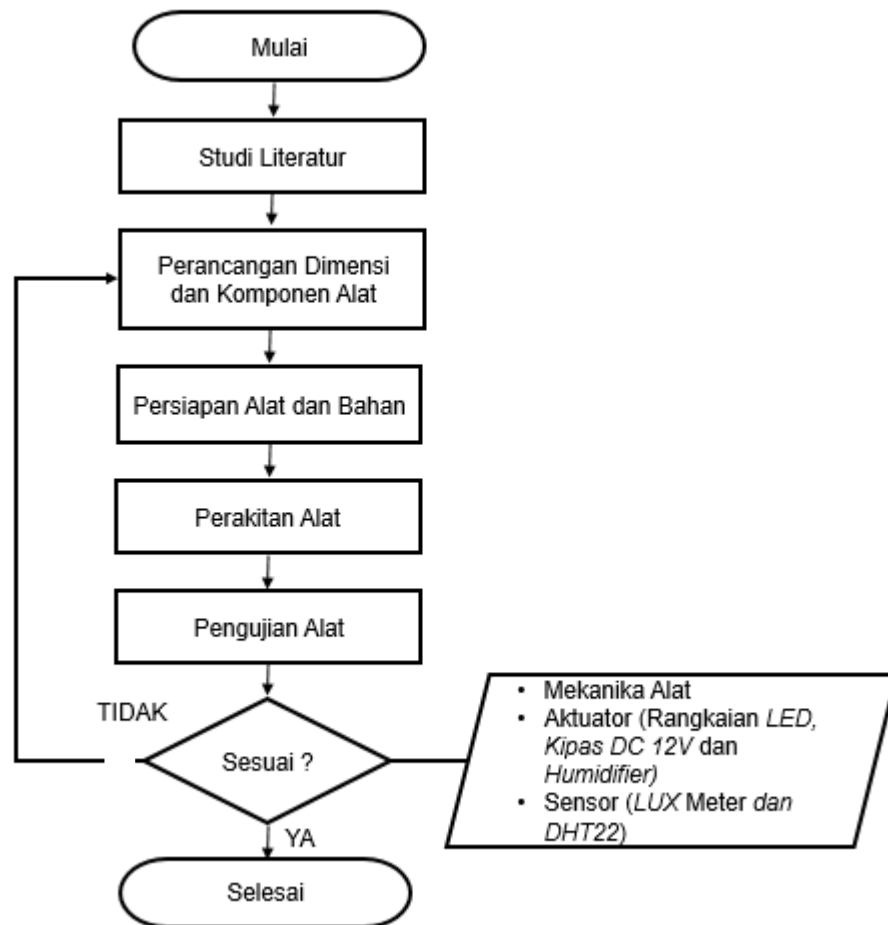
Gambar 4. 4 Rancangan Alat

Keterangan dan Fungsi :

1. Kerangka Utama : sebagai kerangka penyangga *Ruang Semi Plant-Factory*
2. Rangkaian *LED* 1 : sebagai aktuator cahaya kontrol logika *fuzzy*
3. Box Kontrol : sebagai tempat sistem kontrol *Ruang Semi Plant-Factory*
4. Kipas *DC* 12 V : sebagai aktuator suhu logika *fuzzy*
5. Lubang Tanam 1 : sebagai tempat tanam hidroponik logika *fuzzy*
6. Paralon 1 : sebagai tempat tanaman hidroponik logika *fuzzy*
7. Kipas *DC* 12 V : sebagai aktuator suhu logika *ON/OFF*
8. Converter *AC* ke *DC* : sebagai tempat rangkaian sumber listrik *Ruang Semi plant factory*
9. Rangkaian *LED* 2 : sebagai aktuator cahaya kontrol logika *ON/OFF*
10. Pipa *Output* : sebagai saluran keluaran nutrisi *plant factory*
11. Lubang Tanam 2 : sebagai tempat tanam hidroponik logika *ON/OFF*
12. Paralon 2 : sebagai tempat tanaman hidroponik logika *ON/OFF*
13. Bak Nutrisi dan Pompa : sebagai aktuator cahaya dan kelembapan alat semai otomatis
14. Box Kontrol Semai : sebagai tempat rangkaian elektronika alat semai otomatis
15. Rangkaian *LED* 1 : sebagai aktuator cahaya logika *fuzzy*
16. DHT 22 1 : sebagai sensor suhu dan kelembapan logika *fuzzy plant factory*
17. Selang *Input Humidifier* : sebagai saluran masuk air *humidifier*
18. *Humidifier* 1 : sebagai aktuator suhu dan kelembapan *plant Factory*
19. *LUX* meter : sebagai sensor cahaya *Ruang Semi Plant-Factory*
20. Pipa *Output* Nutrisi : sebagai saluran keluaran nutrisi *plant factory*

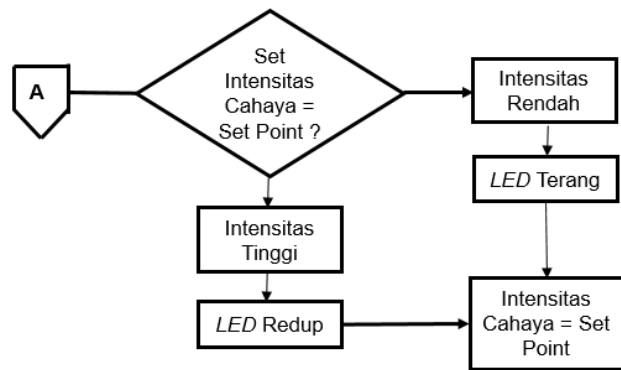
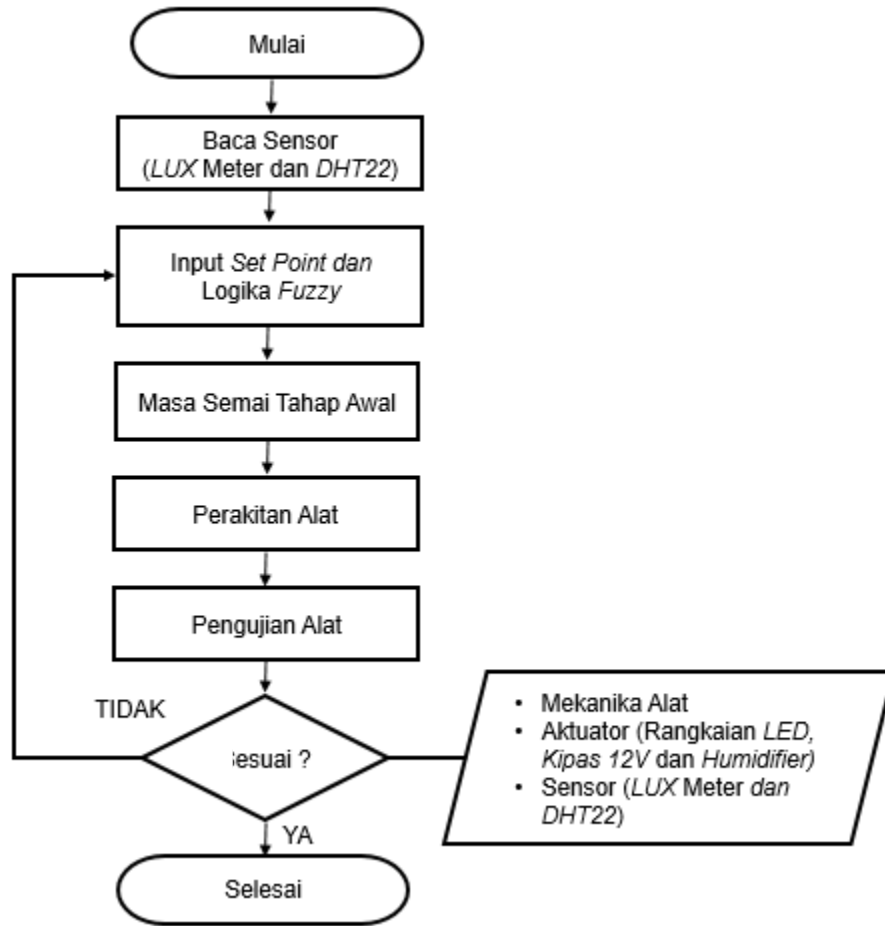
- 21. Rangkaian LED 2 : sebagai aktuator cahaya logika ON/OFF
- 22. DHT 22 2 : sebagai sensor suhu dan kelembapan logika ON/OFF plant factory
- 23. Humidifier 1 : sebagai aktuator suhu dan kelembapan Ruang Semi Plant-Factory
- 24. Selang Output Humidifier : sebagai saluran keluaran air humidifier
- 25. Pipa Input Nutrisi : sebagai saluran masukan nutrisi

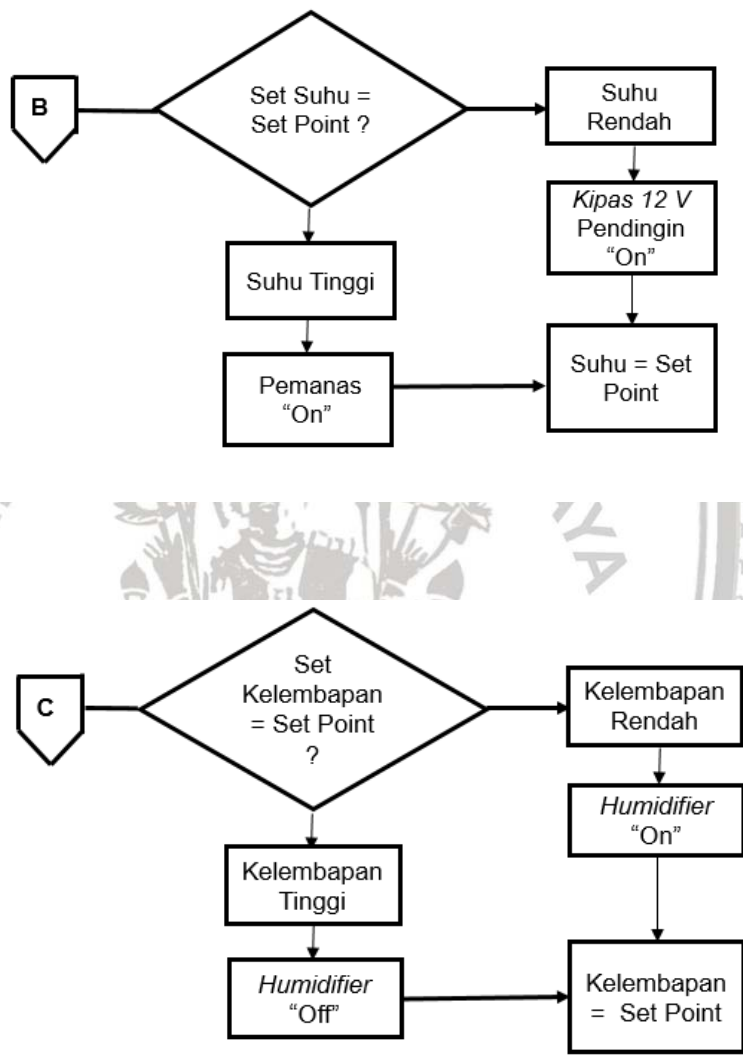
4.5 Diagram Rancangan Alat



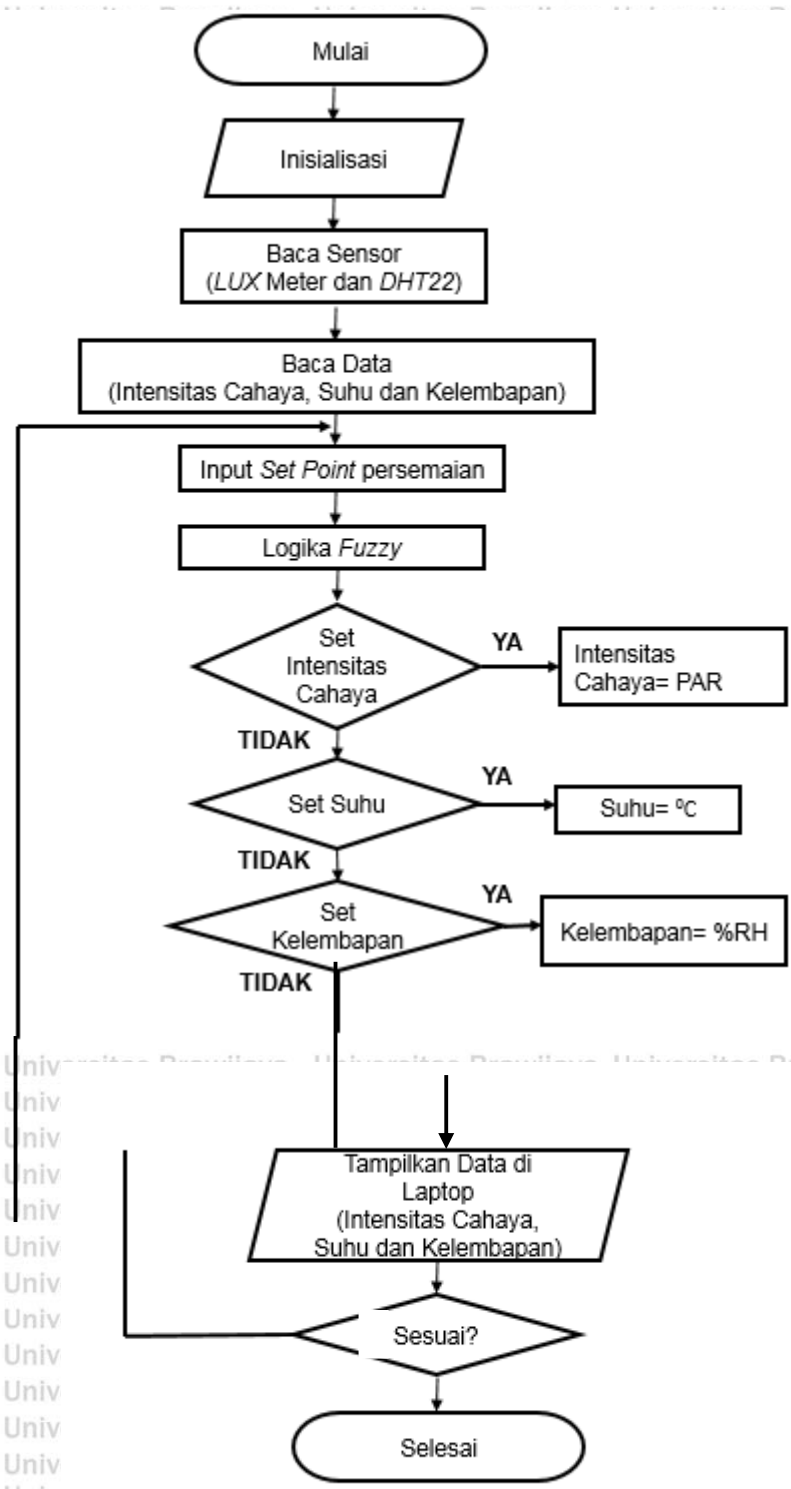
Gambar 4. 5 Diagram Rancangan Alat

4.6 Rancangan Sistem Kerja Alat





Gambar 4. 6 Diagram Raancangan Sistem Kerja Alat



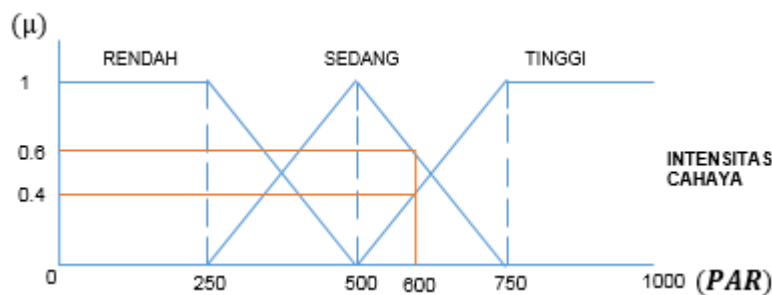
Gambar 4. 7 Diagram Rancangan Persemaian Otomatis

4.7 Rancangan Kontrol Alat

Dalam kerjanya alat otomatisasi ini berdasar pada logika *fuzzy* dengan 3 hal utama yang akan dijaga sesuai dengan kondisi ideal tanaman Pak Choy, yaitu intensitas cahaya, suhu dan kelembapan. Untuk kerjanya sendiri akan dilakukan menggunakan aktuator cahaya, suhu dan kelembapan. Intensitas cahaya yang akan dikontrol adalah pada saat tanaman Pak Choy di masa vegetatif berkisar 300-400 *Micromols/m²/detik*, dan saat tanaman pada masa generatif bernilai 500-1000 *Micromols/m²/detik* (satuan *PAR*). Perbandingan komposisi *LED* nya adalah 80%:20% (*LED* Merah : *LED* Biru). Suhu ideal tanaman Pak Choy berkisar antara 15⁰-25⁰ C, serta kelembapan bernilai 60-80%. Untuk menjaga kondisi lingkungan dengan aktuator agar terus ideal, digunakan *PWM (Pulse Width Modulation)*.

Tahapan pembuatan himpunan *fuzzy* untuk masing-masing kondisi dapat dilihat sebagai berikut:

1. Variabel Intensitas Cahaya



Gambar 4. 8 Variabel Himpunan Intensitas Cahaya

Contoh derajat keanggotaan (μ) Intensitas cahaya kita pakai 600 PAR :

- Representasi Kurva Naik (Atas)

$$\mu_{600N} = \frac{(600-500)}{(750-500)} = 0.4$$

- Representasi Kurva Turun (Bawah)

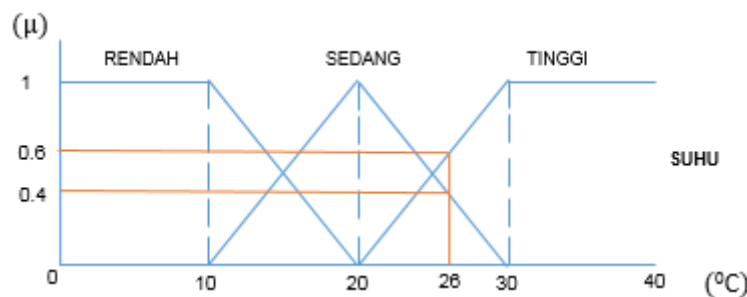
$$\mu_{600T} = \frac{(750-600)}{(750-500)} = 0.6$$

$$\mu_{Rendah} [x] \begin{cases} 1 & ; x \leq 250 \\ \frac{500 - x}{500 - 250} & ; 250 \leq x \leq 500 \\ 0 & ; x \geq 500 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang} [x] \begin{cases} 0 & ; x \leq 250 \text{ atau } x \geq 750 \\ \frac{x - 250}{500 - 250} & ; 250 \leq x \leq 500 \\ \frac{750 - x}{750 - 500} & ; 500 \leq x \leq 750 \\ 1 & ; x = 1000 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi} [x] \begin{cases} 0 & ; x \leq 750 \\ \frac{x - 500}{750 - 500} & ; 500 \leq x \leq 750 \\ 1 & ; x \geq 750 \end{cases}$$

2. Variabel Suhu



Gambar 4. 9 Variabel Himpunan Suhu

Contoh derajat keanggotaan (μ) Suhu kita pakai 26° C :

- Representasi Kurva Naik (Atas)

$$\mu_{26}^{\text{CN}} = \frac{(26-20)}{(30-20)} = 0.6$$

- Representasi Kurva Turun (Bawah)

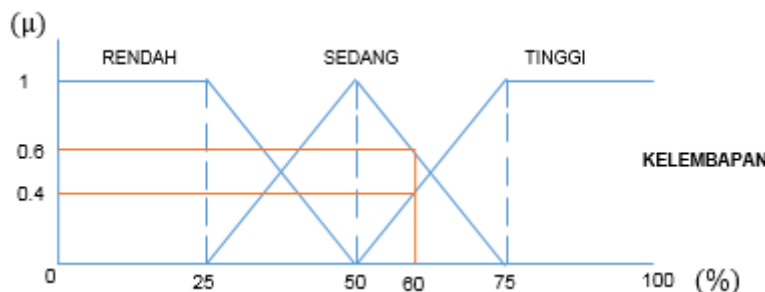
$$\mu_{26}^{\text{CT}} = \frac{(30-26)}{(30-20)} = 0.4$$

$$\mu_{\text{Rendah}} [x] = \begin{cases} 1 & ; x \leq 10 \\ 20 - x & ; 10 \leq x \leq 20 \\ 0 & ; x \geq 20 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Sedang}} [x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq 10 \text{ atau } x \geq 30 \\ x - 10 & ; 10 \leq x \leq 20 \\ 30 - x & ; 20 \leq x \leq 30 \\ 1 & ; x = 20 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Tinggi}} [x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq 20 \\ x - 20 & ; 20 \leq x \leq 30 \\ 1 & ; x \geq 30 \end{cases}$$

3. Variabel Kelembapan



Gambar 4. 10 Variabel Himpunan Kelembapan

Contoh derajat keanggotaan (μ) Kelembapan kita pakai 60% :

- Representasi Kurva Naik (Atas)

$$\mu_{60\%N} = \frac{(60-50)}{(75-50)} = 0.4$$

- Representasi Kurva Turun (Bawah)

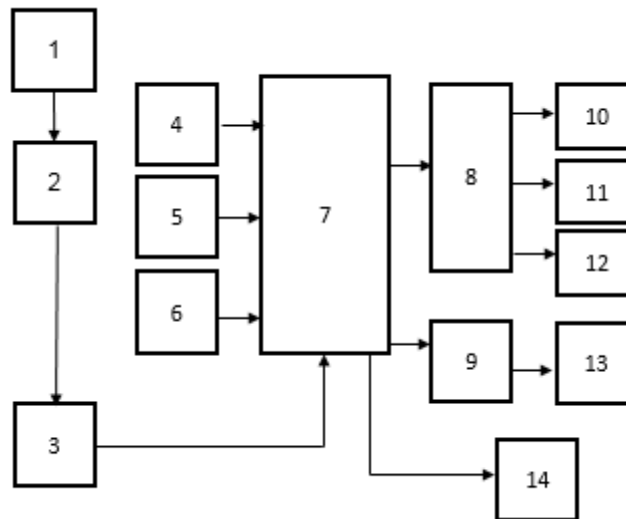
$$\mu_{60\%T} = \frac{(75-60)}{(75-50)} = 0.6$$

$$\mu_{Rendah} [x] = \begin{cases} 1 & ; x \leq 25 \\ \frac{50-x}{50-25} & ; 25 \leq x \leq 50 \\ 0 & ; x \geq 50 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang} [x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq 25 \text{ atau } x \geq 75 \\ \frac{x-25}{50-25} & ; 25 \leq x \leq 50 \\ \frac{75-x}{75-50} & ; 50 \leq x \leq 75 \\ 1 & ; x = 100 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi} [x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq 75 \\ \frac{x-50}{75-50} & ; 50 \leq x \leq 75 \\ 1 & ; x \geq 75 \end{cases}$$

4.8 Rancangan Elektronika



Gambar 4.11 Rancangan Elektronika

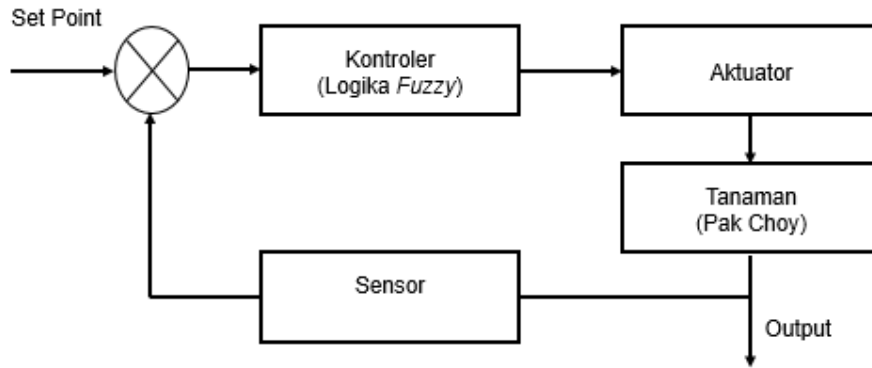
Keterangan :

- | | |
|-------------------------|---|
| 1. Mini Circuit Breaker | 8. Relay |
| 2. Power Supply | 9. Modul Micro SD |
| 3. Step UP DC to DC | 10. Aktuator Suhu (<i>Kipas DC 12V</i>) |
| 4. Sensor DHT22 | 11. Aktuator Kelembapan (<i>Humidifier</i>) |
| 5. Sensor LUX Meter | 12. Aktuator Cahaya (<i>Rangkaian LED</i>) |
| 6. RTC DS32310 | 13. Micro SD |
| 7. Arduino/ATmega 2560 | 14. Data Arduino IDE |

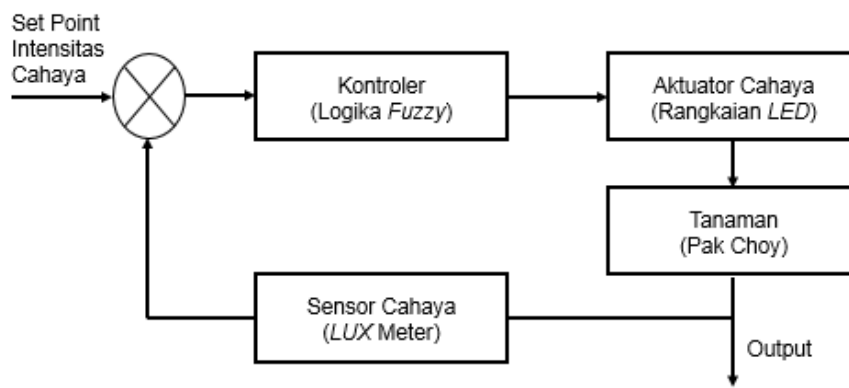
Rancangan elektronika peran utama ada pada arduino/*Atmega 2560*, berperan sebagai otak dari seluruh perintah yang bekerja pada alat. Diawali dengan sumber listrik pada *power supply*, lalu diberi *stepup DC* yang berfungsi sebagai penaik arus dan voltase menuju port input arduino mega (beberapa komponen butuh arus dan tegangan yang tidak sama). Logika yang masuk berasal dari 2 sensor yaitu sensor suhu dan kelembapan dengan *DHT22*. Lalu output data suhu dan kelembapan berupa beberapa aktuator dan data pada *Micro SD*, untuk data intensitas cahaya dilakukan semi manual. Aktuator yang berfungsi menjaga keadaan lingkungan ideal untuk tanaman *Pak Choy*. Aktuatornya antara lain, aktuator suhu berupa *Kipas DC 12V*, aktuator kelembapan berupa *humidifier* dan aktuator cahaya berupa rangkaian *LED*. Hasil dan proses yang terjadi selama proses pada alat akan ditampilkan di data *arduino IDE* pada laptop dan hasilnya disimpan pada *Micro SD*.

4.9 Diagram Blok Pengendalian Sistem Kerja Alat

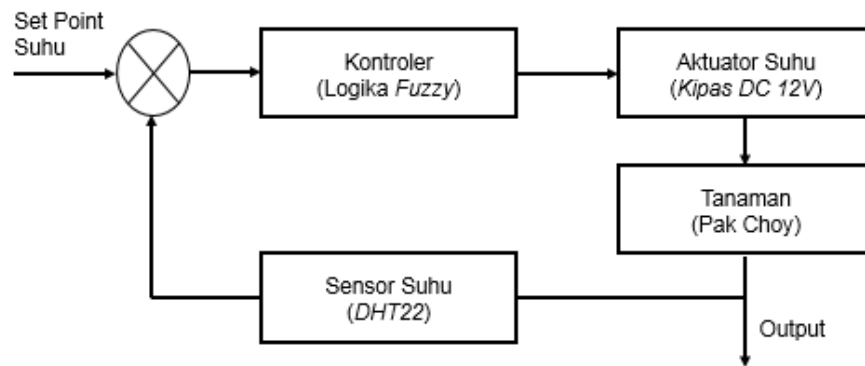
Rancangan sistem kerja alat sebagai berikut :



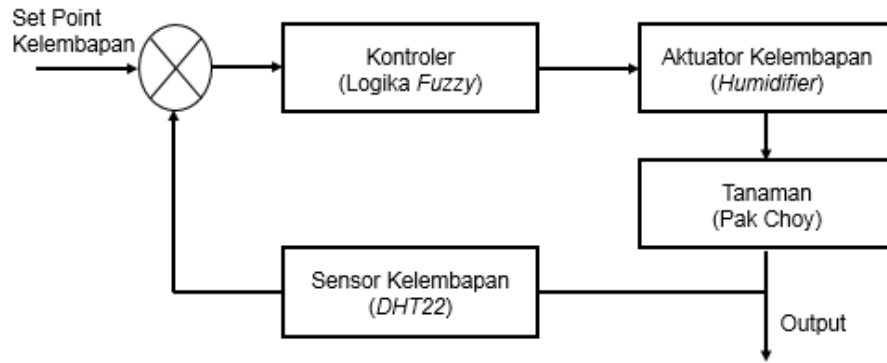
Gambar 4. 12 Diagram Blok Pengendalian Keseluruhan



Gambar 4. 13 Diagram Blok Pengendalian Intensitas Cahaya



Gambar 4. 113 Diagram Blok Pengendalian Suhu



Gambar 4. 15 Diagram Blok Pengendalian Kelembapan

4.10 Pengamatan Hasil Pertumbuhan dan Panen Tanaman

Pengujian parameter pertumbuhan tanaman dilakukan dengan pengambilan data selama 40 hari dan diamati setiap 5 hari dan hasil panen dilakukan pada hari ke 40 HST. Baik untuk tanaman didalam alat atau metode konvensional sebagai pembandingan. Tabel pengambilan data terdapat pada **Lampiran 5** dan **Lampiran 7**.

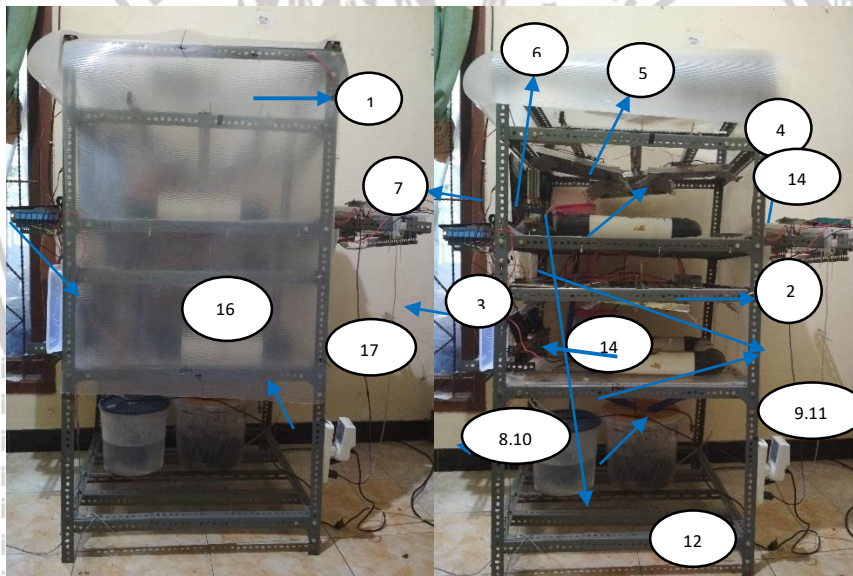
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Rancangan *Hardware*

Penelitian ini mempunyai 2 rancangan *hardware*, yaitu rancangan ruang semi *plant factory* dan rancangan elektrik.

5.1.1 Ruang *Semi Plant-Factory*

Ruang semi *plant factory* ini dibuat sebagai menanam tanaman *pak choy*, sehingga dalam perancangannya harus sesuai dengan syarat pertumbuhan tanaman, adapun hasil rancangan dapat dilihat pada **Gambar 5.1**.



Gambar 5. 1 Bangunan Struktural Ruang *Semi Plant-Factory*

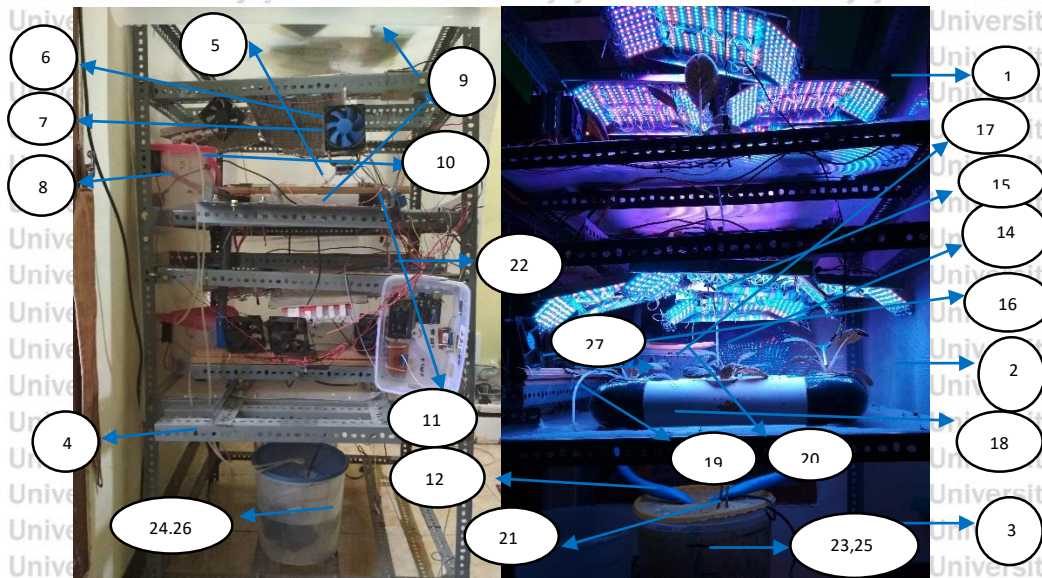
Bagian-bagian bangunan struktural *Ruang Semi Plant-Factory* :

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1. Penutup alat. | 11. Pompa air. |
| 2. Kerangka utama (besi siku). | 12. Selang <i>Input</i> . |
| 3. Boks Kontrol. | 13. Selang <i>Output</i> . |
| 4. Boks sumber listrik. | 14. Tanaman logika <i>Fuzzy</i> . |
| 5. Aktuator cahaya (<i>LED</i>). | 15. Tanaman logika <i>ON/OFF</i> . |
| 6. Aktuator kelembapan (<i>Humidifier</i>). | 16. Penyangga kendali (Laptop). |
| 7. Aktuator suhu (kipas <i>DC 12V</i>). | 17. Terminal Listrik. |
| 8. Bak nutrisi. | |
| 9. Bak air. | |

10. Pompa nutrisi.

Komponen kerangka utama penyusun *Ruang Semi Plant-Factory* adalah besi siku lubang berukuran 4 mm x 4 mm. Untuk dimensi *Ruang Semi Plant-Factory* secara keseluruhan adalah panjang 142 cm, lebar 77 cm dan tinggi 165 cm. Terdapat 3 tingkat ruang didalam alat, yaitu untuk ruang *Ruang Semi Plant-Factory* logika FUZZY, ruang *Ruang Semi Plant-Factory* logika ON/OFF dan ruang bak nutrisi beserta bak air. Masing-masing ruang punya tinggi 55 cm, didalamnya terdapat paralon sebagai tempat tanam, aktuator dan rangkaian elektronika . Disebelah kanan dan kiri alat terdapat sumber listrik (kanan) ukuran 40 cm dan penyangga kendali (penyangga laptop) yang berjumlah 2 buah berukuran 25 cm. Box kontrol terdapat disisi sebelah depan dilengkapi dengan LCD 16X2 sebagai penunjuk proses yang sedang berlangsung didalam *Ruang Semi Plant-Factory* berukuran panjang 25 cm, lebar 18 cm dan tinggi 5 cm. Untuk penutup *Ruang Semi Plant-Factory* adalah plastik bergaris dengan tebal 2 mm. Sistem *Ruang Semi Plant-Factory* ini masih bersifat *semi-closed*, karena masih belum tertutup sepenuhnya/ masih ada udara yang bisa masuk meskipun sangat kecil.

5.1.2 Fungsional Ruang *Semi Plant-Factory*



Gambar 5. 2 Bangunan Struktural Ruang Semi Plant-Factory

Bagian-bagian ruang kontrol Ruang Semi Plant-Factory :

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Ruang 1, kontrol logika Fuzzy. | 18. Pipa PVC DFT ruang 2. |
| 2. Ruang 2, kontrol logika ON/OFF. | 19. Selang Input a ruang 2. |
| 3. Ruang bak air dan nutrisi. | 20. Selang Input b ruang 2. |
| 4. Kerangka alat. | 21. Selang Output a ruang 2. |
| 5. Sensor ruang 1. | 22. Terminal listrik ruang 2. |
| 6. Aktuator cahaya ruang 1. | 23. Bak nutrisi. |
| 7. Aktuator suhu ruang 1. | 24. Bak air. |
| 8. Aktuator kelembapan ruang 1. | 25. Pompa nutrisi |
| 9. Pipa PVC DFT ruang 1 | 26. Pompa air.. |
| 10. Selang Input a ruang 1. | 27. Box Kontrol |
| 11. Selang Input b ruang 1. | |
| 12. Selang Output a ruang 1. | |
| 13. Terminal listrik ruang 1. | |
| 14. Sensor ruang 2. | |
| 15. Aktuator cahaya ruang 2. | |
| 16. Aktuator suhu ruang 2. | |
| 17. Aktuator kelembapan ruang 2. | |

Detail dari ruang kontrol pada Ruang Semi Plant-Factory adalah terdapat 3 ruang, yaitu ruang kontrol logika Fuzzy (ruang 1), ruang kontrol ON/OFF (ruang 2) dan ruang nutrisi serta air (ruang 3). Masing-masing ruang punya dimensi 77 cm panjang, 77 cm lebar dan 55 cm tinggi.

Ruang 1 adalah ruang yang berada paling atas, didalamnya terdapat : a) Pipa PVC DFT berukuran diameter 3 inci (7.62 cm), berbentuk segi empat dengan panjang disetiap

sisinya 33 cm dengan lubang tanam berukuran 4.5 cm yang akan di isi *net-pot* . b) Terminal listrik ruang 1, DC 12 V, 24 V digunakan sebagai sumber listrik masing-masing sensor dan aktuator yang ada di ruang 1. c) Sensor ruang 1, yang digunakan adalah *LUX* meter, *LDR* untuk intensitas cahaya dan *DHT-22* untuk suhu beserta kelembapan. *LUX* meter yang digunakan merk pabrikan Sunche HS1010, *LDR* yang digunakan merk pabrikan PR seri 5 mm (dilengkapi dengan modul rangkaian yang dibuat sendiri oleh penulis) dan *DHT-22* merk pabrikan AOSONG AM2302. d) Aktuator cahaya, suhu dan kelembapan ruang 1. Aktuator cahaya yang digunakan adalah *LED* 12 V pabrikan DRL6 *LED*/strip, dengan warna biru dan merah berkomposisi 50:50, set poin intensitas cahaya yang dibutuhkan setiap tanaman adalah 8000 *Lux*, dasar nilai ini adalah berdasar pada penelitian Szysmanska, R., et.al., tahun 2017 kondisi ideal pada pertumbuhan tanaman/objek biologi adalah dengan nilai *PAR* dibawah 300, namun juga tidak bernilai dibawah 100 *PAR*, dari penelitian pendahuluan didapat nilai *Lux* cahaya terbaik adalah 8000, dengan jumlah *LED* yang digunakan adalah 312 *LED* / tanaman, sehingga total digunakan 2496 *LED*. Jumlah tersebut sesuai dengan teori Xu Y, et.al. (2016), yang dimana cahaya *LED* biru memancarkan panjang gelombang 15-25 lumens dan cahaya *LED* merah memancarkan 40-50 *Lumens* (1000 *Lumens* = 1000 *Lux*, dengan luas pancaran 1 m²) .

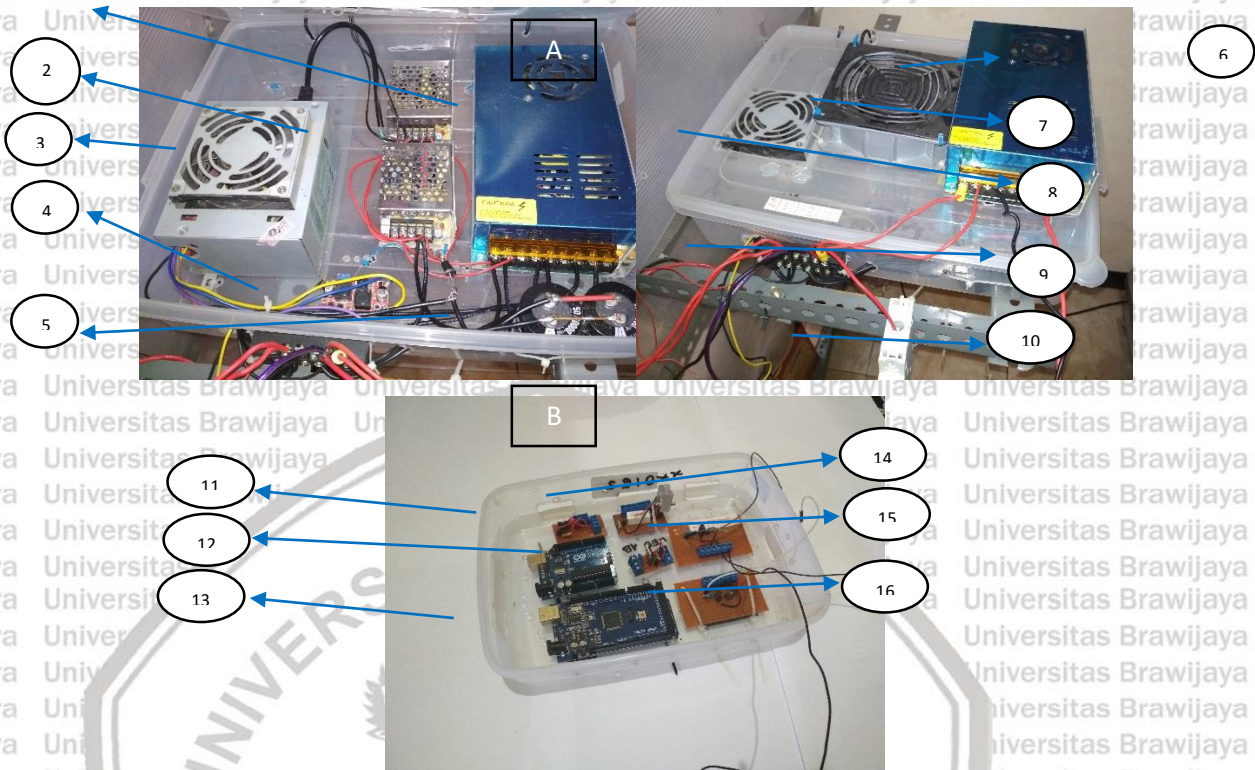
Suhu dikontrol dengan suhu 28° C, aktuator suhu menggunakan kipas DC 12V sebanyak 3 buah, suhu ruang 1 dikontrol sebesar 28° C selama 10 jam. Aktuator kelembapan menggunakan *mist maker ultrasonic Humidifier* mengontrol kelembapan ruangan bernilai 75% selama 10 jam per hari. Dalam penggunaannya pengkabut *ultrasonic* ini digunakan dalam wadah bervolume 2.7 liter, pada bagian tepi dilubangi dengan diameter 0.5 cm sebanyak 32 lubang sebagai keluaran kabut, semakin rendah jarak air dengan ujung pengkabut maka akan didapatkan kabut yang maksimal.

Komponen didalam ruang 1 selanjutnya adalah selang *Input* a dan selang *Input* b. Selang *Input* a adalah *Input* cairan nutrisi *AB-MIX* dari ruang 3, sedangkan selang *Input* b adalah *Input* air dari ruang 3 sebagai bahan pengkabutan *ultrasonic Humidifier* pada ruang 1. Tidak ada selang output untuk *Input* b karena air langsung digunakan oleh pengkabut dan intensitas air yang masuk diatur menggunakan kran pembagi.

Untuk ruang 2 komponen didalamnya sama dengan komponen ruang 1. Bedanya adalah logika kontrol yang digunakan adalah logika *ON/OFF*, berbeda dengan ruang 1 yang menggunakan logika *Fuzzy* dalam kontrolnya. Ruang 3 adalah ruangan yang berada dibawah sendiri, didalamnya terdapat bak nutrisi dan bak air sebagai sumber pengkabutan pada ruang 1 dan ruang 2. Bak nutrisi bervolume 16 liter dan bak air bervolume 12 liter. Pada masing-masing bak terdapat pompa sebagai penggerak air dari bawah ke atas baik untuk ruang 1 atau ruang 2, pompa menggunakan merk dagang AMARA seri h-3200, selang *Output* yang akan menjadi selang *Input* pada ruang 1 ruang 2 serta selang *Input* yang hanya dimiliki oleh bak nutrisi (bersumber selang *Output* nutrisi ruang 1 dan ruang 2). Selang *Output* nutrisi dan air *Humidifier* berdiameter 0.8 cm, sedangkan untuk selang *Input* nutrisi berdiameter 2.67 cm.

5.1.3 Sistem Elektrik *Ruang Semi Plant-Factory*

Rancangan sistem elektrik difungsikan untuk penyuplay listrik keseluruhan pada *plant factory* dan disatukan dalam bentuk box kontrol. Rancangan system elektrik dapat dilihat pada **Gambar 5.3** , sedangkan skema rangkaian elektrik dapat dilihat pada **Lampiran 13**.



Gambar 5. 3 a. Rancangan Sistem Elektrik Ruang Semi Plant-Factory b. Boks Kontrol

Bagian dan Fungsi :

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. Power Supply 12V 20A 1 | 9. Terminal AC dan DC |
| 2. Power Supply 5V 6A | 10. MCB 6A |
| 3. Power Supply 24V 1A | 11. Rangkaian PWM LED 1 |
| 4. Step UP DC to DC | 12. Rangkaian PWM LED 2 |
| 5. Kapasitor | 13. ARDUINO MEGA |
| 6. Power Supply 12V 20A 2 | 14. Rangkaian PWM HMD 1,2 |
| 7. Kipas AC | 15. Rangkaian PWM KIPAS 1 |
| 8. Kipas DC 24V 1A | 16. Rangkaian PWM KIPAS 2 |

Sumber listrik Ruang Semi Plant-Factory berasal dari listrik AC PLN 220 V yang dikonversi menjadi listrik DC 12V 20 A sebanyak 2 buah, listrik DC 5V 3A dua buah dan listrik DC 24V 12A. Untuk sumber tenaga listrik pada rangkaian ini menggunakan arus DC 12V 20A yang didapat dari listrik AC PLN 220V yang dikonversi ke listrik DC 20A. Beberapa komponen lain adalah 2 kapasitor sebagai penyimpan listrik cadangan, step up

DC to *DC* agar listrik yang keluar dari poer supply bernilai konstan, terutama untuk sumber *LED*. Arus listrik *DC* di sambungkan dengan terminal listrik agar mudah dalam penggunaan, yang nantinya akan digunakan sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen pada *Ruang Semi Plant-Factory*. Adapun komponen yang digunakan dan nilai voltase arus *DC* yang digunakan secara berurutan adalah sebagai berikut ; sensor DHT 22 12V, sensor *LDR* 12 V, *RTC DS3231* 10 12V, *ARDUINO MEGA* 12V 24V, relay 12V, modul *micro SD* 12V, aktuator suhu kipas *DC* 12V dan *Humidifier* 24V . Dari gambar 5.3a dapat dilihat, arus listrik AC masuk ke rangkaian *Ruang Semi Plant-Factory* melalui mini circuit breaker dengan seri pabrik C32N CL6 yang berkapasitas arus maksimal 1320VA dapat dilihat pada datasheet di **Lampiran 9** Lalu listrik masuk ke converter *DC* berjumlah 3 buah, dengan masing-masing spesifikasi 12V 20A, 12V 20A dan 24V 12A. Tujuan utama dari pemasangan *MCB (Mini Cicuit Breaker)* adalah menghindari terjadi konsleting listrik yang akan berdampak pada rusaknya komponen dalam *Ruang Semi Plant-Factory* dan kebakaran. Karena prinsip utama dari *MCB* adalah akan langsung memotong/mematikan listrik yang mengalir ketika arus listrik yang membebaninya melebihi kapasitas *MCB*. Dasar penentuan nilai *MCB* adalah dari jumlah komponen yang ada didalam *Ruang Semi Plant-Factory*. Adapun untuk kabel utama yang digunakan yaitu kabel tembaga non-serabut ukuran 1.5 mm² dengan kemampuan hantar arus (KHA) sebesar 18A.

3 buah converter AC *DC* yang digunakan pada *Ruang Semi Plant-Factory* dikumpulkan pada satu tempat dan demi keamanan didalamnya ditambah kipas AC sebagai pendingin sebagai pendingin tambahan converter, meskipun sejatinya didalam masing-masing converter sudah memiliki kipas pendingin. Selanjutnya listrik *DC* dialirkan ke dalam *Ruang Semi Plant-Factory* dan disiapkan terminal dan dibagi sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen. Terdapat 4 terminal listrik yang digunakan, *Ruang Semi Plant-Factory*

Fuzzy 2 terminal (12V dan 24 V) dan *Ruang Semi Plant-Factory ON/OFF 2* terminal (12V dan 24 V). Komponen elektronika selanjutnya adalah sistem pengairan pada *Ruang Semi Plant-Factory* yaitu pengairan nutrisi dan pengairan *Humidifier*. Menggunakan 2 bak, 2 pompa AC untuk nutrisi dan air *Humidifier* dengan kemampuan tinggi air 2.1 meter dan 1.8 meter secara berurutan. Masing-masing pompa hidup dan mati secara otomatis, pada jam 06.00-16.00 menggunakan timer AC pabrikan ber merk dagang KITANI. Penentuan durasi penyinaran ini disesuaikan dengan kondisi alamiah penyinaran matahari terhadap tanaman.

Dari pengujian menggunakan tang meter, dapat diketahui kebutuhan listrik untuk *LED* bernilai 1.6 A - 4.12 A pada setiap 1 rangkaian *LED* untuk 1 tanaman, pada voltase 12V. *Humidifier* membutuhkan nilai arus 0.8 A pada voltase 24 V. Kipas *DC* butuh nilai ampere 0.20 A dan voltase 12 V. Pompa Nutrisi 50 Watt dan pompa *Humidifier* 26 Watt. Dapat diketahui kebutuhan listrik pada *Ruang Semi Plant-Factory* sebagai berikut (Kozai, T., et.al. 2016).

Kebutuhan Daya Listrik

$P = V \times I$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

V = Voltase (V)

I = Arus (A)

- *LED*

$P = V \times I$

$P = 12 \text{ V} \times 4.12 \text{ A} \times 8 (\Sigma \text{tanaman})$

$P = 395.52 \text{ Watt}$

- *Humidifier*

$P = V \times I$

$P = 24 \text{ V} \times 0.8 \text{ A} \times 2 (\Sigma \text{Humidifier})$

$P = 38.4 \text{ Watt}$

- Kipas *DC*

$P = V \times I$

$P = 12 \text{ V} \times 0.20 \text{ A} \times 8 (\Sigma \text{Humidifier})$

$P = 19.2 \text{ Watt}$

- Pompa

$P_1 = 50 \text{ Watt}$ (Pompa 2.4 Meter)

$P_2 = 26 \text{ Watt}$ (Pompa 1.6 Meter)

Total kebutuhan listrik :

$= 395.52 \text{ Watt} + 38.4 \text{ Watt} + 19.2 \text{ Watt} + 50 \text{ Watt} + 26 \text{ Watt}$

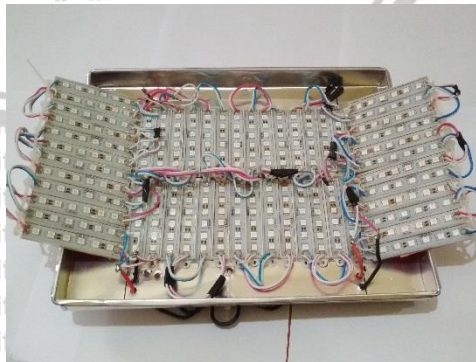
$$= 528.8 \text{ Watt}$$

$$= 0.5288 \text{ Kwh}$$

Pada gambar 5.3b dapat dilihat susunan rangkaian boks kontrol *Ruang Semi Plant-Factory*. Terdiri dari beberapa alat, yaitu *ARDUINO MEGA* sebagai otak sistem kendali *Ruang Semi Plant-Factory*, Rangkaian *PWM* kipas 1 dan kipas 2, rangkaian *PWM LED* 1 dan *LED* 2, serta yang terakhir adalah rangkaian *PWM* kipas *Humidifier* 1 dan *Humidifier* 2. Adapun fungsi pada setiap komponen adalah *PWM LED* terdiri dari 2, masing masing digunakan untuk logika *Fuzzy* dan logika *ON/OFF*. Komponen selanjutnya adalah *PWM* kipas, digunakan sebagai pengatur nilai *PWM* pada setiap logika dan komponen terakhir adalah *PWM* kipas untuk *Humidifier* yang juga masing-masing berjumlah 1.

5.1.4 Rangkaian Aktuator

5.1.4.1 Aktuator Cahaya LED

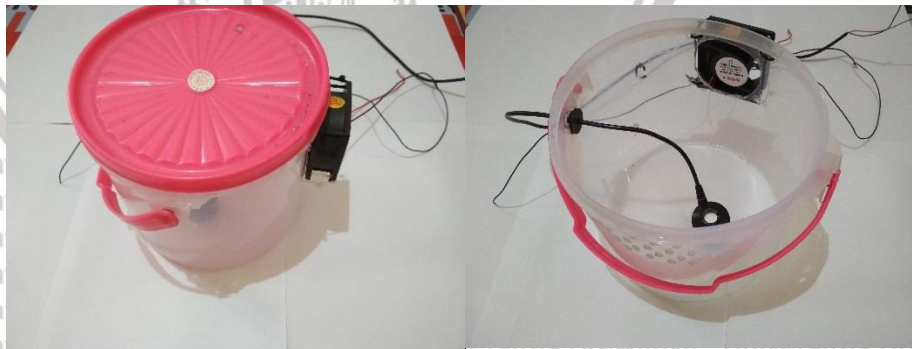


Gambar 5. 4 Rangkaian LED

Rangkaian LED terdiri dari LED biru dan LED merah, dengan total kebutuhan cahaya 8000 LUX, perbandingan intensitas LED merah dan LED biru adalah 50% :

50%. Berdasarkan pada penelitian Xu Y, et.al. 2016 dan untuk bisa menghasilkan intensitas cahaya bernilai 8000 *Lux*, maka dibutuhkan total *LED* adalah 2496 *LED*, mengingat *LED* biru menghasilkan intensitas cahaya sebesar 15-25 lumens/*LED* dan *LED* merah menghasilkan intensitas cahaya 40-50 lumens/*LED* (Xu, Y., et, al. 2016). Dalam penelitian ini digunakan *LED* berjumlah 312, dengan rincian *LED* merah berjumlah 156 dan *LED* biru berjumlah 156, pada setiap tanaman. Adapun kebutuhan listrik dapat diketahui sebesar 1.6 A – 4.12 A dan nilai voltasenya 12 V per tanaman . sehingga jika ditotal untuk kebutuhan listrik pada *Ruang Semi Plant-Factory* berjumlah 528.88 Watt. Sumber listrik pada *Ruang Semi Plant-Factory* sendiri total berjumlah 40A pada 12V, 3A pada 5V dan 12A pada 24V. *LED* disusun pada tempat yang terbuat dari alumunium yang berukuran 29 cm x 23 cm x 2.5 cm (panjang x lebar x tinggi), disusun secara sejajar pada bagian tengah sebanyak 28 rangkaian *LED* dan posisi 22.5° pada bagian atas dan bawah sejumlah 12 rangkaian *LED*.

5.1.4.2 Aktuator Kelembapan



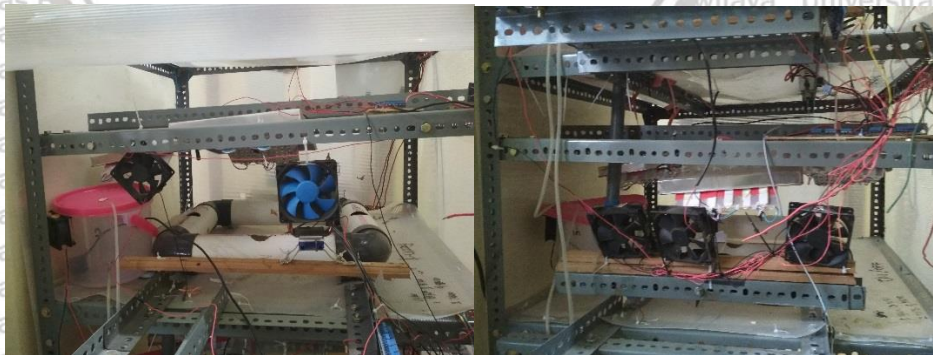
Gambar 5.5 Aktuator Kelembapan

Aktuator kelembapan dapat dilihat pada Gambar 5.7, terdiri dari wadah plastik bervolume 2.7 liter, pada bagian tepi dilubangi dengan diameter 0.5 cm sebanyak 32 lubang sebagai keluaran kabut, semakin rendah jarak air dengan ujung

pengkabut maka akan didapatkan kabut yang maksimal. Didalamnya terdapat humidifier ber merk dagang ultrasonic mist maker pond fontain dengan nilai voltase 24V 0.8A, didalamnya juga terdapat kipas DC 12V, lubang Output sebagai keluaran air yang telah dikabutkan.

Dalam kerjanya pengkabut ini (*ultrasonic mist maker*) punya spesifikasi yang dapat dilihat pada **Lampiran 9**. Secara aktual dalam kerjanya, pengkabut ini dapat bekerja dengan maksimal ketika tinggi cairan diatasnya tidak lebih dari 2 cm. Hasil pengkabutan akan disebar dengan bantuan kipas DC 12V. Nilai kelembapan didalam ruangan dapat diatur sesuai kebutuhan dengan cara mengatur kecepatan kipas DC 12V yang ada pada *Humidifier*. Perlu diketahui alat ini dibuat sendiri oleh penulis, disesuaikan dengan kebutuhan pengkabutan serta ukuran tempat perlakuan berukuran tidak terlalu besar. Total rangkaian alat pengkabut yang digunakan adalah 2 buah, dengan masing-masing logika menggunakan alat secara mandiri, tingkat atas logika *Fuzzy* dan tingkat bawah logika *ON/OFF*. Untuk posisi alat ini berada dibagian ujung ruangan.

5.1.4.3 Aktuator Suhu



Gambar 5. 6 Aktuator Suhu

Aktuator suhu yang digunakan pada penelitian ini adalah kipas DC 12V. Total kipas yang digunakan pada *Ruang Semi Plant-Factory* adalah 6 buah atau per

Logika menggunakan 3 buah kipas (Dambrosio, L. 2017). Penentuan jumlah kipas disesuaikan dengan ukuran ruang yang dikontrol dan suhu *set point*. Untuk dimensi kipas DC 12V yang digunakan adalah 8 cm x 8 cm x 8 cm (panjang x lebar x tinggi), diameter kipas sendiri adalah 7,5 cm. Posisi penentuan kipas bersebelahan dengan *Humidifier*. Alasan penggunaan kipas ini adalah disesuaikan dengan kebutuhan dan dalam pengontrolan suhu sesuai dengan penelitian (Revathi, S., and Sivakumaran N. 2016). Kelemahan actuator kipas ini adalah tidak dapat untuk meningkatkan suhu secara signifikan dan tidak bisa untuk menurunkan suhu ruangan.

Menurut buku Fisiologi Tanaman karangan Gardner, et. Al tahun 1991, ditulis bahwa setiap tanaman yang di tanam diruang tertutup, akan punya kecenderungan untuk mengalami peningkatan suhu dan kelembapan, seperti contoh nyata adalah sayur yang akan dijual ketika dibungkus dengan plastik akan terasa hangat dan plastik tersebut akan berair. Pada penelitian ini sejatinya tanaman juga mengalami hal tersebut, namun dari hasil pengamatan terlihat bahwa hal tersebut tidak terlalu nampak dikarenakan jumlah tanaman dan ukuran ruangan yang cukup besar serta dengan adanya intensitas cahaya LED dengan set poin $667.2 \text{ PAR} = 8000 \text{ LUX}$.

5.2 Rancangan Software

5.2.1 Nilai Fuzzy

Logika Fuzzy menjadi landasan pendekatan utama dalam penelitian ini, yang nanti berhubungan langsung dengan program pada mikrokontroler arduino berupa nilai PWM, program dalam arduino dapat dilihat secara lengkap pada Lampiran 10. Logika Fuzzy

digunakan sebagai metode penentuan nilai *PWM* kontrol suhu, kelembapan dan intensitas cahaya *Ruang Semi Plant-Factory* (T. J. Ross. 2010).

5.2.1.1 Logika Fuzzy Suhu Dan Kelembapan

Pengambilan Data *Primer* dilakukan dengan cara menguji kinerja *Ruang Semi Plant-Factory* dengan keadaan aktuator suhu dan aktuator kelembapan pada kondisi maksimal dan minimal (A. Zadeh. 1965 and M. Krupka. 2017). Pengujian ini dilakukan selama 60 menit, data yang didapatkan akan digunakan sebagai dasar proses *Fuzzyfikasi*, yaitu pada penentuan semesta pembicaraan, pembentukan himpunan *Fuzzy* dan penentuan jenis kurva *Fuzzyfikasi* yang digunakan (Horiuchi, J. 2002 dan T. J. Ross. 2010). Pengambilan data ini menggunakan sensor DHT22. Data primer dapat dilihat pada tabel

5.1.

Tabel 5. 1 Data *Primer* Uji Performa *Ruang Semi Plant-Factory*

WAKTU UJI	SUHU		KELEMBAPAN	
	MAKS	MIN	MAKS	MIN
00:00:01	32°C	29°C	57%	52%
00:02:01	35°C	26°C	70%	48%
00:04:01	35°C	26°C	84%	47%
00:06:01	36°C	25°C	90%	46%
00:08:01	36°C	26°C	94%	45%
00:10:01	36°C	27°C	90%	45%
00:12:01	35°C	27°C	88%	46%
00:14:01	36°C	26°C	90%	46%
00:16:02	35°C	25°C	89%	46%
00:18:01	34°C	26°C	92%	47%
00:20:01	34°C	27°C	91%	47%
00:22:02	35°C	26°C	87%	46%
00:24:01	36°C	26°C	89%	45%

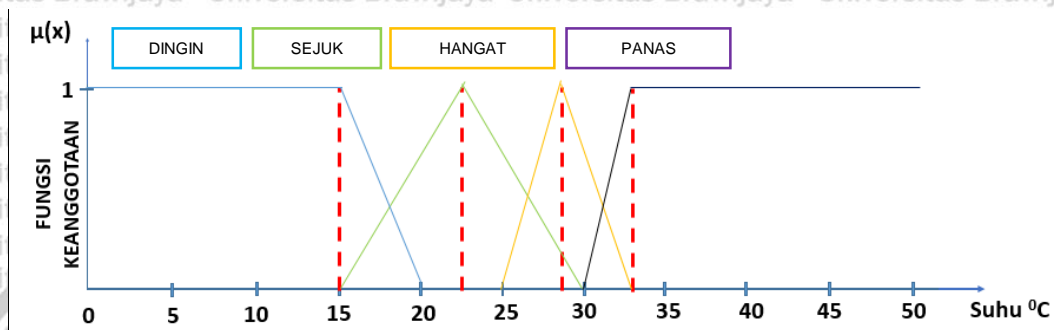
00:26:01	35°C	26°C	92%	46%
00:28:01	35°C	27°C	90%	46%
00:30:01	36°C	27°C	93%	47%
00:32:02	35°C	27°C	89%	45%
00:34:01	34°C	25°C	88%	45%
00:36:01	35°C	26°C	90%	46%
00:38:01	36°C	27°C	93%	46%
00:40:01	35°C	26°C	88%	44%
00:42:01	35°C	26°C	89%	46%
00:44:01	35°C	26°C	90%	45%
00:46:01	35°C	25°C	94%	47%
00:48:01	34°C	25°C	87%	47%
00:50:01	35°C	26°C	90%	46%
00:52:01	34°C	26°C	88%	45%
00:54:01	36°C	27°C	89%	44%
00:56:02	36°C	26°C	91%	45%
00:58:02	35°C	27°C	9%0	46%
01:00:01	35°C	27°C	91%	46%

Fuzzyfikasi dilakukan dengan tujuan pengonversian nilai tegas hasil dari data primer, dirubah menjadi nilai Fuzzy. Pengertian nilai tegas atau bisa disebut nilai crisp adalah suatu himpunan bilangan yang punya nilai keanggotaan YA (1) dan TIDAK (0), sedangkan pengertian nilai himpunan Fuzzy adalah suatu himpunan bilangan yang punya nilai keanggotaan diantara 1 dan 0, contoh bisa bernilai 0.20 dan 0,95, nilainya bebas namun tetap didalam batas 0-1.

Proses yang terjadi dalam tahap Fuzzyfikasi adalah membentuk himpunan Fuzzy dengan batasan/semesta pembicaraan tertentu. Himpunan Fuzzy dibentuk menggunakan kurva, adapun jenis kurva himpunan Fuzzy beberapa diantaranya adalah: kurva linier, kurva segitiga, kurva trapesium, kurva bahu dan kurva S

[5,8,9,10]. Hasil Nilai *Output* dari tahap *Fuzzyfikasi* nilai adalah fungsi keanggotaan variabel (μ) dan akan digunakan sebagai *Input* pada tahap inferensi *Fuzzy*.

Pembentukan Himpunan Fuzzy. terdapat 2 jenis himpunan *Fuzzy*, yaitu himpunan *Fuzzy* suhu dan himpunan *Fuzzy* kelembapan.



Gambar 5. 7 Himpunan *Fuzzy* Pada Variabel Suhu

Semesta pembicaraan variabel suhu : [0 50]

Domain himpunan *Fuzzy* :

- DINGIN : $x \leq 20$
- SEJUK : $15 \leq x \leq 30$
- HANGAT : $25 \leq x \leq 33$
- PANAS : $x \geq 30$

Fungsi keanggotaan variabel suhu :

$$\mu_{\text{DINGIN}} = \begin{cases} 1; & x \leq 15 \\ \frac{(20-x)}{(20-15)}; & 15 \leq x \leq 20 \\ 0; & x \geq 20 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{SEJUK}} = \begin{cases} 0; & x \leq 15 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{(x-15)}{(22.5-15)}; & 15 \leq x \leq 25 \\ \frac{(30-x)}{(30-22.5)}; & 22.5 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{HANGAT}} = \begin{cases} 0; & x \leq 25 \text{ atau } x \geq 33 \\ \frac{(x-25)}{(29-25)}; & 25 \leq x \leq 29 \\ \frac{(33-x)}{(33-29)}; & 29 \leq x \leq 33 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{PANAS}} = \begin{cases} 1; & x \leq 30 \\ \frac{(33-x)}{(33-30)}; & 30 \leq x \leq 33 \\ 1; & x \geq 33 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan variabel suhu bernilai $\neq 0$:

a. $\mu_{\text{SEJUK}} (28^\circ)$:

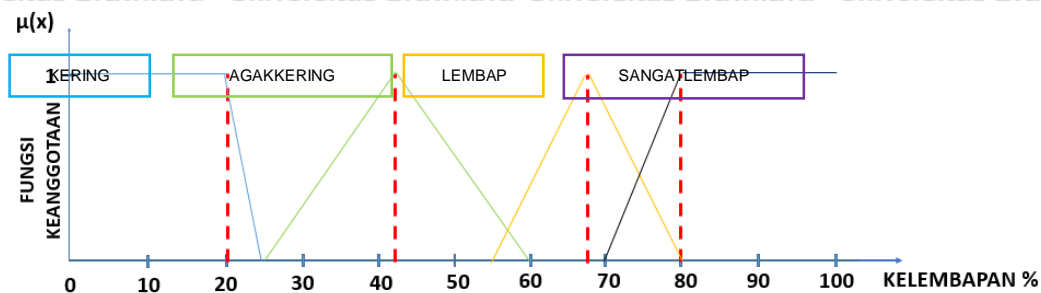
$$\frac{(30-x)}{(30-22.5)}; \quad 22.5 \leq x \leq 30$$

$$\frac{(30 - 28)}{(30 - 22.5)} = \frac{2}{7.5} = 0.2667$$

b. $\mu_{\text{HANGAT}} (28^\circ)$:

$$\frac{(x-25)}{(29-25)}; \quad 25 \leq x \leq 29$$

$$\frac{(28 - 25)}{(29 - 25)} = \frac{3}{4} = 0.75$$



Gambar 5. 8 Himpunan Fuzzy Pada Variabel Kelembapan

Semesta pembicaraan variabel kelembapan : [0 100]

Domain himpunan Fuzzy :

KERING : $x \leq 25$

AGAKKERING : $25 \leq x \leq 60$

LEMBAP : $55 \leq x \leq 80$

SANGATLEMBAP : $x \geq 70$

Fungsi keanggotaan variabel kelembapan :

$$\mu_{\text{KERING}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 20 \\ \frac{(30-x)}{(30-25)} & ; 20 \leq x \leq 25 \\ 0 & ; x \geq 25 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{AGAKKERING}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 25 \text{ atau } x \geq 60 \\ \frac{(x-25)}{(42.5-25)} & ; 20 \leq x \leq 42.5 \\ \frac{(60-x)}{(60-42.5)} & ; 42.5 \leq x \leq 60 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{LEMBAP}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 55 \text{ atau } x \geq 80 \\ \frac{(x-55)}{(67.5-55)} & ; 55 \leq x \leq 67.5 \\ \frac{(80-x)}{(80-67.5)} & ; 67.5 \leq x \leq 80 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{SANGATLEMBAP}} = \begin{cases} 1 & ; x \geq 80 \\ \frac{(x-70)}{(80-70)} & ; 70 \leq x \leq 80 \\ 0 & ; x \leq 70 \end{cases}$$

Sistem Inferensi *Fuzzy FIS* merupakan sistem pengolahan nilai dari logika *Fuzzy* [6], dibuat aturan *Fuzzy* /basis aturan *Fuzzy* dengan beberapa nilai variabel tergantung pada masalah yang akan diselesaikan. Setelah dibuat aturan *Fuzzy* tahap *FIS* selanjutnya adalah penyelesaian masalah, sistem inferensi *Fuzzy* sendiri punya beberapa metode, antara lain: metode tsukamoto, metode mamdani dan metode sugeno (T. J. Ross. 2010).

FIS suhu dan kelembapan menggunakan metode *tsukamoto* dengan fungsi implikasi *MIN* (A.Riesgo., et.al. 2018 and M. Krupka. 2017).

Membuat Basis Aturan *Fuzzy*. Fungsinya sebagai aturan dalam operasi *Fuzzyfikasi*.

Mengingat variabel *Input* berjumlah 2 dan masing-masing memiliki 4 *membership*, maka total aturan *Fuzzy* yang digunakan adalah 16 (T. J. Ross. 2010) dapat dilihat pada tabel 2.

Fungsi keanggotaan variabel kelembapan bernilai $\neq 0$:

a. $\mu_{LEMBAP}(75)$:

$$\frac{(80-x)}{(80-67.5)} ; 67.5 \leq x \leq 80$$

$$\frac{(80 - 75)}{(80 - 67.5)} = \frac{5}{12.5} = 0.4$$

b. $\mu_{SANGATLEMBAP}(75)$:

$$\frac{(x-70)}{(80-70)} ; 70 \leq x \leq 80$$

$$\frac{(75 - 70)}{(80 - 70)} = \frac{5}{10} = 0.5$$

Tabel 5. 2 Basis Aturan *Fuzzy* Suhu dan Kelembapan

Fuzzy Rules	KG	AKG	LP	SLP
DN	R1	R5	R9	R13

SK	R2	R6	R10	R14
HT	R3	R7	R11	R15
PS	R4	R8	R12	R16

Keterangan :

DN : Dingin KG : Kering

SK : Sejuk AGK : Agak Kering

HT : Hangat LP : Lembap

PS : Panas SLP : Sangat Lembap

Dapat dilihat pada **Tabel 5.2**, dapat diterangkan sebagai berikut :

1. Sinyal kendali berlatar belakang warna putih bernilai predikat $\alpha = 0$, setelah di masukkan kedalam aturan *Fuzzy* menggunakan fungsi AND.
2. Sinyal kendali berlatar belakang warna kuning bernilai $\neq 0$, nilainya akan digunakan dan dikonversi dalam bentuk *PWM* (Pulse Width Modulation), dimana nantinya akan berfungsi sebagai nilai *Output*.

Rule Fuzzy :

$$R1. \alpha \text{ predikat } 1 = \mu_{KG} \cap \mu_{DN} \\ = (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R2. \alpha \text{ predikat } 2 = \mu_{KG} \cap \mu_{SK} \\ = (\text{MIN } (0.00), (0.2667))$$

$$= 0.00$$

$$R3. \alpha \text{ predikat } 3 = \mu_{KG} \cap \mu_{HT} \\ = (\text{MIN } (0.00), (0.75))$$

$$= 0.00$$

$$R4. \alpha \text{ predikat } 4 = \mu_{KG} \cap \mu_{PS}$$

$$R9. \alpha \text{ predikat } 9 = \mu_{LP} \cap \mu_{DN} \\ = (\text{MIN } (0.4), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R10. \alpha \text{ predikat } 10 = \mu_{LP} \cap \mu_{SK} \\ = (\text{MIN } (0.4), (0.2667))$$

$$= 0.2667$$

$$R11. \alpha \text{ predikat } 11 = \mu_{LP} \cap \mu_{HT} \\ = (\text{MIN } (0.4), (0.75))$$

$$= 0.4$$

$$R12. \alpha \text{ predikat } 12 = \mu_{LP} \cap \mu_{PS}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R5. \alpha \text{ predikat } 5 = \mu_{AKG} \cap \mu_{DN}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R6. \alpha \text{ predikat } 6 = \mu_{AKG} \cap \mu_{SK}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.2667))$$

$$= 0.00$$

$$R7. \alpha \text{ predikat } 7 = \mu_{AKG} \cap \mu_{HT}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.75))$$

$$= 0.00$$

$$R8. \alpha \text{ predikat } 8 = \mu_{AKG} \cap \mu_{PS}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$= (\text{MIN} (0.4),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R13. \alpha \text{ predikat } 13 = \mu_{SLP} \cap \mu_{DN}$$

$$= (\text{MIN} (0.5),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R14. \alpha \text{ predikat } 14 = \mu_{SLP} \cap \mu_{SK}$$

$$= (\text{MIN} (0.5),(0.2667))$$

$$= 0.2667$$

$$R15. \alpha \text{ predikat } 15 = \mu_{SLP} \cap \mu_{HT}$$

$$= (\text{MIN} (0.5),(0.75))$$

$$= 0.5$$

$$R16. \alpha \text{ predikat } 16 = \mu_{SLP} \cap \mu_{PS}$$

$$= (\text{MIN} (0.5),(0.00))$$

$$= 0.00$$

Proses Defuzzifikasi. Metode deFuzzyfikasi yang digunakan adalah AVERAGE. Diambil nilai rata-rata dari hasil tahap Fuzzyfikasi yang bernilai $\neq 0$.

$$\alpha x = \frac{((PWM \text{ MAX}) - (Zx))}{(PWM \text{ MAX})}$$

Keterangan :

αx : Nilai Himpunan Fuzzy

PWM MAX : 1023

Zx : Nilai DeFuzzyfikasi ke-x

Dijawab :

- α predikat 10

$$Z_{10} = 750.1659$$

- α predikat 11

$$Z_{11} = 613.8$$

- α predikat 14

$$Z_{14} = 750.1659$$

- α predikat 15

$$Z_{15} = 511.5$$

Konversi Nilai DeFuzzyfikasi Ke Bentuk *PWM (Pulse Width Modulation)*. Ini merupakan tahap akhir dari pendekatan *Fuzzy*, nilai yang didapat akan digunakan sebagai aturan dalam program logika *Fuzzy*.

$$Z_{PWM} = \frac{((\alpha 1)(Z_1) + (\alpha 2)(Z_2) + \dots + (\alpha n)(Z_n))}{\sum \alpha}$$

$$Z_{PWM} = 628.8515$$

Pada faktanya nilai *PWM* untuk aktuator suhu dan kelembapan hasil perhitungan diatas belum bisa mencapai nilai *set point*, mengingat desain awal dan hasil rancangan *Ruang Semi Plant-Factory* tidak full closed, sehingga tetap ada nilai suhu dan nilai kelembapan yang hilang. Untuk menyiasati naiknya nilai suhu dan turunnya nilai kelembapan didalam *Ruang Semi Plant-Factory*, nilai *PWM* aktuator dimodifikasi dengan dasar pada hasil pengujian/trial *error*. Didapatkan rumus kalibrasi defuzzyfikasi baru untuk *Ruang Semi Plant-Factory* sesuai dengan set nilai poin :

$$\alpha x = \frac{((PWM \text{ MAX}) - (Zx))}{(PWM \text{ MAX} - 150)}$$

- α predikat 10
 $Z_{10} = 790.1709$
- α predikat 11
 $Z_{11} = 673.8$
- α predikat 14
 $Z_{14} = 790.1709$
- α predikat 15
 $Z_{15} = 586$

$$Z_{PWM} = \frac{((\alpha 1)(Z_1) + (\alpha 2)(Z_2) + \dots + (\alpha n)(Z_n))}{\sum \alpha}$$

$$Z_{PWM} = \frac{((293) + (210.7385) + (269.52) + (210.7358))}{(1.4334)}$$

$$Z_{PWM} = \frac{983.9916}{1.4334} = 686.4738$$

5.2.1.2 Logika *Fuzzy* Intensitas Cahaya

Pengambilan Data *Primer* dilakukan dengan cara menguji kinerja *Ruang Semi Plant-Factory* dengan keadaan aktuator intensitas cahaya (*LED*). Sama seperti data suhu dan

kelembapan, pengujian ini dilakukan selama 60 menit, data yang didapatkan akan digunakan sebagai dasar proses *Fuzzyfikasi*, yaitu pada penentuan semesta pembicaraan, pembentukan himpunan *Fuzzy* dan penentuan jenis kurva *Fuzzyfikasi* yang digunakan (M.A. Mickensa. et.al. 2019 and T. J. Ross. 2010). *Set point* intensitas cahaya adalah 8000 LUX= 667.2 PAR, berdasar pada penelitian pendahuluan penulis **Lampiran**

1. Pengambilan data intensitas cahaya menggunakan LUX meter dan pencatatan bersifat semi otomatis. *Nilai intensitas cahaya berupa LUX meter secara keseluruhan akan dikonversi dalam satuan PAR (Photosynthetically Active Radiation)*. Nilai konversi LUX menjadi PAR dapat dilihat pada **tabel 5.3** berdasar pada penelitian Thimijan, R. W., R. D. Heins. 1983 dan Holmes, M. G., W. H. Klein. J. C. Sager. 1985.

Tabel 5. 3 Nilai konversi LUX menjadi PAR

NILAI SOURCES	Nilai LUX	Nilai PAR
Cahaya Matahari	1	0.018519
LED Biru dan Merah	1	0.0834

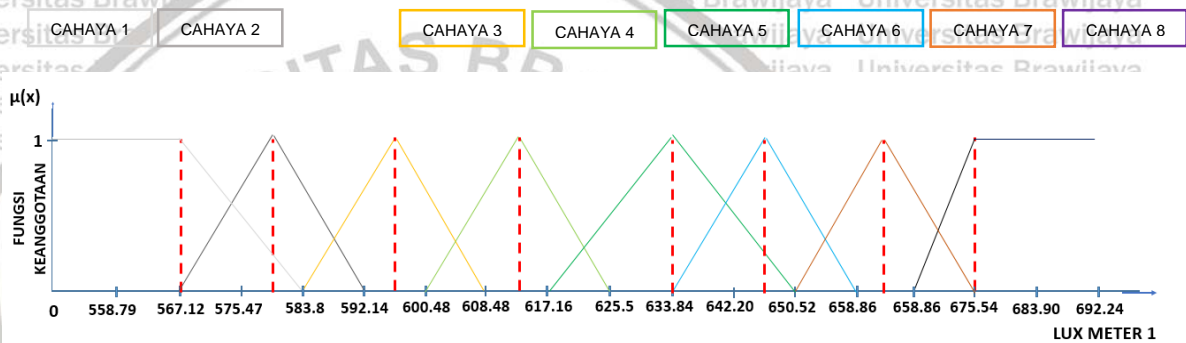
Tabel 5. 4 Data Uji Performa Intensitas Cahaya Ruang Semi Plant-Factory

WAKTU UJI	LUX METER 1		LUX METER 2	
	MAKS	MIN	MAKS	MIN
00:00:01	354.45	1.5846	358.62	1.5012
00:02:01	738.924	1.5012	742.26	1.5012
00:04:01	729.75	1.5012	746.43	1.5012
00:06:01	733.92	1.5012	751.434	1.5846
00:08:01	743.094	1.5012	748.932	1.5846
00:10:01	746.43	1.5012	741.843	1.5012
00:12:01	736.422	1.5012	733.92	1.5012
00:14:01	742.26	1.5012	729.75	1.5012

00:16:02	738.924	1.5846	733.086	1.5012
00:18:01	733.086	1.5846	736.005	1.5846
00:20:01	730.167	1.5012	737.256	1.5012
00:22:02	740.592	1.5012	744.345	1.4178
00:24:01	744.345	1.5012	746.847	1.668
00:26:01	746.43	1.5012	751.017	1.668
00:28:01	751.017	1.5846	746.013	1.668
00:30:01	746.013	1.5012	742.26	1.5012
00:32:02	734.337	1.4178	739.758	1.5846
00:34:01	739.758	1.668	741.426	1.668
00:36:01	735.171	1.668	744.345	1.5846
00:38:01	742.26	1.668	747.681	1.5012
00:40:01	739.341	1.5012	750.6	1.5012
00:42:01	738.507	1.5846	749.766	1.5012
00:44:01	736.005	1.5012	748.098	1.668
00:46:01	733.92	1.5012	743.928	1.5012
00:48:01	733.503	1.5012	741.009	1.5846
00:50:01	737.673	1.5012	738.09	1.668
00:52:01	738.924	1.5012	742.26	1.668
00:54:01	738.507	1.5846	741.426	1.5012
00:56:02	742.26	1.5846	738.09	1.5012
00:58:02	736.005	1.5012	740.175	1.5846
01:00:01	735.588	1.4178	742.26	1.5012

Fuzzyfikasi pada intensitas cahaya sama dengan pada Fuzzy suhu dan kelembapan, dimana dilakukan dengan tujuan pengonversian nilai tegas hasil dari data *primer*, dirubah menjadi nilai *Fuzzy*. Proses yang terjadi dalam tahap *Fuzzy*ikasi adalah membentuk himpunan *Fuzzy* dengan batasan/semesta pembicaraan tertentu. Himpunan *Fuzzy*

intensitas cahaya dibentuk menggunakan kurva bahu (T. J. Ross, 2010 and M.A. Mickensa., et.al. 2019). Hasil Nilai *Output* dari tahap *Fuzzyfikasi* nilai adalah fungsi keanggotaan variabel (μ) dan akan digunakan sebagai *Input* pada tahap inferensi *Fuzzy*.
8000 LUX=667.2 PAR.



Gambar 5. 9 Himpunan Fuzzy Pada Variabel Cahaya

Pembentukan Himpunan Fuzzy. terdapat 2 jenis himpunan Fuzzy, yaitu himpunan Fuzzy LUX meter 1 dan himpunan LUX meter 2.

Semesta pembicaraan variabel LUX METER 1 : [0 750.6] PAR

Domain himpunan Fuzzy:

- CAHAYA 1 : $x \leq 583.8$
- CAHAYA 2 : $567.12 \leq x \leq 592.14$
- CAHAYA 3 : $583.8 \leq x \leq 608.82$
- CAHAYA 4 : $600.48 \leq x \leq 625.5$
- CAHAYA 5 : $617.16 \leq x \leq 650.52$
- CAHAYA 6 : $633.84 \leq x \leq 658.86$
- CAHAYA 7 : $650.52 \leq x \leq 675.54$



UNIVERSITAS CAHAYA 8 : $x \geq 658.86$

Fungsi Keanggotaan Variabel *LUX METER* 1 :

$$\mu_{\text{CAHAYA1}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 567.12 \\ \frac{(583.8-x)}{(583.8-567.12)} & ; 567.12 \leq x \leq 583.8 \\ 0 & ; x \geq 583.8 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{CAHAYA2}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 567.12 \text{ atau } x \leq 592.14 \\ \frac{(x-567.12)}{(6950-567.12)} & ; 567.12 \leq x \leq 579.63 \\ \frac{(592.14-x)}{(592.14-579.63)} & ; 579.63 \leq x \leq 592.14 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{CAHAYA3}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 583.8 \text{ atau } x \geq 608.82 \\ \frac{(x-583.8)}{(596.31-583.8)} & ; 583.8 \leq x \leq 596.31 \\ \frac{(608.82-x)}{(608.82-583.8)} & ; 596.31 \leq x \leq 608.82 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{CAHAYA4}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 600.48 \text{ atau } x \geq 625.5 \\ \frac{(x-600.48)}{(612.99-600.48)} & ; 600.48 \leq x \leq 612.99 \\ \frac{(625.5-x)}{(625.5-612.99)} & ; 612.99 \leq x \leq 625.5 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{CAHAYA5}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 617.16 \text{ atau } x \geq 650.52 \\ \frac{(x-617.16)}{(633.84-617.16)} & ; 617.16 \leq x \leq 633.84 \\ \frac{(650.52-x)}{(650.52-633.84)} & ; 633.84 \leq x \leq 650.52 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{CAHAYA6}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 633.84 \text{ atau } x \geq 658.86 \\ \frac{(x-646.35)}{(658.86-642.18)} & ; 633.84 \leq x \leq 646.35 \\ \frac{(658.86-x)}{(658.86-646.35)} & ; 646.35 \leq x \leq 658.86 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{CAHAYA7}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 650.52 \text{ atau } x \geq 675.54 \\ \frac{(x-650.52)}{(663.03-650.52)} & ; 650.52 \leq x \leq 663.03 \\ \frac{(675.54-x)}{(675.54-663.03)} & ; 663.03 \leq x \leq 675.54 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{CAHAYA8}} = \begin{cases} 1 & ; x \geq 675.54 \\ \frac{(x-658.86)}{(675.54-658.86)} & ; 658.86 \leq x \leq 675.54 \\ 0 & ; x \leq 658.86 \end{cases}$$

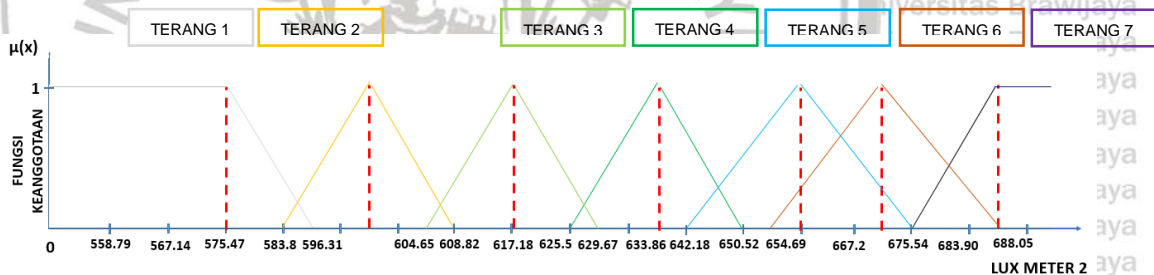
Fungsi keanggotaan variabel CAHAYA bernilai ≠ 0 :

- $$\mu_{\text{CAHAYA7}} = \frac{(675.54-x)}{(675.54-663.03)} ; 663.03 \leq x \leq 675.54$$

$$= \frac{(675.54-667.2)}{(675.54-663.03)} = \frac{8.34}{12.51} = 0.6667$$

- $$\mu_{\text{CAHAYA8}} = \frac{(x-658.86)}{(675.54-658.86)} ; 658.86 \leq x \leq 675.54$$

$$= \frac{(667.2-658.86)}{(675.54-658.86)} = \frac{8.34}{16.68} = 0.5$$



Gambar 5.10 Himpunan Fuzzy Pada Variabel Terang

Semesta pembicaraan variabel LUX METER 2 : [0 750.6] PAR

Domain himpunan Fuzzy:

- TERANG 1 : $x \leq 596.31$
- TERANG 2 : $583.8 \leq x \leq 608.82$
- TERANG 3 : $604.65 \leq x \leq 629.67$
- TERANG 4 : $625.5 \leq x \leq 650.52$
- TERANG 5 : $642.18 \leq x \leq 675.54$
- TERANG 6 : $654.69 \leq x \leq 688.05$
- TERANG 7 : $x \geq 675.54$

Fungsi Keanggotaan Variabel LUX METER 2 :

$$\mu_{\text{TERANG1}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 575.46 \\ \frac{(587.97-x)}{(587.97-575.46)} & ; 575.46 \leq x \leq 587.97 \\ 0 & ; x \geq 587.97 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG2}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 583.8 \text{ atau } x \leq 608.82 \\ \frac{(x-583.8)}{(596.31-583.8)} & ; 583.8 \leq x \leq 596.31 \\ \frac{(608.82-x)}{(608.82-596.31)} & ; 596.31 \leq x \leq 608.82 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG3}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 604.65 \text{ atau } x \geq 629.67 \\ \frac{(x-604.65)}{(617.16-604.65)} & ; 604.65 \leq x \leq 617.16 \\ \frac{(629.67-x)}{(629.67-617.16)} & ; 617.16 \leq x \leq 629.67 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG4}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 625.5 \text{ atau } x \geq 650.52 \\ \frac{(x-625.5)}{(638.01-625.5)} & ; 625.5 \leq x \leq 638.01 \\ \frac{(650.52-x)}{(650.52-638.01)} & ; 638.01 \leq x \leq 650.52 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG5}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 642.18 \text{ atau } x \geq 675.54 \\ \frac{(x-642.18)}{(658.86-642.18)} & ; 642.18 \leq x \leq 658.86 \\ \frac{(675.54-x)}{(675.54-658.86)} & ; 658.86 \leq x \leq 675.54 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG6}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 654.69 \text{ atau } x \geq 688.05 \\ \frac{(x-654.69)}{(671.37-654.69)} & ; 654.69 \leq x \leq 671.37 \\ \frac{(688.05-x)}{(688.05-679.71)} & ; 679.71 \leq x \leq 688.05 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG7}} = \begin{cases} 1 & ; x \geq 688.05 \\ \frac{(x-679.71)}{(688.05-679.71)} & ; 679.71 \leq x \leq 688.05 \\ 0 & ; x \leq 679.71 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan variabel TERANG bernilai ≠ 0 :

- $$\mu_{\text{TERANG5}} = \frac{(675.54-x)}{(675.54-658.86)} ; 658.86 \leq x \leq 675.54$$

$$= \frac{(675.54-667.2)}{(675.54-658.86)} = \frac{8.34}{16.68} = 0.5$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{TERANG6}} &= \frac{(x-654.69)}{(8050-654.69)} ; 654.69 \leq x \leq 8050 \\ &= \frac{(667.2-654.69)}{(671.37-654.69)} = \frac{12.51}{16.68} = 0.75 \end{aligned}$$

Sistem Inferensi *Fuzzy FIS* merupakan sistem pengolahan nilai dari logika *Fuzzy*, sama dengan *Fuzzy* suhu dan *Fuzzy* kelembapan pada tahap ini dibuat aturan *Fuzzy* /basis aturan *Fuzzy* dengan beberapa nilai variabel, tergantung pada masalah yang akan diselesaikan.

Setelah dibuat aturan *Fuzzy* tahap *FIS* selanjutnya adalah penyelesaian masalah, sistem inferensi *Fuzzy* sendiri punya beberapa metode, antara lain: metode tsukamoto, metode mamdani dan metode sugeno (T. J. Ross. 2010). *FIS* intensitas cahaya menggunakan metode *tsukamoto* dengan fungsi implikasi *MIN* (A.Riesgo., et.al. 2018).

Membuat Basis Aturan *Fuzzy*. Fungsinya sebagai aturan dalam operasi *Fuzzyfikasi*.

Total rule *Fuzzy* yang dibuat adalah 56 aturan, mengingat variabel *Input* berjumlah 2 dan masing-masing memiliki 8 *membership*.

Tabel 5. 5 Basis Aturan *Fuzzy* Intensitas Cahaya

Fuzzy Rules	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7
CHY1	R1	R9	R17	R25	R33	R41	R49
CHY2	R2	R10	R18	R26	R34	R42	R50
CHY3	R3	R11	R19	R27	R35	R43	R51
CHY4	R4	R12	R20	R28	R36	R44	R52
CHY5	R5	R13	R21	R29	R37	R45	R53
CHY6	R6	R14	R22	R30	R38	R46	R54
CHY7	R7	R15	R23	R31	R39	R47	R55
CHY8	R8	R16	R24	R32	R40	R48	R56

Keterangan :

CHY 1-8 : CAHAYA ke 1-8

TR 1-7 : TERANG ke 1-7

Dapat dilihat pada **Tabel 5.5**, dapat diterangkan sebagai berikut :

1. Sinyal kendali berlatar belakang warna putih bernilai predikat $\alpha = 0$, setelah di masukkan kedalam aturan *Fuzzy* menggunakan fungsi AND.
2. Sinyal kendali berlatar belakang warna kuning bernilai $\neq 0$, nilainya akan digunakan dan dikonversi dalam bentuk *PWM* (Pulse Width Modulation), dimana nantinya akan berfungsi sebagai nilai *Output*.

Rule Fuzzy :

$$R1. \alpha \text{ predikat 1} = \mu_{CHY1} \cap \mu_{TR1}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R2. \alpha \text{ predikat 2} = \mu_{CHY2} \cap \mu_{TR1}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R3. \alpha \text{ predikat 3} = \mu_{CHY3} \cap \mu_{TR1}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R4. \alpha \text{ predikat 4} = \mu_{CHY4} \cap \mu_{TR1}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R5. \alpha \text{ predikat 5} = \mu_{CHY5} \cap \mu_{TR1}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R6. \alpha \text{ predikat 6} = \mu_{CHY6} \cap \mu_{TR1}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$R29. \alpha \text{ predikat 29} = \mu_{CHY5} \cap \mu_{TR4}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R30. \alpha \text{ predikat 30} = \mu_{CHY6} \cap \mu_{TR4}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R31. \alpha \text{ predikat 31} = \mu_{CHY7} \cap \mu_{TR4}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R32. \alpha \text{ predikat 32} = \mu_{CHY8} \cap \mu_{TR4}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

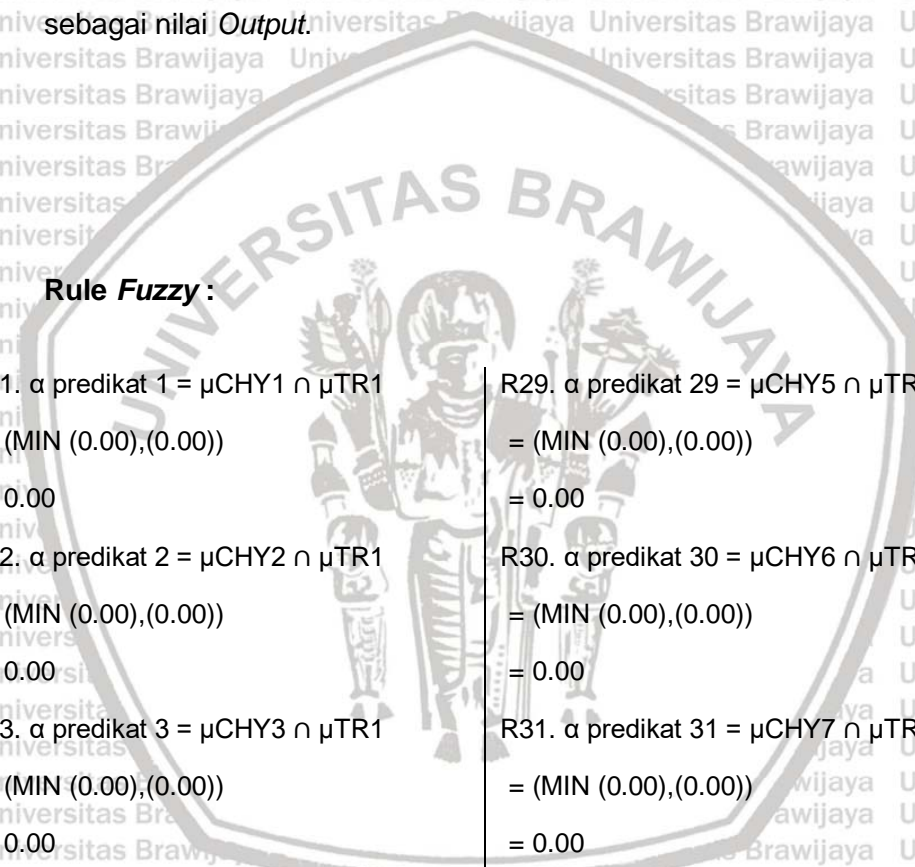
$$R33. \alpha \text{ predikat 33} = \mu_{CHY1} \cap \mu_{TR5}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R34. \alpha \text{ predikat 34} = \mu_{CHY2} \cap \mu_{TR5}$$

$$= (\text{MIN} (0.00),(0.00))$$





$$R7. \alpha \text{ predikat } 7 = \mu_{CH7} \cap \mu_{TR1}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R8. \alpha \text{ predikat } 8 = \mu_{CHY8} \cap \mu_{TR1}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R9. \alpha \text{ predikat } 9 = \mu_{CHY1} \cap \mu_{TR2}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R10. \alpha \text{ predikat } 10 = \mu_{CHY2} \cap \mu_{TR2}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R11. \alpha \text{ predikat } 11 = \mu_{CHY3} \cap \mu_{TR2}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R12. \alpha \text{ predikat } 12 = \mu_{CHY4} \cap \mu_{TR2}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R13. \alpha \text{ predikat } 13 = \mu_{CHY5} \cap \mu_{TR2}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R14. \alpha \text{ predikat } 14 = \mu_{CHY6} \cap \mu_{TR2}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R15. \alpha \text{ predikat } 15 = \mu_{CHY7} \cap \mu_{TR2}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R16. \alpha \text{ predikat } 16 = \mu_{CHY8} \cap \mu_{TR2}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$R35. \alpha \text{ predikat } 35 = \mu_{CHY3} \cap \mu_{TR5}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R36. \alpha \text{ predikat } 36 = \mu_{CHY4} \cap \mu_{TR5}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R37. \alpha \text{ predikat } 37 = \mu_{CHY5} \cap \mu_{TR5}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R38. \alpha \text{ predikat } 38 = \mu_{CHY6} \cap \mu_{TR5}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R39. \alpha \text{ predikat } 39 = \mu_{CHY7} \cap \mu_{TR5}$$

$$= (\text{MIN } (0.6667), (0.50))$$

$$= 0.50$$

$$R40. \alpha \text{ predikat } 40 = \mu_{CHY8} \cap \mu_{TR5}$$

$$= (\text{MIN } (0.50), (0.50))$$

$$= 0.50$$

$$R41. \alpha \text{ predikat } 41 = \mu_{CHY1} \cap \mu_{TR6}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R42. \alpha \text{ predikat } 42 = \mu_{CHY2} \cap \mu_{TR6}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R43. \alpha \text{ predikat } 43 = \mu_{CHY3} \cap \mu_{TR6}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R44. \alpha \text{ predikat } 44 = \mu_{CHY4} \cap \mu_{TR6}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$



$$= 0.00$$

$$R17. \alpha \text{ predikat } 17 = \mu_{CHY1} \cap \mu_{TR3}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R18. \alpha \text{ predikat } 18 = \mu_{CHY2} \cap \mu_{TR3}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R19. \alpha \text{ predikat } 19 = \mu_{CHY3} \cap \mu_{TR3}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R20. \alpha \text{ predikat } 20 = \mu_{CHY4} \cap \mu_{TR3}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R21. \alpha \text{ predikat } 21 = \mu_{CHY5} \cap \mu_{TR3}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R22. \alpha \text{ predikat } 22 = \mu_{CHY6} \cap \mu_{TR3}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R23. \alpha \text{ predikat } 23 = \mu_{CHY7} \cap \mu_{TR3}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R24. \alpha \text{ predikat } 24 = \mu_{CHY8} \cap \mu_{TR3}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R25. \alpha \text{ predikat } 25 = \mu_{CHY1} \cap \mu_{TR4}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R26. \alpha \text{ predikat } 26 = \mu_{CHY2} \cap \mu_{TR4}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$R45. \alpha \text{ predikat } 45 = \mu_{CHY5} \cap \mu_{TR6}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R46. \alpha \text{ predikat } 46 = \mu_{CHY6} \cap \mu_{TR6}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R47. \alpha \text{ predikat } 47 = \mu_{CHY7} \cap \mu_{TR6}$$

$$= (\text{MIN } (0.6667), (0.75))$$

$$= 0.6667$$

$$R48. \alpha \text{ predikat } 48 = \mu_{CHY8} \cap \mu_{TR6}$$

$$= (\text{MIN } (0.50), (0.75))$$

$$= 0.50$$

$$R49. \alpha \text{ predikat } 49 = \mu_{CHY1} \cap \mu_{TR7}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R50. \alpha \text{ predikat } 50 = \mu_{CHY2} \cap \mu_{TR7}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R51. \alpha \text{ predikat } 51 = \mu_{CHY3} \cap \mu_{TR7}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R52. \alpha \text{ predikat } 52 = \mu_{CHY4} \cap \mu_{TR7}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R53. \alpha \text{ predikat } 53 = \mu_{CHY5} \cap \mu_{TR7}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R54. \alpha \text{ predikat } 54 = \mu_{CHY6} \cap \mu_{TR7}$$

$$= (\text{MIN } (0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R27. \alpha \text{ predikat } 27 = \mu_{CHY3} \cap \mu_{TR4}$$

$$= (\text{MIN}(0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R28. \alpha \text{ predikat } 28 = \mu_{CHY4} \cap \mu_{TR4}$$

$$= (\text{MIN}(0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$= 0.00$$

$$R55. \alpha \text{ predikat } 55 = \mu_{CHY7} \cap \mu_{TR7}$$

$$= (\text{MIN}(0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

$$R56. \alpha \text{ predikat } 56 = \mu_{CHY8} \cap \mu_{TR7}$$

$$= (\text{MIN}(0.00), (0.00))$$

$$= 0.00$$

DeFuzzykasi sama dengan tahap Fuzzy suhu dan kelembapan, metode deFuzzyfikasi tsukamoto yang digunakan adalah Metode Average [6,9]. Rumus DeFuzzyfikasi tsukamoto average:

$$\alpha x = \frac{((PWM \text{ MAX}) - (Zx))}{(PWM \text{ MAX})}$$

Keterangan :

αx : Nilai Himpunan Fuzzy

PWM MAX : 1023

Zx : Nilai Defuzzyfikasi ke-x

Dijawab:

- α predikat 39

$$0.50 = \frac{((1023) - (Z_{39}))}{(1023)}$$

$$Z_{39} = ((1023) - ((1023) \cdot (0.50)))$$

$$Z_{39} = 511.5$$

- α predikat 40

$$0.50 = \frac{((1023) - (Z_{40}))}{(1023)}$$

$$Z_{40} = ((1023) - ((1023) \cdot (0.50)))$$

$$Z_{40} = 511.5$$

- α predikat 47

$$0.50 = \frac{((1023) - (Z_{47}))}{(1023)}$$

$$Z_{47} = ((1023)-((1023).(\alpha 0.6667)))$$

$$Z_{47} = 340.9659$$

- α predikat 48

$$0.50 = \frac{((1023)-(Z_{39}))}{(1023)}$$

$$Z_{48} = ((1023)-((1023).(\alpha 0.50)))$$

$$Z_{48} = 511.5$$

Selanjutnya sama seperti *Fuzzy* suhu dan kelembapan adalah konversi nilai de *Fuzzyfikasi* ke bentuk *PWM* (*Pulse Width Modulation*).. Rumus konversi *PWM* :

$$Z_{PWM} = \frac{((\alpha 1)(Z_1)+(\alpha 2)(Z_2)+\dots+(\alpha n)(Z_n))}{\sum \alpha}$$

Keterangan :

Z_{PWM} : Nilai *PWM*

α : Nilai Himpunan *Fuzzy*

Z : Nilai Defuzzyfikasi

Dijawab:

$$Z_{PWM} = \frac{((0.50)(511.5)+(0.50)(511.5)+(0.6667)(340.9659)+(0.50)(511.5))}{(0.50+0.50+0.6667+0.50)}$$

$$Z_{PWM} = \frac{(255.75+255.75+227.3219+255.75)}{2.1667}$$

$$Z_{PWM} = \frac{994.5719}{2.1667}$$

$$Z_{PWM} = 872.1662$$

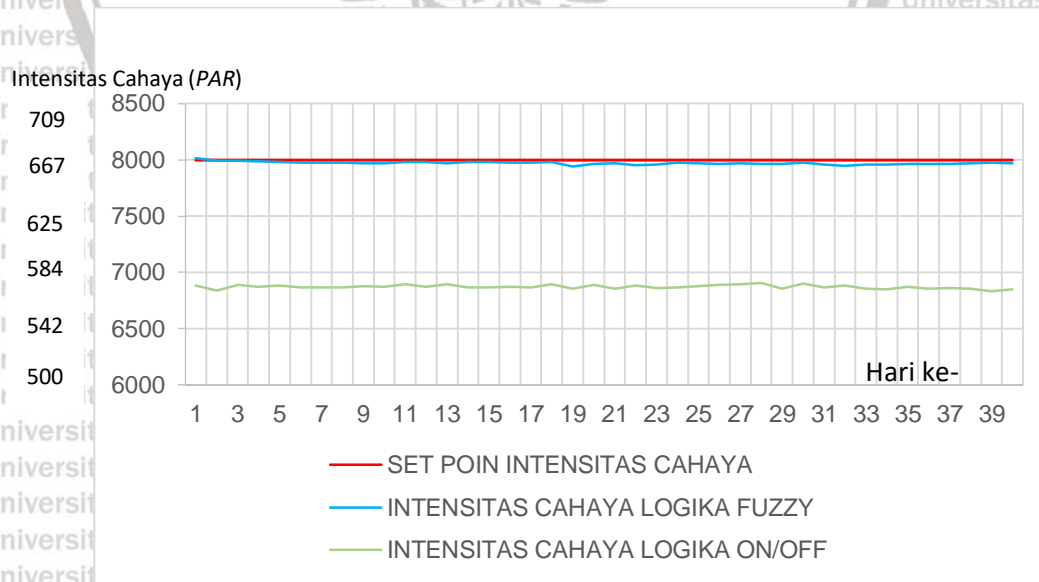
Untuk nilai *PWM* fuzzy cahaya tidak ada kalibrasi, berbeda dengan nilai *PWM* fuzzy suhu dan kelembapan harus dilakukan kalibrasi karena ruang *plant factory* yang bersifat semi/tidak *full closed system*, sehingga nilai suhu dan kelembapan pada ruang semi *plant factory* masih ada nilai gangguan dari lingkungan.

5.3 Hasil Uji

5.3.1 Monitoring Ruang Semi Plant-Factory

Data ini merupakan data harian performa Ruang Semi Plant-Factory selama penelitian yaitu 40 hari. Diambil secara periodik 15 menit sekali, dan dilakukan selama 10 jam, mulai jam 06.00-16.00.

5.3.1.1 Intensitas Cahaya



Gambar 5. 11 Grafik Performa Intensitas Cahaya Ruang Semi Plant-Factory

Set point : 667.2 LUX

Fuzzy

ON/OFF

Positive Error : 1.28 PAR (0.192%)

Positive Error :

Negative Error : 2.55 PAR (0.383%)

Negative Error : 94.14 PAR
(14.10%)

Berdasar pada pengujian *Ruang Semi Plant-Factory* tahap 1, tahap 2 dan tahap 3 dilakukan perubahan dan evaluasi pada logika *Fuzzy* yaitu nilai *PWM* dan jenis aktuator.

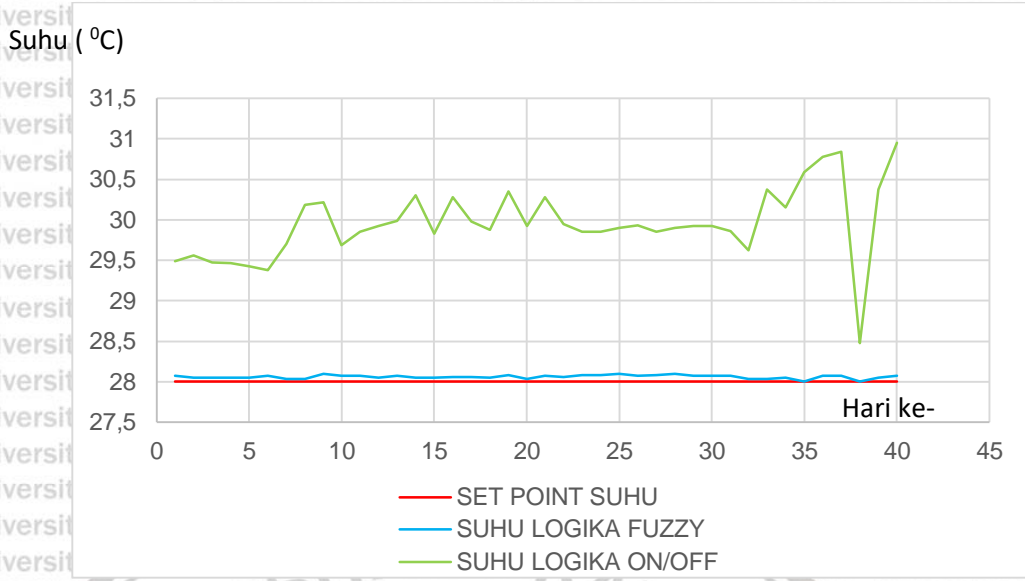
Nilai *set point* 667.2 PAR diketahui nilai rata-rata *error Ruang Semi Plant-Factory* adalah sebagai berikut Positive Error : 1.28 PAR (0.192%) Negative Error : 2.55 PAR (0.383%).

Sedangkan pada logika ON/OFF Negative Error : 94.14 PAR (14.10%). Kecilnya nilai *error* pada logika *Fuzzy* menunjukkan bahwa program pada arduino berupa nilai *PWM* dari hasil pendekatan logika *Fuzzy* tsukamoto tertulis dalam bentuk program arduino IDE telah sesuai dengan aktuator cahaya/LED sesuai (T. J. Ross. 2010). Ditambah dengan komponen elektrik yang setelah dilakukan pengujian hampir satu bulan untuk mendapat yang paling sesuai (Banzi. 2011). Nilai *PWM* akhir yang digunakan adalah 872.1662.

Nilai *error* pada logika ON/OFF bernilai 14.10% atau dalam PAR adalah 94.14 PAR.

Nilai *error* cukup besar bagi hasil rancangan alat, hal itu dikarenakan dalam pelaksanaannya logika ON/OFF mudah menyebabkan komponen panas, terutama pada komponen kabel yang digunakan. Nilai *error* terbesar dari logika ON/OFF terjadi ketika alat sudah berjalan lebih dari 8 jam, nilai *error* rata-rata diatas 100 PAR.

5.3.1.2 Suhu



Gambar 5.12 Grafik Performa Suhu Ruang Semi Plant-Factory

Set point : 28°C

Fuzzy

Positive Error : 0.0628 (0.225%)

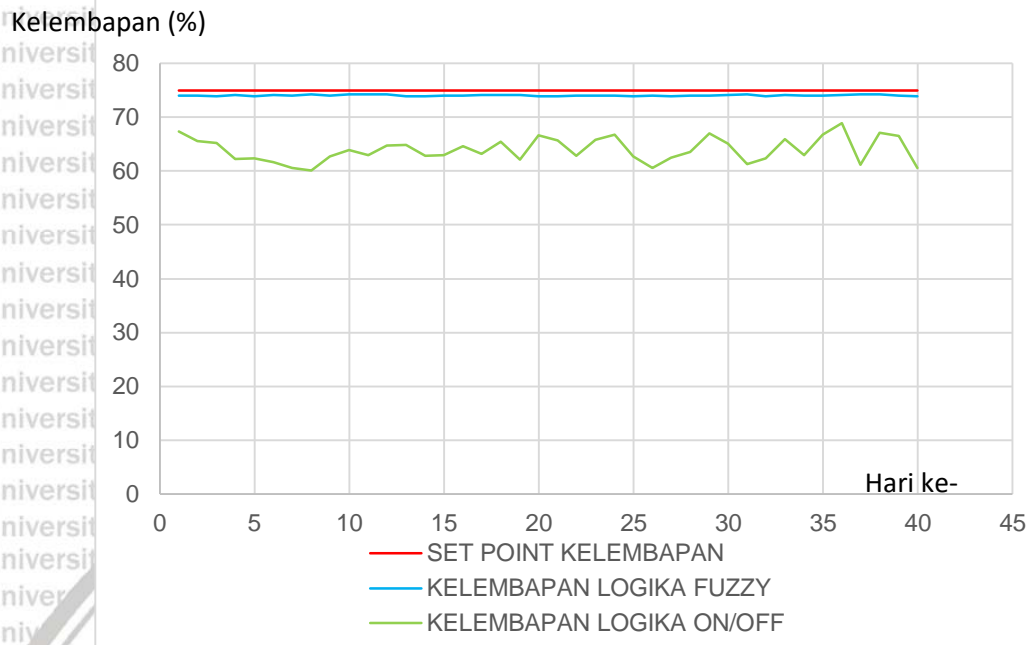
Negative Error : -

ON/OFF

Positive Error : 2.0140 (7.193%)

Negative Error : -

5.3.1.3 Kelembapan



Gambar 5.13 Grafik Performa Kelembapan Ruang Semi Plant-Factory

Set point : 75%

Fuzzy

Positive Error : -

Negative Error : 0.955 (1.273%)

ON/OFF

Positive Error : -

Negative Error : 11.04 (14.72%)

Satu catatan dari pengamatan Ruang Semi Plant-Factory dari kelembapan dan suhu adalah, nilai respon suhu dan kelembapan lumayan lama jika dibandingkan dengan respon cahaya (Kozai, T., et.al. 2016). Dari pencatatan hasil performa Ruang Semi Plant-Factory selama 40 hari, hal itu memang benar adanya (respon lambat pada suhu dan kelembapan). Nilai error suhu dapat diketahui sebagai berikut. Set point : 28°C, logika Fuzzy Positive Error : 0.0628 dalam persen 0.225%. Dan logika ON/OFF nilai error adalah Positive Error : 2.0140 (7.193%). Nilai negative error pada 2 logika sama-sama bernilai 0. Dari hasil tersebut dapat diketahui nilai kontrol suhu pada logika Fuzzy sudah sangat baik sekali, sedangkan pada logika ON/OFF bernilai cukup besar jika dibandingkan dengan logika Fuzzy yaitu 7.193%. Hal tersebut sudah benar dan sesuai dengan hasil penelitian

terdahulu (Revathi, S., Sivakumaran N. 2016; A.Riesgo., et.al. 2018; and Graamans, et.al. 2018). Nilai *error* kelembapan adalah *Set point* : 75%, logika *Fuzzy Negative Error* : 0.955 (1.273%) , positif *error*: 0 dan pada logika *ON/OFF Positive Error* : 0 , *Negative Error* : 11.04 (14.72%). Dari hasil tersebut dapat diketahui hasil pendekatan logika *Fuzzy* berfungsi dengan sangat baik, ditandai dengan nilai *error* yang sangat kecil.

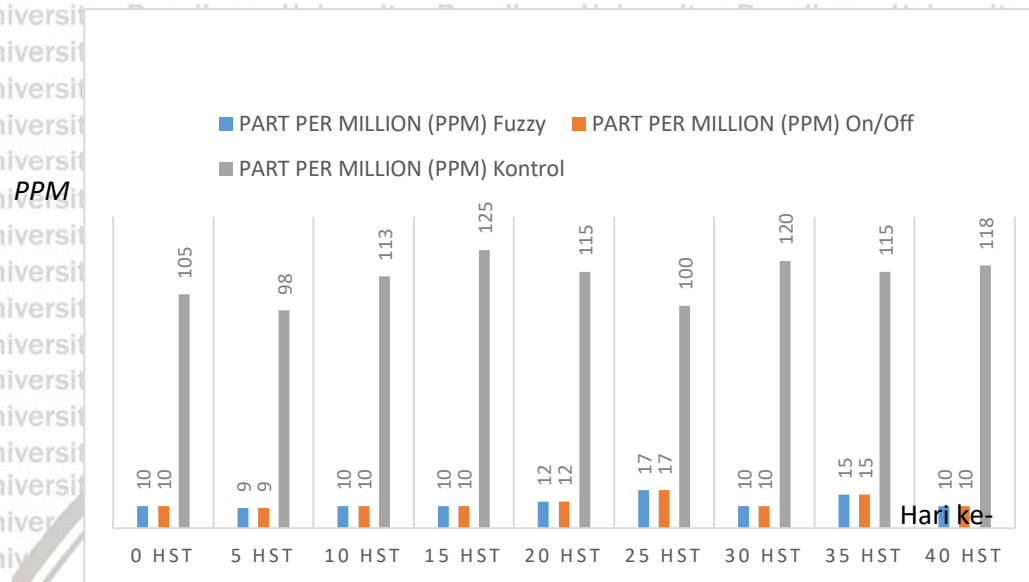
Untuk pendekatan *Fuzzy* yang digunakan adalah tsukamoto, khusus pada kontrol suhu dan kelembapan modifikasi rumus *Fuzzy* dilakukan agar nilai *PWM* lebih besar, hal itu dilakukan karena *Ruang Semi Plant-Factory* ini masih belum tertutup 100%, masih ada gangguan nilai suhu dan kelembapan, dengan adanya penambahan nilai *PWM* maka nilai kinerja aktuator akan lebih besar dan dapat menutupi nilai gangguan dari luar, mengingat nilai *set point* suhu dan kelembapan pada *Ruang Semi Plant-Factory* berbeda dengan suhu kelembapan lingkungan, yaitu dengan nilai suhu yang lebih rendah dan kelembapan yang lebih tinggi. Itulah salah satu kelebihan metode pendekatan tsukamoto bersifat fleksibel dan mampu mengatasi persoalan kontrol dengan memudahkan modifikasi nilai *Fuzzy* (T. J. Ross. 2010).

5.3.2 Nilai *Ec*, *pH* dan Konsumsi Nutrisi

Data pengamatan nilai *Electro Conductivity (EC)*, Potensial Hidrogen (*pH*) dan Nilai Konsumsi Nutrisi dilakukan periodik setiap 5 hari sekali. Setelah dilakukan pengamatan, larutan nutrisi diganti dengan yang baru dan dicatat nilainya yang baru (1000 *PPM*).

5.3.2.1 Data Pengamatan Nilai *Electro Conductivity* (EC)

Nilai EC dinyatakan dalam satuan PPM (Part Per-Million).



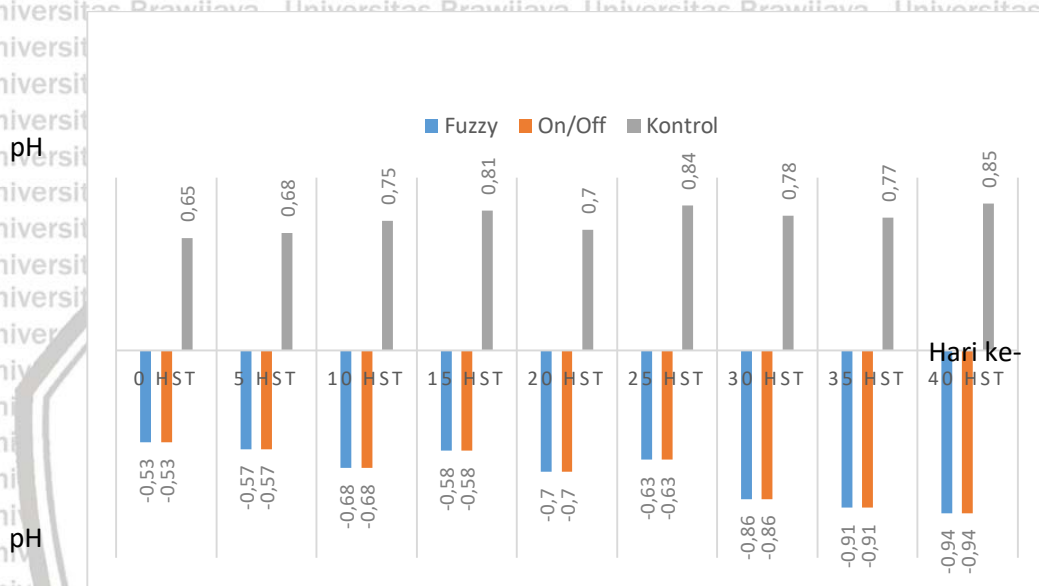
Gambar 5. 14 Grafik Perubahan Nilai PPM Tanaman

Data nilai PPM diambil secara periodik 5 hari sekali. Idealnya kondisi PPM budidaya tanaman Pak Choy hidroponik adalah 1000 PPM (Orsini, F., et. all. 2016). Nilai diatas merupakan nilai kehilangan nutrisi pada perlakuan tanaman logika Fuzzy, tanaman logika ON/OFF dan tanaman kontrol. Dapat dilihat bahwa nilai PPM pada tanaman Ruang Semi Plant-Factory bernilai konstan, tidak ada selisih dari PWM awal (1000 PPM) ke nilai pengambilan data yaitu hari ke 5, 10,15, 20, 25, 30, 35 dan 40. Nilainya secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 5.

Perbedaan nilai kandungan nutrisi pada sistem hidroponik konvensional dan tertutup disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: kondisi cahaya matahari, hujan dan faktor non teknis yang lain (Ginglaras, P., et.al. 1998). Pada Ruang Semi Plant-Factory kondisi nutrisi yang dinyatakan dalam bentuk nilai PPM, tidak ada perubahan nilai, hal itu dikarenakan suhu dan kondisi lingkungan di Ruang Semi Plant-Factory bernilai konstan dan berada di nilai ideal untuk pertumbuhan tanaman, hal itu berbeda dengan tanaman kontrol yang ditanam secara

konvensional, kondisi lingkungan tidak dapat dikontrol dan nilai suhu serta hujan atau panasnya lingkungan tidak dapat diatur, mengingat tanaman kontrol tidak ditanam secara tertutup.

5.3.2.2 Data Pengamatan Nilai Potensial Hidrogen (pH)



Gambar 5. 15 Grafik Perubahan Nilai pH Tanaman

Dari grafik nilai pH diatas dapat diketahui nilai pH pada tanaman kontrol mengalami peningkatan nilai, sedangkan pH pada tanaman Ruang Semi Plant-Factory mengalami penurunan nilai. Data diambil secara periodic 5 hari sekali, pH awal dicatat nilainya, lalu setelah 5 hari kembali dicatat, hasil selisih nilai pH tersebut dapat dilihat pada grafik diatas.

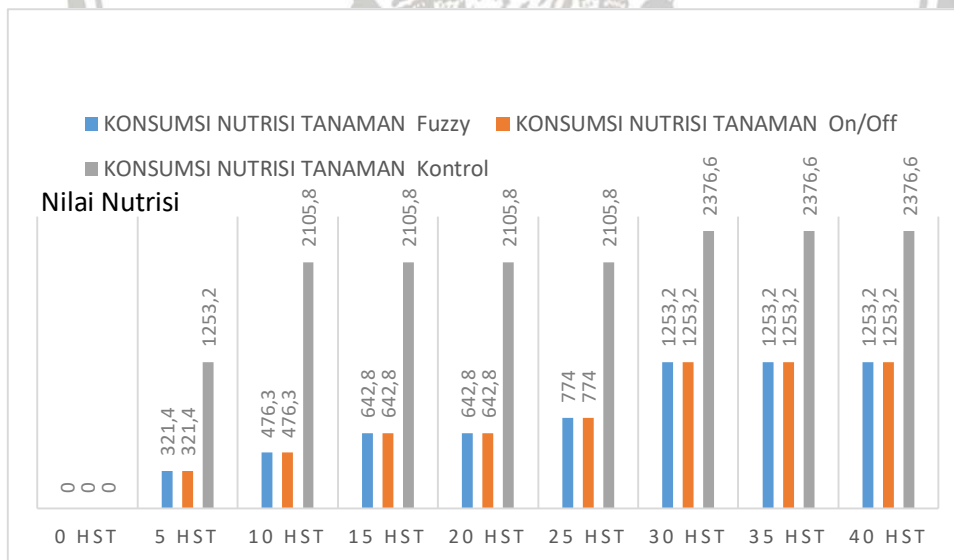
Kondisi ideal untuk nilai pH pada budidaya hidroponik adalah 5.5 – 6 pH (Liu, Y., et.al. 2013), pada nilai tersebut unsur makro dan mikro pada AB-mix dapat benar-benar diserap keseluruhan oleh tanaman. Pelaku hidroponik untuk menjaga kondisi PH dan nutrisi tanaman menggunakan bantuan penurun dan penaik pH, sedangkan pada penelitian ini tidak menggunakan pengontrol pH. Nilai pH dapat dilihat secara lengkap pada Lampiran 5.

Nilai pH dan nilai PPM nutrisi pada budidaya sayur memiliki hubungan yang sangat erat. Nilai pH yang tinggi maka larutan akan akan punya sifat basa, untuk pH rendah maka larutan

akan bersifat asam (Adrover, et.al . 2013). Dari percobaan peneliti, nilai AB-mix atau nutrisi tanaman hidroponik akan mengalami kenaikan *pH* nilai ketika berada pada kondisi panas (cahaya matahari sangat terik dan mengenai bak nutrisi), dan akan mengalami penurunan *pH* ketika terkena hujan, tentunya nilai penurunan tergantung dari jumlah hujan yang masuk ke dalam AB-mix. Bisa dikatakan dari hasil pengamatan nilai *PPM* dan *pH* penelitian ini, penyebab turunnya nilai *PPM* dan naiknya *pH* pada tanaman kontrol disebabkan oleh faktor lingkungan dan tidak digunakannya zat kimia pengontrol *pH* (Wada, T. 2019). Mengingat berdasar teori kondisi lingkungan yang ideal akan menyebabkan nilai *PPM* konstan dan nilai *pH* akan cenderung turun (Liu, Y., et.al. 2013).

5.3.2.3 Data Pengamatan Nilai Konsumsi Nutrisi

Nilai konsumsi nutrisi dinyatakan dalam satuan ml (mililiter). Data diambil dengan cara menghitung jumlah nutrisi yang ditambahkan secara periodik 5 hari sekali.



Hari ke-
Gambar 5. 16 Grafik

Perubahan Nilai Konsumsi Nutrisi Tanaman

Nilai konsumsi nutrisi tanaman mengindikasikan proses pertumbuhan yang terjadi didalam tanaman, baik pada masa vegetatif ataupun generatif tanaman (Gardner, F. P., et.al. 1991). Jumlah konsumsi nutrisi tanaman disini adalah selisih jumlah larutan nutrisi pada hari ke-0 dan hari ke-5, pada hari ke-5 dan hari ke-10 sampai pada hari ke-35 dan

hari ke-40. Dapat dilihat nilai konsumsi tanaman pada hidroponik konvensional bernilai cukup besar, pada masa vegetatif tanaman (0HST-20HST) perbandingan nilai konsumsi nutrisi cukup mencolok antara 3-4 kali lipat. Dan ketika masa generatif bernilai selisih 2 kali lipat. Bisa jadi faktor penyebab nya adalah kondisi lingkungan yaitu penguapan karena cahaya matahari (Ginglaras, et.al. 1998). Nilai perubahan konsumsi nutrisi tanaman secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 5.

5.3.3 Pertumbuhan dan Panen Tanaman Pak Choy (*Brassica Chinensis L.*)

5.3.3.1 Pertumbuhan Tanaman Pak Choy (*Brassica Chinensis L.*)



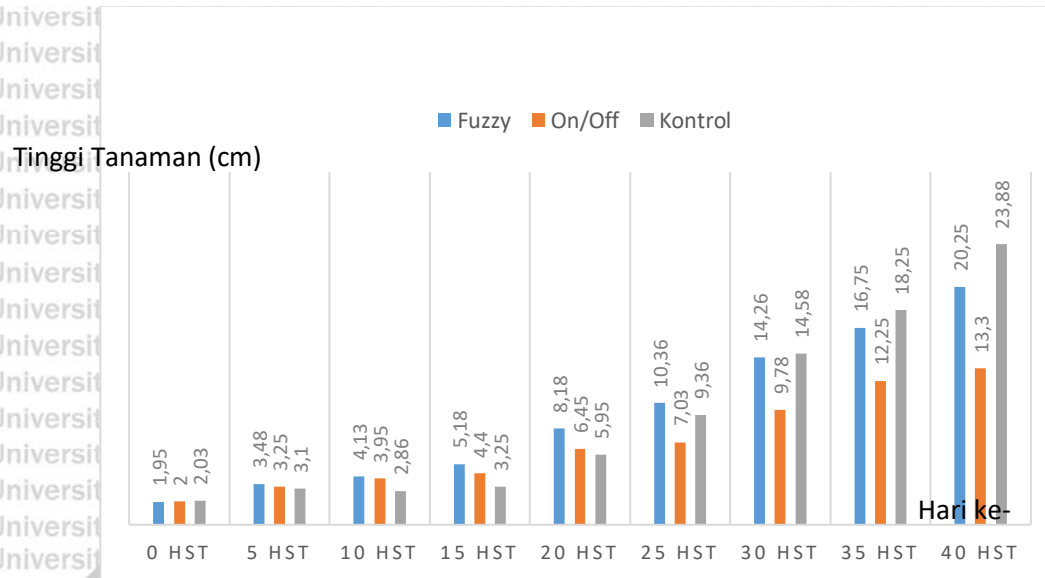
Gambar 5. 17 a. Tanaman Logika Fuzzy b. Tanaman Logika ON/OFF c. Tanaman Kontrol

Pengamatan pertumbuhan dan panen tanaman dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan *Ruang Semi Plant-Factory* terhadap tanaman, dimana intensitas cahaya, suhu dan kelembapan lingkungan dikontrol sesuai dengan kondisi ideal pertumbuhan tanaman *Pak Choy*. Hasil tanaman dalam *Ruang Semi Plant-Factory* menggunakan sistem kontrol logika Fuzzy dibandingkan dengan *Ruang Semi Plant-Factory* menggunakan sistem kontrol logika ON/OFF dan tanaman kontrol (sistem hidroponik konvensional). Pengamatan pertumbuhan tanaman dilakukan secara periodik 5 hari sekali (Tinggi Tanaman, Lebar Daun dan Jumlah Daun) selama 40 hari dan hasil panen tanaman dilakukan dilakukan pada 40 HST **Lampiran 5**. Data pengamatan panen dapat dilihat pada **Lampiran 7**. Parameter pengamatan pertumbuhan dan Parameter panen tanaman *Pak Choy* disesuaikan dengan buku karangan Gardner, F. P., et al. Tahun 1991 dengan judul buku *Fisiologi Tanaman Budidaya*, diterjemah oleh Herawati Susilo, Universitas Indonesia. Nilai hasil pertumbuhan tanaman *Pak Choy* segar akan dibandingkan dengan standar dropper supermarket sayuran hidroponik di kota Malang, standar tersebut dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5. 6 Standar *Dropper* Supermarket Sayuran Hidroponik Kota Malang

No.	Parameter	Usia Tanaman	Nilai Standar
1.	Tinggi Tanaman		18-21 cm
2.	Lebar Daun		9-12 cm
3.	Jumlah Daun	35-40 HST	≥ 12 Daun
4.	Bobot Segar Tajuk		250-300 gr
5.	Ketebalan Daun		≥ 0.35 cm
6.	Nilai Klorofil		≥ 55

5.3.3.1.1 Pengamatan Pertumbuhan Tinggi Tanaman

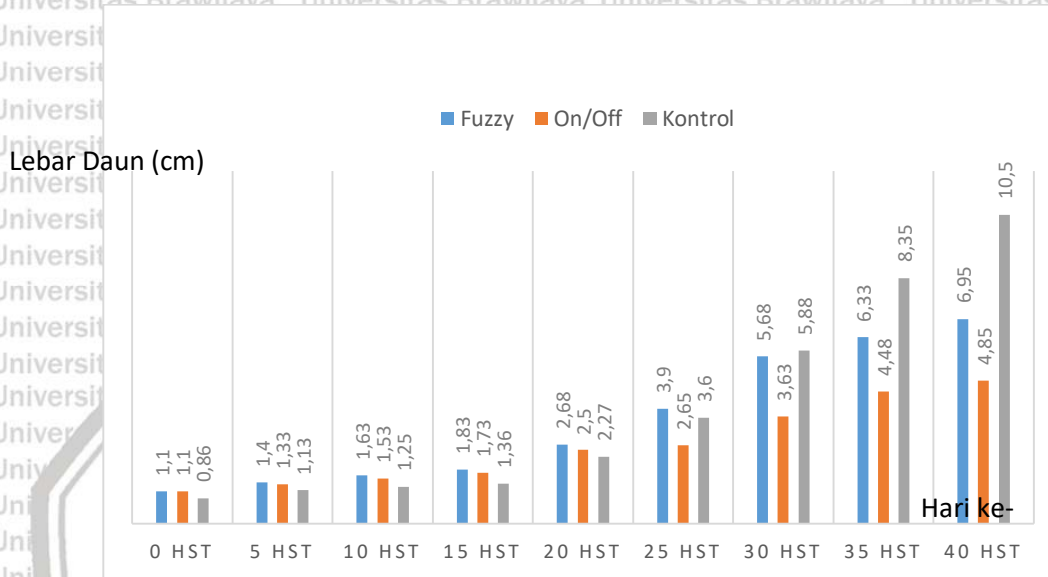


Gambar 5. 18 Grafik Pertumbuhan Tinggi Tanaman

Pengamatan pertumbuhan tanaman dapat dilihat pada grafik diatas. Dilakukan pengamatan secara periodik setiap 5 hari sekali, data lengkap pada **Lampiran 4 dan Lampiran 5**. Dengan awalan rata-rata tinggi yang dapat dikatakan sama, sampai dengan pertumbuhan vegetatif 25 HST tanaman logika *Fuzzy* mempunyai nilai tertinggi, yang secara berurutan bernilai tinggi 1.95; 3.48; 4.13; 5.18; 8.18; 10.36 , berselisih nilai tinggi 1 cm dengan tanaman kontrol dan 3.33 cm dengan tanaman logika *ON/OFF*. Ketika mulai masuk pada masa generatif didapatkan nilai tinggi logika *Fuzzy*: 14.26 cm; 16.75 cm; 20.25, logika *ON/OFF* 9.78; 12.25; 13.33 dan tinggi tanaman kontrol 14.58; 18.25; 23.88. Nilai akhir tinggi tanaman pada 35 HST tertinggi adalah tanaman kontrol 23.88 cm, kedua logika *Fuzzy* 20.25 cm dan logika *ON/OFF* 13.33 cm. Dengan hasil tersebut, ditinjau dari variabel tinggi tanaman dapat dikatakan *tanaman logika Fuzzy memenuhi syarat untuk pasar hidroponik supermarket di kota malang*. Terbukti sejak pada masa vegetatif sudah bagus nilai tingginya, dan ketika berumur 40 HST bernilai tinggi akhir 20.25 cm. Tanaman logika *ON/OFF* berukuran kecil, yaitu hanya 13.33 cm hal ini besar kemungkinan dikarenakan oleh tidak sesuainya intensitas cahaya yang mengenainya, suhu serta

kelembapan didalam ruang kontrol logika *ON/OFF*. Terakhir untuk tanaman kontrol nilai rata-rata tingginya 23.88 cm, melebihi nilai batas atas dropper hidroponik kota malang.

5.3.3.1.2 Pengamatan Pertumbuhan Lebar Daun Tanaman

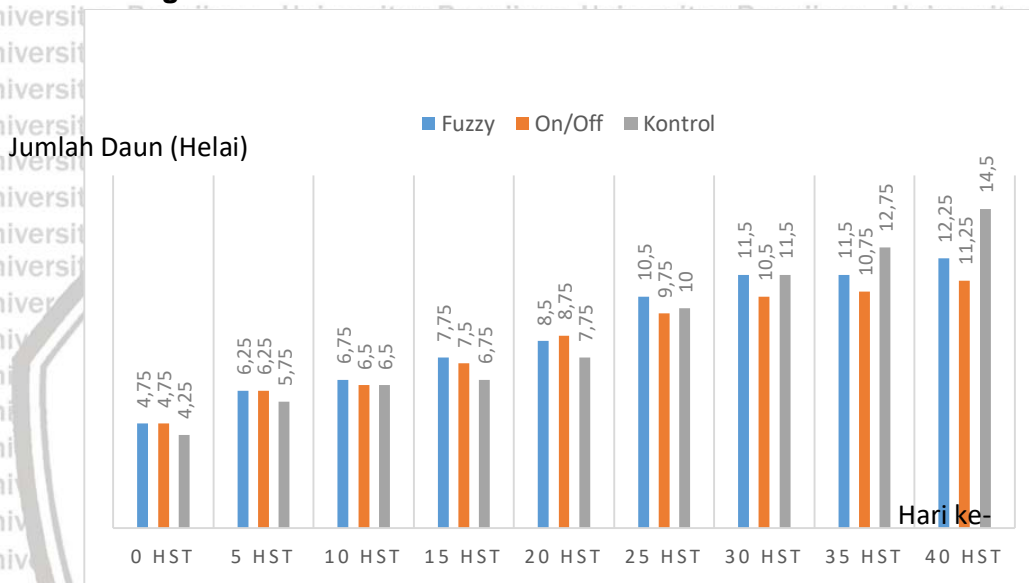


Gambar 5. 19 Grafik Pertumbuhan Lebar Daun Tanaman

Hasil pertumbuhan lebar daun dapat dilihat pada gambar 5.44. Tanaman logika *Fuzzy* disimbolkan grafik biru, tanaman logika *ON/OFF* grafik orange dan tanaman kontrol grafik abu-abu. Hampir sama dengan hasil pengamatan tinggi tanaman, pada pengamatan lebar daun logika *Fuzzy* memimpin secara kuantitatif pada masa vegetatif atau mulai dari 1-25 HST. Nilainya sebagai berikut: Tanaman logika *Fuzzy* 1.1 cm; 1.4 cm; 1.63 cm; 1.83 cm; 2.68 cm; 3.9 cm; 5.68 cm; 6.33; 6.95. Tanaman logika *ON/OFF* 1.1 cm; 1.33 cm; 1.53 cm; 1.73 cm; 2.5 cm; 2.63 cm; 3.63 cm; 4.48 cm; 4.85. Tanaman kontrol 0.86 cm; 1.13 cm; 1.25 cm; 1.36 cm; 2.27 cm; 3.6 cm; 5.88 cm; 8.35 cm; 10.5 cm. Pada masa vegetatif 0-25 HST selisih nilai lebar daun tanaman logika *Fuzzy* dan tanaman kontrol adalah 0.3 cm, selisih dengan tanaman logika *ON/OFF* 1.27 cm. Dari variabel ini dapat diketahui bahwa nilai kontrol suhu, kelembapan dan intensitas cahaya pada *Ruang Semi Plant-Factory* sesuai dengan kebutuhan tanaman. Pada masa generatif nilai akhir lebar daun tertinggi secara berurutan adalah tanaman kontrol dengan nilai akhir 10.5 cm, tanaman logika

Fuzzy 6.9 cm dan tanaman logika ON/OFF 4.85 cm, data lengkap pada Lampiran 5. Dengan hasil nilai tersebut, maka variabel lebar daun hanya tanaman kontrol yang memenuhi syarat untuk bisa menjadi dropper pasar hidroponik supermarket di kota Malang.

5.3.3.1.3 Pengamatan Pertumbuhan Jumlah Daun Tanaman



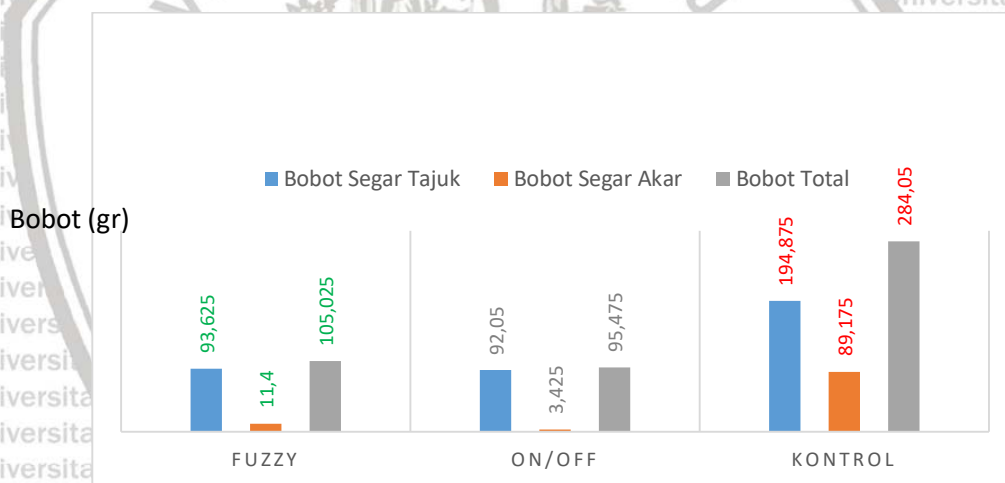
Gambar 5. 20 Grafik Pertumbuhan Jumlah Daun Tanaman

Pengamatan pertumbuhan jumlah daun dapat dilihat pada grafik diatas. Dilakukan pengamatan secara periodik setiap 5 hari sekali. Dengan awalan rataaan jumlah daun yang dapat dikatakan sama yaitu tanaman logika Fuzzy 4.75 daun, tanaman logika ON/OFF 4.75 daun dan tanaman kontrol 4.25 daun. Dari grafik diketahui sampai dengan pertumbuhan vegetatif 25 HST tanaman logika Fuzzy mempunyai nilai tertinggi, dan bahkan sampai masuk aal tahap generatif bernilai jumlah daun sama dengan tanaman kontrol. Secara berurutan bernilai tinggi 4.75; 6.25; 6.75; 7.75; 8.5; 10.5, berselisih nilai jumlah daun 0.5 daun dengan tanaman kontrol dan 0.75 daun dengan tanaman logika ON/OFF. Ketika mulai masuk pada masa generatif didapatkan nilai jumlah daun logika Fuzzy: 11.5; 11.5; 12.25, logika ON/OFF 10.15; 10.75; 11.25 dan tanaman kontrol 11.5; 12.75; 14.5. Nilai akhir jumlah daun tanaman pada 35 HST tertinggi adalah tanaman

kontrol 14.5 daun, kedua tanaman logika *Fuzzy* 12.25 daun dan logika *ON/OFF* 11.25 daun, data lengkap pada **Lampiran 5**. Dengan hasil tersebut, ditinjau dari variabel jumlah daun dapat dikatakan *tanaman logika Fuzzy memenuhi syarat untuk pasar hidroponik supermarket di kota malang* dan tanaman kontrol juga memenuhi syarat. Hal ini besar kemungkinan dikarenakan oleh set poin suhu, kelembapan dan intensitas cahaya pada *Ruang Semi Plant-Factory* khususnya logika *Fuzzy* sesuai dengan kebutuhan tanaman *Pak Choy*, berbeda dengan logika *ON/OFF* yang nilai hasil kontrol yang tidak sesuai, baik pada suhu, kelembapan dan juga intensitas cahaya.

5.3.3.2 Panen Tanaman *Pak Choy*

5.3.3.2.1 Bobot Segar Tajuk, Bobot Segar Akar Dan Bobot Total

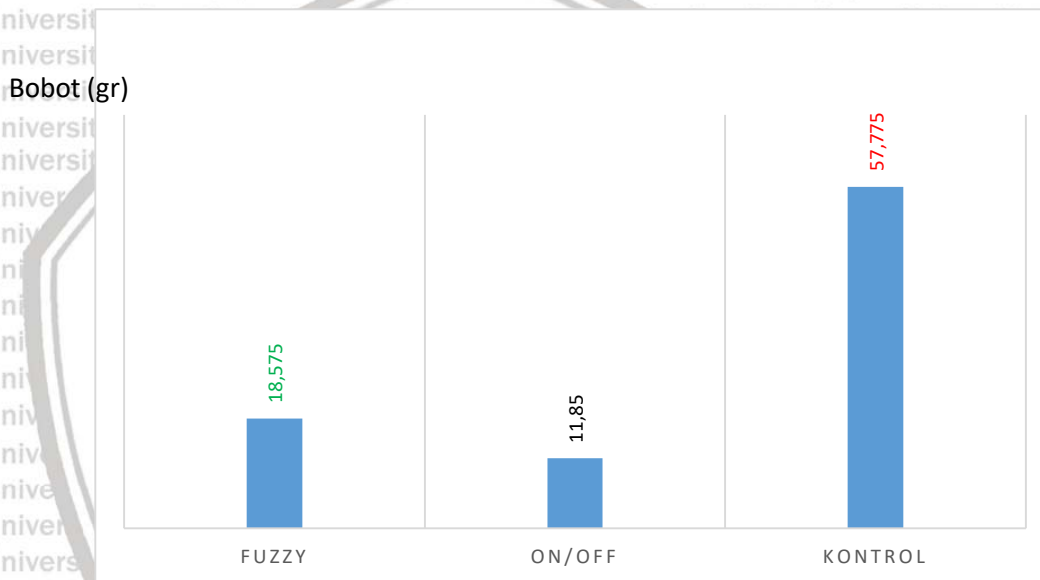


Gambar 5. 21 Grafik Bobot Segar Tajuk, Bobot Segar Akar dan Bobot Total

Bobot segar tajuk, bobot segar akar dan bobot total merupakan *parameter penting* dalam penentuan hasil panen tanaman sayuran (Gardner, F. P., et, al. 1991). Bobot segar tajuk merupakan bobot tanaman dari pangkal bawah tanaman (atas akar) sampai ujung daun, bobot akar dan bobot total adalah hasil penjumlahan keduanya. Didapatkan hasil tertinggi secara berurutan adalah tanaman kontrol, tanaman logika *Fuzzy* dan tanaman logika *ON/OFF*. Bobot segar tajuk logika *Fuzzy* 93.625 gr, logika *ON/OFF* 92.05 gr dan tanaman kontrol 194.875 gr. Bobot segar akar logika *Fuzzy* 11.4 gr, logika *ON/OFF* dan

tanaman kontrol 89.175 gr. Secara fisik pada variabel ini tanamn logika *Fuzzy* cukup jauh hasilnya jika dibandingkan dengan tanaman kontrol, hal itu bisa dikarenakan pada masa generatif logika *Fuzzy* pertumbuhannya kalah dengan tanaman kontrol, hal itu bisa dikarenakan *set point* intensitas cahaya *Ruang Semi Plant-Factory* kurang, jenis nutrisi untuk *Ruang Semi Plant-Factory* bisa jadi harus berbeda (Anpo, M., et.al. 2019).

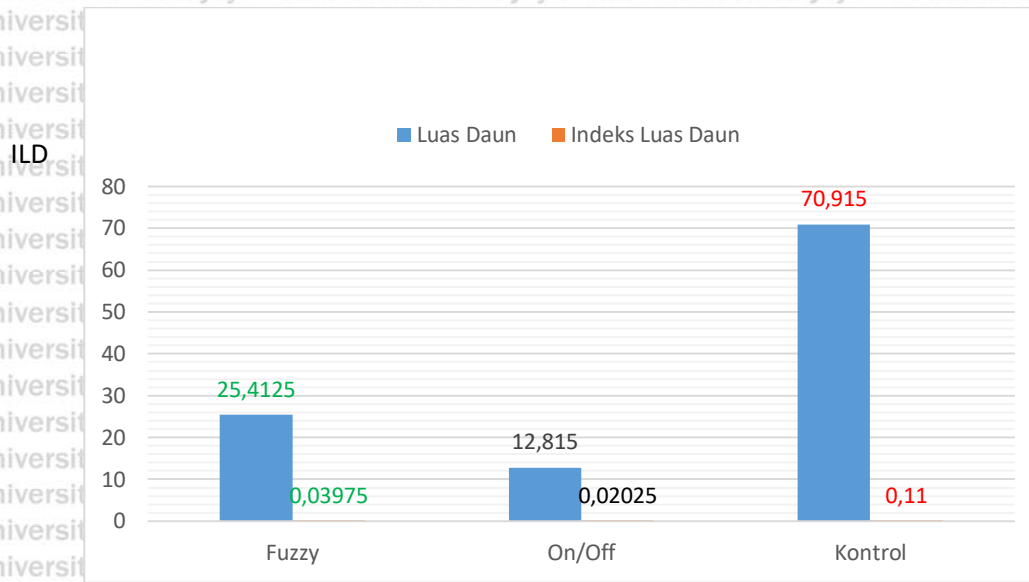
5.3.3.2.2 Bobot Kering Total



Gambar 5. 22 Grafik Kering Total

Bobot kering didapatkan dengan mengoven tanaman selama 48 jam dengan suhu konstan 80⁰ C. Berat diatas merupakan berat kering total (berat tajuk dan berat akar). Jika di presentasekan nilai berat kering total dibanding berat total tanaman segar pada masing-masing perlakuan adalah sebagai berikut, perlakuan logika *Fuzzy* disimbolkan dengan angka warna hijau pada grafik punya nilai 17,68% , logika *ON/OFF* disimbolkan dengan angka warna hitam pada grafik punya nilai 12,41% dan tanaman kontrol disimbolkan dengan angka warna merah pada grafik punya nilai 20,33%. Bobot kering berbanding lurus dengan bobot basah (Gardner, F. P., et. al. 1991).

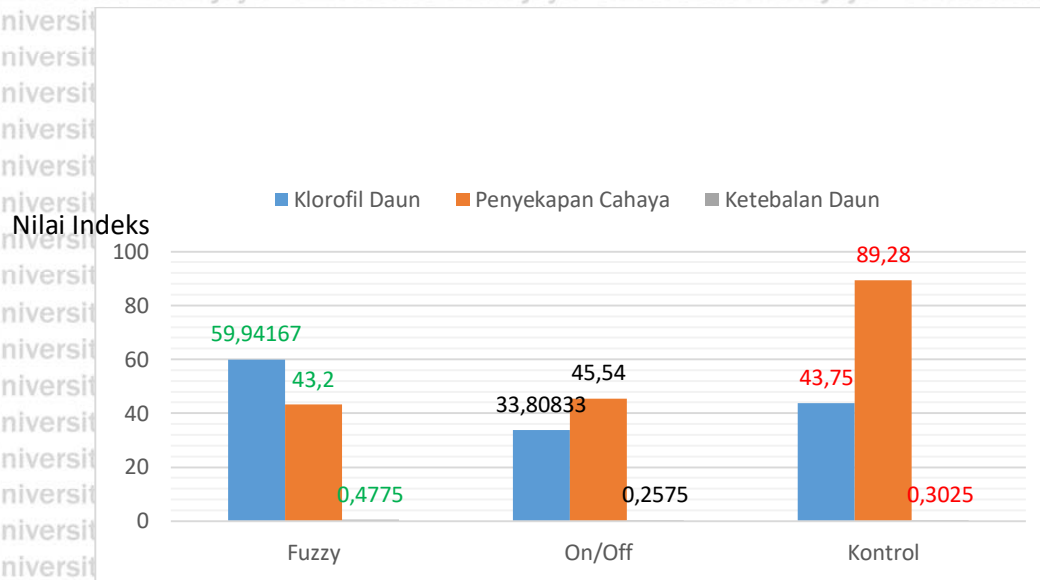
5.3.3.2.3 Luas Daun Dan Indeks Luas Daun



Gambar 5. 23 Grafik Luas Daun dan Indeks Luas Daun

Luas daun merupakan jumlah luasan daun yang memproyeksi pada bidang datar. Indeks Luas Daun (ILD) merupakan satu dari beberapa *PAR*ameter yang digunakan untuk menganalisa pertumbuhan tanaman. Nilai ILD didapat dari perbandingan setiap unit luas permukaan tanah yang tertutupi oleh daun (Gardner, F. P., *et al.* 1991). ILD bisa didapat dengan membagi nilai luas daun dengan jarak tanam dikali 100%. Hubungan luas daun dan indeks luas daun dengan tanaman adalah berbanding lurus. Semakin besar luas daun dan indeks luas daun maka bobot tanaman juga harus semakin besar. Secara berurutan nilai luas daun dan indeks luas daun pada penelitian ini adalah tanaman kontrol 70,915; 0,11, tanaman logika *Fuzzy* 25.4125; 0.03975 dan tanaman logika *ON/OFF* 12.18; 0.02025.

5.3.3.2.4 Klorofil Daun, Penyebaran Cahaya dan Ketebalan Daun



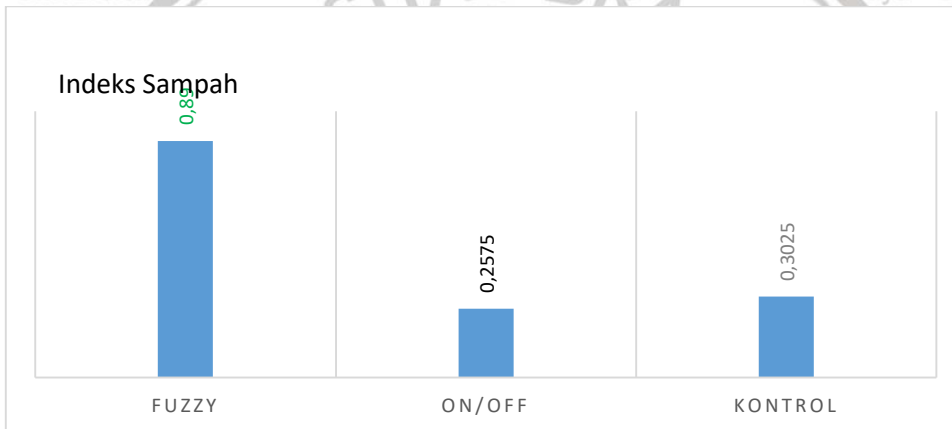
Gambar 5. 24 Grafik Klorofil Daun, Penyekapan Cahaya dan Ketebalan Daun

Penyekapan cahaya didapatkan dengan cara menghitung nilai intensitas cahaya yang berada dibawah daun dan dibandingkan dengan intensitas cahaya yang berada diatas daun, lalu dikalikan 100%. Semakin besar penyekapan cahaya maka berbanding lurus dengan kuantitatif luas daun dan ketebalan daun (Anpo, M., et.al. 2019.). Menurut Gardner, F. P., et, al. pada bukunya tahun 1991, semakin besar nilai ILD akan berbanding lurus dengan nilai penyekapan cahaya, artinya hasil pada penelitian ini sesuai dengan teori fisiologi tanaman. Nilai pengamatan pada tanaman penelitian, didapatkan nilai penyekapan cahaya terbesar pada tanaman kontrol 89.28 nilai tebal daun 0.3025, tanaman logika *Fuzzy* 43.2 nilai tebal daun 0.4775 dan tanaman logika *ON/OFF* penyekapan cahaya 45.54 tebal tanaman 0.2575.

Nilai tebal daun tertinggi adalah tanaman logika *Fuzzy* yaitu 0.4775 cm, didapat dari menghitung 5 daun secara bersamaan menggunakan jangka sorong. *Nilai tebal daun tanaman logika Fuzzy memenuhi syarat sebagai dropper sayur hidroponik kota Malang.* Karena syaratnya adalah tebal daun harus lebih besar sama dengan 0.35, sedangkan pada tanaman logika *ON/OFF* dan tanaman kontrol tidak memenuhi syarat.

Nilai klorofil dihitung dengan alat klorofil meter, nilai klorofil tanaman juga diketahui ketika tanaman berumur 20 HST, nilainya dapat dilihat pada **Lampiran 6**, nilai klorofil ketika panen didapatkan nilai berurutan mulai dari yang terbesar adalah sebagai berikut: tanaman logika Fuzzy 59.94167, tanaman kontrol 43.75 dan tanaman logika ON/OFF 33.80833. Dengan nilai tersebut maka didapatkan kesimpulan bahwa *hanya tanaman logika Fuzzy yang memenuhi syarat sebagai dropper sayur hidroponik kota Malang* mengingat nilai standar klorofil adalah ≥ 55 .

5.3.3.2.5 Indeks Sampah



Gambar 5. 25 Grafik

Indeks Sampah

Indeks sampah bertujuan untuk mengetahui nilai berat tanaman yang dapat dikonsumsi. Indeks sampah dihitung dengan persamaan bagian tanaman konsumsi (tajuk) dibagi dengan bobot total tanaman dikali 100%. Hasilnya didapatkan nilai indeks sampah secara berurutan adalah tanaman logika Fuzzy 0.89, tanaman kontrol 0.3025 dan tanaman logika ON/OFF 0.2575. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa tanaman logika Fuzzy punya nilai berat tanaman konsumsi yang lebih baik daripada yang lain.

Dari hasil panen dan dibandingkan dengan parameter syarat dropper hidroponik kota Malang, secara lengkap dapat dilihat pada **Tabel 5.6**.

Tabel 5. 6 Hasil Panen Pak Choy Dibandingkan Dengan Standar Dropper Supermarket Sayuran Hidroponik Kota Malang

No.	Parameter	Usia Tanaman	Nilai Standar	Pak Choy Logika Fuzzy	Pak Choy Logika ON/OFF	Pak Choy Kontrol
1.	Tinggi Tanaman	35-40 HST	18-21 cm	LAYAK	TIDAK LAYAK	LAYAK
			20.25 cm		23.88 cm	
2.	Lebar Daun	35-40 HST	9-12 cm	TIDAK LAYAK	TIDAK LAYAK	LAYAK
			6.95 cm		4.85 cm	10.5 cm
3.	Jumlah Daun	35-40 HST	≥ 12 Daun	LAYAK	TIDAK LAYAK	LAYAK
			12.25		11.25	14.5
4.	Bobot Segar Tajuk	35-40 HST	250-300 gr	TIDAK LAYAK	TIDAK LAYAK	TIDAK LAYAK
			93.63 gr		92.05 gr	194.87 gr
5.	Ketebalan Daun	35-40 HST	≥ 0.35 cm	LAYAK	TIDAK LAYAK	TIDAK LAYAK
			0.4775 cm		0.2575 cm	0.3025 cm
6.	Nilai Klorofil	35-40 HST	≥ 55	LAYAK	TIDAK LAYAK	TIDAK LAYAK
			59.94		33.80	43.75

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Sistem kontrol intensitas cahaya berbasis logika fuzzy diperoleh dari nilai *PWM (Pulse Width Modulation)* 872.1662 untuk *set point* intensitas cahaya sebesar 667.2 *PAR*. Rata-rata nilai *error* adalah *positive error* 1.28 *PAR* (0.192%) dan *negative error* 2.56 *PAR* (0.386%).
2. Sistem kontrol suhu dan kelembapan cahaya logika fuzzy didapat 686.4738 pada *set point* suhu 28°C. Nilai rata-rata *error*, *positive error* 0.0628°C (0.225%) dan *negative error* 0.
3. Hasil panen tanaman *Pak Choy (Brassica Chinensis L.)* berbasis logika fuzzy adalah sebagai berikut : tinggi tanaman 20.25 cm; lebar daun tanaman 6.95 cm; jumlah daun tanaman 12.25 buah; bobot segar tajuk 93.625 gr; bobot segar akar 11.4 gr; bobot total 105.025 gr; bobot kering total 18.575 gr; luas daun 25.4125; indeks luas daun 0.03975; klorofil daun 59.94167; penyesapan cahaya 43.2; ketebalan daun 0.4775; dan indeks sampah 0.89.

6.2 Saran

1. Dari hasil panen dapat diketahui bahwa *Ruang Semi Plant-Factory* dapat menghasilkan tanaman dengan kualitas yang baik, sangat cocok untuk dikembangkan pada komoditas bernilai jual tinggi serta organik. Namun dibalik kelebihan tersebut terdapat kelemahan utama *Ruang Semi Plant-Factory* yaitu *cost* pembuatan *Ruang Semi Plant-Factory* sangat mahal, biaya operasional mahal terutama biaya konsumsi listrik. Kedepan dapat dikembangkan riset *Ruang Semi Plant-Factory* dengan sumber listrik terbarukan, misal energi cahaya matahari.
2. Riset selanjutnya, seluruh aktuator harus mampu bersifat menambah dan mengurangi kondisi lingkungan secara mandiri, baik pada intensitas cahaya, suhu dan juga

kelembapan. Karena pada riset ini khusus aktuator suhu hanya bisa mengurangi suhu, tanpa bisa menambah nilai suhu.

3. Sensor intensitas cahaya, pada riset selanjutnya harus langsung menggunakan PAR Meter, agar didapatkan nilai tanaman yang lebih maksimal. Penelitian ini masih menggunakan LUX meter dan dikonversi menjadi PAR menggunakan nilai penelitian beberapa jurnal.



DAFTAR PUSTAKA

- A.Riesgo., P.Alonso., I.Diaz., S.Monez. 2018. **Basic Operations For Fuzzy Multisets.** International Journal o Approximate Reasoning 101 (2018) 107-118
- Adrover, M., Moya, G., Vadell, J. 2013. **Use of Hydroponics Culture to Asses Nutrient Supply by Treated Wastewater.** ELSEVIER Journal of Environtmental Management 127 (2013) 162-165
- Anpo, M., Fukuda, H., Wada, T. 2019. **Ruang Semi Plant-Factory Using Artificial Light.** ISBN: 978-0-12-813973-8, Elsevier Book Inc
- Banzi. 2011. **Getting Started With Arduino.** Make:Books, animprint of Maker Media, a division of O'Reilly Media, Inc.1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA95472
- Dambrosio, L. 2017. **Data-Basic Logic Control Tenchnique Applied to a Wind System.** 72nd Conference o the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI 2017, 6-8 September (2017), Lecce, Italy
- Dubay., Gereffi., Lowe. 2008. **Manufacturing Climate Solutions.** Center on Globalization, Governance and Competitiveness, Duke University. USA
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., and Mitchell, R. L. 1991. **Fisiologi Tanaman Budidaya Fisiologi Tanaman Budidaya.** Terjemahan oleh Herawati Susilo , Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press), 2008
- Gayral, B. 2017. **LED's for Lighting: Basic Physics and Prospects for Energy Savings.** ELSEVIER Journal Compets Rendus Physique 18 (2017) 453-461
- Ginglaras, P., Lykas, C. H., Kittas, C. 1998. **Dynamics Stimulation of Nutrient Solution Composition in a Closed Hydroponics System.** IFAC Control Applications and Ergonomics in Agriculture, Athens, Greece, 1998
- Graamans, L., Baeza, E., Dobblessteen, A. V. D., Tsafaras, I., Stanghellini, C. 2018. **Plant Factories Versus Greenhouse: Comparison of Resources Use Efficiency.** ELSEVIER Journal Agricultral Systems 160 (2018) 31-43

- Graamans, L., Dobbelleste, A. V. D., Meinen, E., Stanghellini, C. 2017. **Plants Factories; Crop Transpiration and Energy Balance**. ELSEVIER Journal Agricultural Systems 153 (2017) 138-147
- Hendrawan, Y., Al Riza D. F., Murase, H. 2014. **Applications of Intelligent Machine Vision in Ruang Semi Plant-Factory**. Proceedings of the 19th World Congress the International Federation of Automatic Control Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014
- Hendrawan, Y., Murase, H. 2011. **Development of Micro Precision Irrigation System in Ruang Semi Plant-Factory**. Proceedings of the 18th World Congress The International Federation of Automatic Control Milano (Italy) August 28 - September 2, 2011
- Horiuchi, J. 2002. **Fuzzy Modelling and Control o Biological Processes**. ELSEVIER Journal of Bioscience and Bioengineering, 94(6), 574-578
- Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M. 2016. **Ruang Semi Plant-Factory An Indoor Vertical Farming System For Efficient Quality Food Production**. ISBN: 978-0-12-801775-3, Elsevier Book Inc
- L.A. Zadeh. 1965. **Fuzzy Sets**. Prosiding Information and Control Vol. 8, Issue 3 June 1965, pages. 338-353
- Lin, Y. C. 2019. **Plant Factories in Taiwan**. Plant Factory Using Artificial Light, pages 297-306. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00580-3>
- Liu, Y., Yu, D., Wang, N., Shi, X., Warner, E. D., Zhang, H., Qin, F. 2013. **Impacts of Agricultural Intensity on Soil Organic Carbon Pools in a Main Vegetable Cultivation Region in China**. ELSEVIER Journal Soil and Tillage Research 134 (2013) 25-32
- M.A. Mickensa., M. Torralbaa., S.A., Robinsona., L.E. Spencerb., M.W. Romeyna., G.D. Massaa., R.M. Wheelera. 2019. **Growth Of Red Pak Choi Under Red And Blue, Supplemented White, And Artificial Sunlight Provided by LEDs**. ELSEVIER Journal Scientia Holtikulturae 245 (2019) 200-209
- M. Krupka. 2017. **Basic Theorem of Fuzzy concept Lattices Revisited**. ELSEVIER Journal Fuzzy Sets Syst (2017) S0165-0114(17)30160-4

- Mas'ud, H. 2009. **Sistem Hidroponik dengan Nutrisi dan Media Tanam Berbeda Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Selada**. Media Litbang Sulteng Vol 2 No.2 : 131-136
- Nakamura, K., Shimizu, H. 2019. **Plant Factories in Japan**. Plant Factory Using Artificial Light, pages 319-325. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00580-3>
- Olle M., Virsille A. 2013. **The Effects of LED on Greenhouse Plant Growth and Quality**. ELSEVIER Journal, Agriculture and Food Science 22: 223-234
- Orsini, F., Maggio, A., Roupael, Y., Pascale, S. D. 2016. **Physiological Quality of Organically Grown Vegetable**. Scienta Horticultura (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.33>
- Quan, Q., Zhang, X., Xue, X. Z. 2018. **Design and Implementation of a Closed-Loop Plant Factory**. IFAC-Papers OnLine, Volume 51, Issue 17, 2018, pages 353-358. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.203>
- Revathi, S., Sivakumaran N. 2016. **Fuzzy Based Temperature Control of Greenhouse**. IFAC-PapersOnLine 49-1 (2016) 549-554
- Rukaman, R. 1994. **Bertanam Petsai dan Sawi**. Penerbit Kanisius: Yogyakarta Shane. 2017. "The Best Grow Room Conditions For Maximum Yield". Melalui <https://www.migrolight.com/> [28/12/2017]
- Setiandi, Ary. 2015. **Perancangan Kontrol Suhu, Kelembapan, Intensitas Cahaya Sistem Penyiraman Aeroponik dengan Logika Fuzzy**. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya, Malang
- Singh, D., Basu, C., Wollweber, M. M., Roth, B. 2015. **LEDs For Energy Efficient Greenhouse Lighting**. ELSEVIER Journal, Renewable and Sustainable Energy Reviews 49 (2015) 139-147
- Susila, A. D. 2013. **Modul V Sistem Hidroponik**. IPB Press: Bogor
- Sutejo, T., Mulyanto E., Suhartono, V. 2011. **Kecerdasan Buatan**. Andi Offset: Yogyakarta

- Syafitri, N. 2016. **Simulasi Sistem Untuk Pengontrolan Lampu dan Air Conditioner dengan Menggunakan Logika Fuzzy**. Jurnal Informatika Vol. 10, No. 1, Jan 2016
- Szysmanska, R., Slesak, I., Orzechowska, A., Kruk, J. 2017. **Physiological and Biochemical Responses to High Light and Temperature Stress in Plants**. ELSEVIER Journal Environmental and Experimental Botany 139 (2017) 165-177
- T. J. Ross. 2010. **Fuzzy Logic With Engineering Applications**. 3th Edition. A John Wiley and Sons, Ltd, Publication
- Wada, T. 2019. **Theory and Technology to Control the Nutrient Solution of Hidroponics**. Elsevier, <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-813973-8.00000-4>
- Wada, T., Fukuda, H., Ogura, T. 2019. **Fundamental Components and Points to Consider in the Design of a Plant Factory: An Example of OPU New-Generation Plant Factory**. Plant Factory Using Artificial Light, pages 231-241. <https://doi.org/10:1016/b978-0-12-813973-8.00006-3>
- Wisnu, K., Jusak, P., Susanto, P. 2014. **Rancang Bangun Wireless Sensor Network Untuk Monitoring Suhu dan Kelembaban Pada Lahan Tanaman Jarak**. Surabaya. STIKOM. Surabaya
- Xu, H., Fu, Y., Li, T., Wang, R. 2017. **Effects Of Different LED Light Wavelengths on the Resistance Of Tomato Against Botrytis Cinerea and The Corresponding Physiological Mechanisms**. . ELSEVIER Journal of Integrative Agriculture 2017, 16(1): 106-114
- Xu, Y., Chang, Y., Chen, G., Lin, H. 2016. **The Research on LED Supplementary Lightning System for Plants**. ELSEVIER Journal Optik 127 (2016) 7193-7201
- Xu, Y., Chang, Y., Chen, G., Lin, H. 2016. **The Research On LED Supplementary Lighting System For Plants**. ELSEVIER Journal, Optik 127 (2016) 7193-7203
- Yen, H. J., Langari, R. 2005. **Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information**. Pearson Education, Canada
- Yuanyuan, Zhang., Yibo, Ma., Ze, Yao., Xin, Wang., Shumao, Wang., Zhenjun, Yu. 2018. **Structure Design and Experiment for Power Supply Device of Plant Factory Lighting System**. IFAC-Papers OnLine, Volume 51, Issue



LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data Penelitian pendahuluan (

Lampiran 2 : UJI PERFORMA RUANG SEMI PLANT-FACTORY

Lampiran 3 : HASIL PERFORMA RUANG SEMI PLANT-FACTORY 40 HARI

Lampiran 4 : Data Penelitian Pertumbuhan Tanaman 0-20 HSS.

Lampiran 5 : Data Penelitian Pertumbuhan Tanaman, Konsumsi Nutrisi, Nilai PPM dan Nilai pH 0-40 HST.

Lampiran 6 : Data Klorofil 20 HSS.

Lampiran 7 : Data Panen Tanaman Pak Choy ()

Lampiran 8 : Dokumentasi Penelitian

Lampiran 9 : Datasheet Komponen Ruang Semi Plant-Factory

Lampiran 1. Data Penelitian pendahuluan

No.	Nilai	Perlakuan 1	Perlakuan 2	Perlakuan 3	Perlakuan 4
1	Tinggi Tanaman	3 cm	3.6 cm	4 cm	8.4 cm
2	Lebar Tanaman	3.1 cm	3.3 cm	3.4 cm	3.8 cm

Keterangan :

Perlakuan 1 : Full Cahaya Matahari ($\Sigma 78666$ LUX)

Perlakuan 2 : Loteng ($\Sigma 8380$ LUX)

Perlakuan 3 : Naungan Plastik ($\Sigma 10644$ LUX)

Perlakuan 4 : LED Biru (5000 LUX)

Lampiran 2. Uji Performa Ruang Semi Plant-Factory

Data Uji Performa Ruang Semi Plant-Factory Tanpa Kontrol 14 Mei 2018

Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Tanggal
20	31	58	11:30:02	05/14/2018
18	31	58	11:32:02	05/14/2018
17	32	58	11:34:03	05/14/2018
20	31	59	11:36:02	05/14/2018
18	32	59	11:38:02	05/14/2018
17	32	58	11:40:02	05/14/2018
18	32	58	11:42:02	05/14/2018
19	33	59	11:44:02	05/14/2018
20	33	56	11:46:02	05/14/2018
20	33	56	11:48:02	05/14/2018
20	34	57	11:50:02	05/14/2018
20	34	56	11:52:02	05/14/2018
20	34	55	11:54:02	05/14/2018
20	35	55	11:56:02	05/14/2018
20	34	52	11:58:02	05/14/2018
20	35	51	12:00:02	05/14/2018
20	34	51	12:02:02	05/14/2018
20	33	52	12:04:02	05/14/2018
20	33	53	12:06:02	05/14/2018
20	34	53	12:08:02	05/14/2018
18	32	52	12:10:02	05/14/2018
19	32	54	12:12:02	05/14/2018
18	32	54	12:14:02	05/14/2018
18	31	55	12:16:02	05/14/2018
19	31	55	12:18:02	05/14/2018
18	31	56	12:20:02	05/14/2018
19	32	56	12:22:02	05/14/2018
20	31	55	12:24:02	05/14/2018
18	32	56	12:26:02	05/14/2018
18	32	57	12:28:02	05/14/2018
19	31	56	12:30:02	05/14/2018



Kondisi IC 100.SH 0.KB 0

Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Tanggal
4250	32	52	13:30:05	05/14/2018
8860	35	48	13:32:05	05/14/2018
8750	35	47	13:34:05	05/14/2018
8800	36	46	13:36:04	05/14/2018
8910	36	45	13:38:05	05/14/2018
8950	36	45	13:40:04	05/14/2018
8830	35	46	13:42:05	05/14/2018
8900	36	46	13:44:05	05/14/2018
8860	35	46	13:46:05	05/14/2018
8790	34	47	13:48:05	05/14/2018
8755	34	47	13:50:05	05/14/2018
8880	35	47	13:52:05	05/14/2018
8925	36	46	13:54:05	05/14/2018
8950	35	46	13:56:05	05/14/2018
9005	36	46	13:58:05	05/14/2018
8945	36	46	14:00:05	05/14/2018
8805	35	47	14:02:05	05/14/2018
8870	35	47	14:04:05	05/14/2018
8815	35	47	14:06:05	05/14/2018
8900	36	45	14:08:05	05/14/2018
8865	35	47	14:10:05	05/14/2018
8855	35	46	14:12:05	05/14/2018
8825	35	46	14:14:05	05/14/2018
8800	35	46	14:16:05	05/14/2018
8795	34	47	14:18:05	05/14/2018
8845	35	47	14:20:05	05/14/2018
8860	35	47	14:22:05	05/14/2018
8855	35	47	14:24:05	05/14/2018
8900	35	46	14:26:05	05/14/2018
8825	35	47	14:28:05	05/14/2018
8820	35	47	14:30:05	05/14/2018

Keterangan :

1. IC : Aktuator Intensitas Cahaya
2. SH :Aktuator Suhu
3. KB : Aktuator Kelembapan



Kondisi IC 0.SH 100.KB 0

Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Tanggal
18	29	58	11:30:12	05/15/2018
18	26	57	11:32:12	05/15/2018
18	26	57	11:34:11	05/15/2018
19	25	56	11:36:12	05/15/2018
20	26	56	11:38:12	05/15/2018
18	27	57	11:40:12	05/15/2018
18	27	58	11:42:12	05/15/2018
18	26	57	11:44:12	05/15/2018
19	25	55	11:46:12	05/15/2018
19	26	55	11:48:12	05/15/2018
20	27	57	11:50:12	05/15/2018
18	26	55	11:52:12	05/15/2018
18	26	54	11:54:12	05/15/2018
18	26	54	11:56:12	05/15/2018
18	27	53	11:58:12	05/15/2018
18	27	52	12:00:12	05/15/2018
18	27	52	12:02:12	05/15/2018
18	25	52	12:04:12	05/15/2018
19	26	53	12:06:12	05/15/2018
18	26	53	12:08:12	05/15/2018
19	27	53	12:10:12	05/15/2018
18	26	54	12:12:12	05/15/2018
18	26	53	12:14:12	05/15/2018
19	26	54	12:16:12	05/15/2018
18	27	54	12:18:11	05/15/2018
19	27	55	12:20:12	05/15/2018
19	26	55	12:22:12	05/15/2018
19	26	54	12:24:12	05/15/2018
19	26	54	12:26:12	05/15/2018
20	26	55	12:28:12	05/15/2018
18	26	55	12:30:12	05/15/2018

Keterangan :

1. IC : Aktuator Intensitas Cahaya
2. SH :Aktuator Suhu
3. KB : Aktuator Kelembapan



Kondisi IC 0.SH 0.KB 100

Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Tanggal
19	32	57	13:30:05	05/15/2018
18	28	70	13:32:05	05/15/2018
18	26	84	13:34:05	05/15/2018
18	24	90	13:36:04	05/15/2018
18	23	94	13:38:05	05/15/2018
18	24	90	13:40:04	05/15/2018
18	25	88	13:42:05	05/15/2018
18	24	90	13:44:05	05/15/2018
19	24	89	13:46:05	05/15/2018
19	24	92	13:48:05	05/15/2018
20	25	91	13:50:05	05/15/2018
20	25	87	13:52:05	05/15/2018
17	24	89	13:54:05	05/15/2018
18	23	92	13:56:05	05/15/2018
18	24	90	13:58:05	05/15/2018
18	23	93	14:00:05	05/15/2018
18	24	89	14:02:05	05/15/2018
18	25	88	14:04:05	05/15/2018
19	24	90	14:06:05	05/15/2018
17	23	93	14:08:05	05/15/2018
18	25	88	14:10:05	05/15/2018
18	24	89	14:12:05	05/15/2018
18	24	90	14:14:05	05/15/2018
19	23	94	14:16:05	05/15/2018
20	24	87	14:18:05	05/15/2018
20	25	88	14:20:05	05/15/2018
18	24	89	14:22:05	05/15/2018
18	24	90	14:24:05	05/15/2018
18	23	91	14:26:05	05/15/2018
18	23	90	14:28:05	05/15/2018
18	23	92	14:30:05	05/15/2018

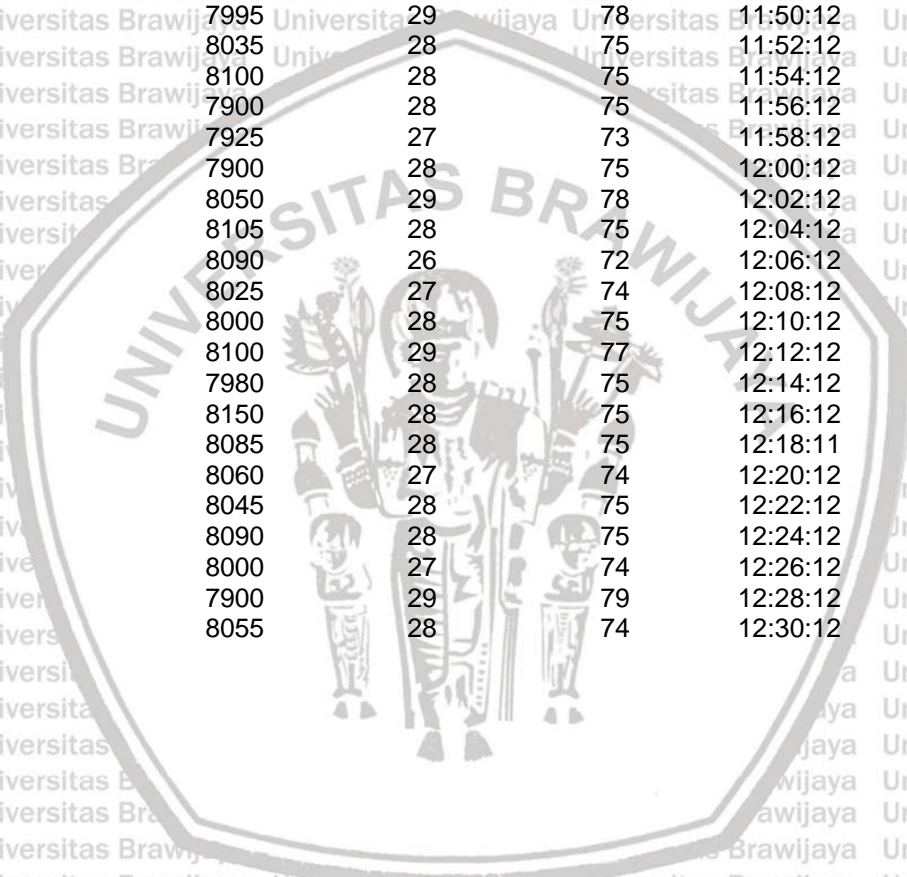
Keterangan :

1. IC : Aktuator Intensitas Cahaya
2. SH :Aktuator Suhu
3. KB : Aktuator Kelembapan



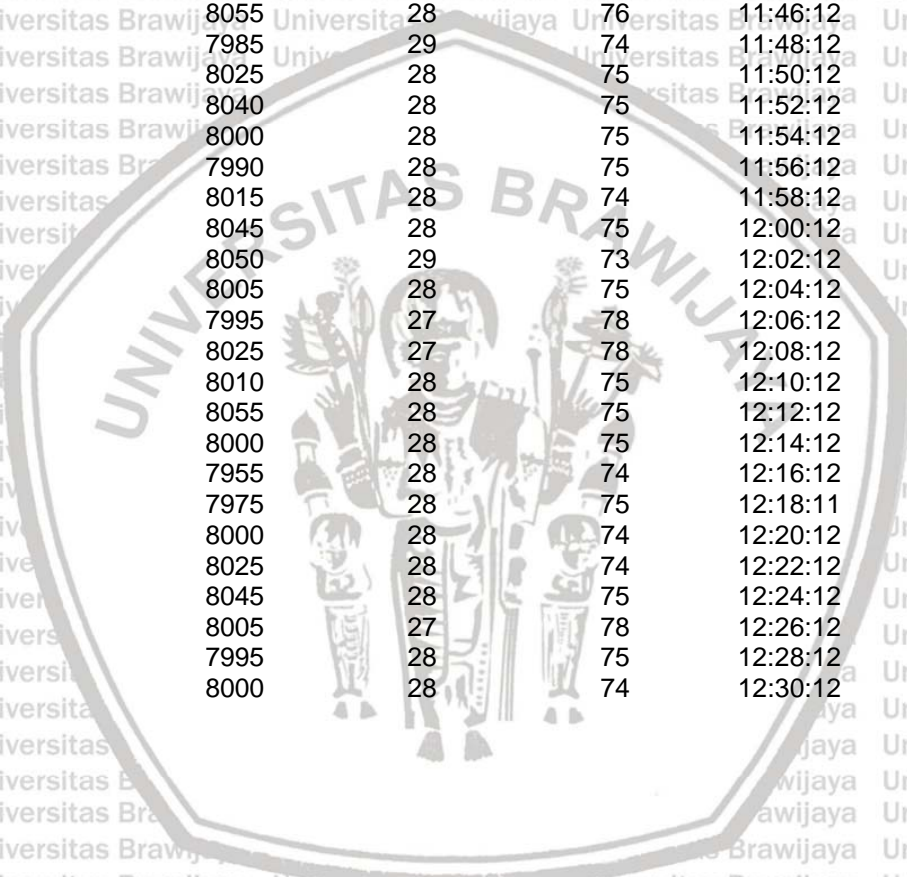
Logika Fuzzy Pengujian Ke-1 (16 Mei 2018)

Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Tanggal
4940	33	60	11:30:12	05/16/2018
8150	30	74	11:32:12	05/16/2018
8050	29	78	11:34:11	05/16/2018
7990	28	75	11:36:12	05/16/2018
7980	28	75	11:38:12	05/16/2018
8035	28	76	11:40:12	05/16/2018
8110	26	71	11:42:12	05/16/2018
8070	27	73	11:44:12	05/16/2018
8150	28	75	11:46:12	05/16/2018
8080	30	80	11:48:12	05/16/2018
7995	29	78	11:50:12	05/16/2018
8035	28	75	11:52:12	05/16/2018
8100	28	75	11:54:12	05/16/2018
7900	28	75	11:56:12	05/16/2018
7925	27	73	11:58:12	05/16/2018
7900	28	75	12:00:12	05/16/2018
8050	29	78	12:02:12	05/16/2018
8105	28	75	12:04:12	05/16/2018
8090	26	72	12:06:12	05/16/2018
8025	27	74	12:08:12	05/16/2018
8000	28	75	12:10:12	05/16/2018
8100	29	77	12:12:12	05/16/2018
7980	28	75	12:14:12	05/16/2018
8150	28	75	12:16:12	05/16/2018
8085	28	75	12:18:11	05/16/2018
8060	27	74	12:20:12	05/16/2018
8045	28	75	12:22:12	05/16/2018
8090	28	75	12:24:12	05/16/2018
8000	27	74	12:26:12	05/16/2018
7900	29	79	12:28:12	05/16/2018
8055	28	74	12:30:12	05/16/2018



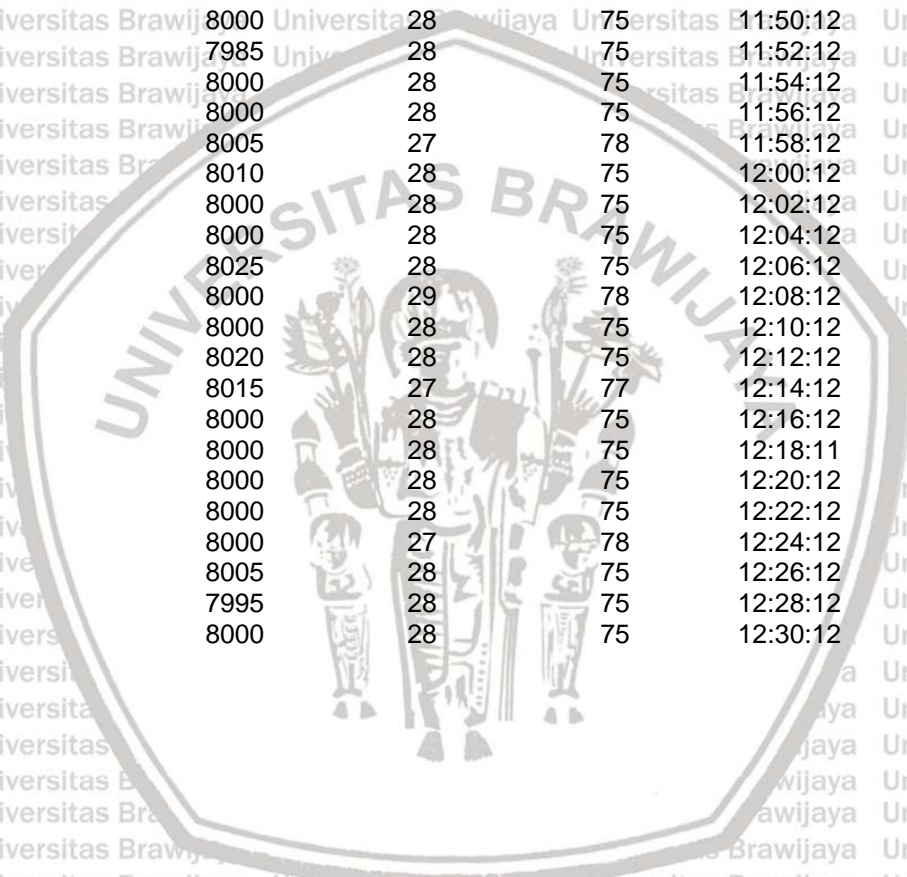
Logika Fuzzy Pengujian Ke-2 (19 Mei 2018)

Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Tanggal
4760	32	60	11:30:12	05/19/2018
8070	29	72	11:32:12	05/19/2018
8000	28	75	11:34:11	05/19/2018
7950	28	78	11:36:12	05/19/2018
7995	28	75	11:38:12	05/19/2018
8005	28	74	11:40:12	05/19/2018
8025	27	80	11:42:12	05/19/2018
8000	28	78	11:44:12	05/19/2018
8055	28	76	11:46:12	05/19/2018
7985	29	74	11:48:12	05/19/2018
8025	28	75	11:50:12	05/19/2018
8040	28	75	11:52:12	05/19/2018
8000	28	75	11:54:12	05/19/2018
7990	28	75	11:56:12	05/19/2018
8015	28	74	11:58:12	05/19/2018
8045	28	75	12:00:12	05/19/2018
8050	29	73	12:02:12	05/19/2018
8005	28	75	12:04:12	05/19/2018
7995	27	78	12:06:12	05/19/2018
8025	27	78	12:08:12	05/19/2018
8010	28	75	12:10:12	05/19/2018
8055	28	75	12:12:12	05/19/2018
8000	28	75	12:14:12	05/19/2018
7955	28	74	12:16:12	05/19/2018
7975	28	75	12:18:11	05/19/2018
8000	28	74	12:20:12	05/19/2018
8025	28	74	12:22:12	05/19/2018
8045	28	75	12:24:12	05/19/2018
8005	27	78	12:26:12	05/19/2018
7995	28	75	12:28:12	05/19/2018
8000	28	74	12:30:12	05/19/2018



Logika Fuzzy Pengujian Ke-3 (22 Mei 2018)

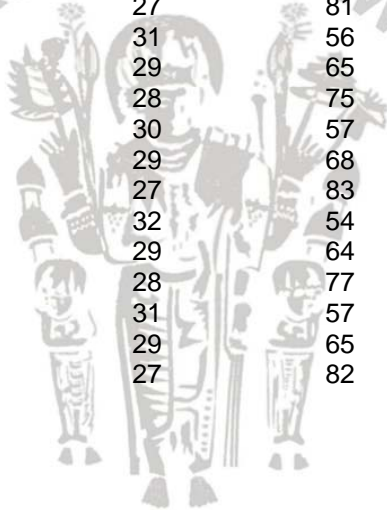
Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Tanggal
4800	31	63	11:30:12	05/22/2018
8000	28	75	11:32:12	05/22/2018
8050	28	75	11:34:11	05/22/2018
8005	29	73	11:36:12	05/22/2018
8010	28	75	11:38:12	05/22/2018
8000	27	78	11:40:12	05/22/2018
8000	28	75	11:42:12	05/22/2018
7970	28	75	11:44:12	05/22/2018
8000	28	75	11:46:12	05/22/2018
8000	28	75	11:48:12	05/22/2018
8000	28	75	11:50:12	05/22/2018
7985	28	75	11:52:12	05/22/2018
8000	28	75	11:54:12	05/22/2018
8000	28	75	11:56:12	05/22/2018
8005	27	78	11:58:12	05/22/2018
8010	28	75	12:00:12	05/22/2018
8000	28	75	12:02:12	05/22/2018
8000	28	75	12:04:12	05/22/2018
8025	28	75	12:06:12	05/22/2018
8000	29	78	12:08:12	05/22/2018
8000	28	75	12:10:12	05/22/2018
8020	28	75	12:12:12	05/22/2018
8015	27	77	12:14:12	05/22/2018
8000	28	75	12:16:12	05/22/2018
8000	28	75	12:18:11	05/22/2018
8000	28	75	12:20:12	05/22/2018
8000	28	75	12:22:12	05/22/2018
8000	27	78	12:24:12	05/22/2018
8005	28	75	12:26:12	05/22/2018
7995	28	75	12:28:12	05/22/2018
8000	28	75	12:30:12	05/22/2018



Logika ON/OFF Pengujian Ke-1 (16 Mei 2018)

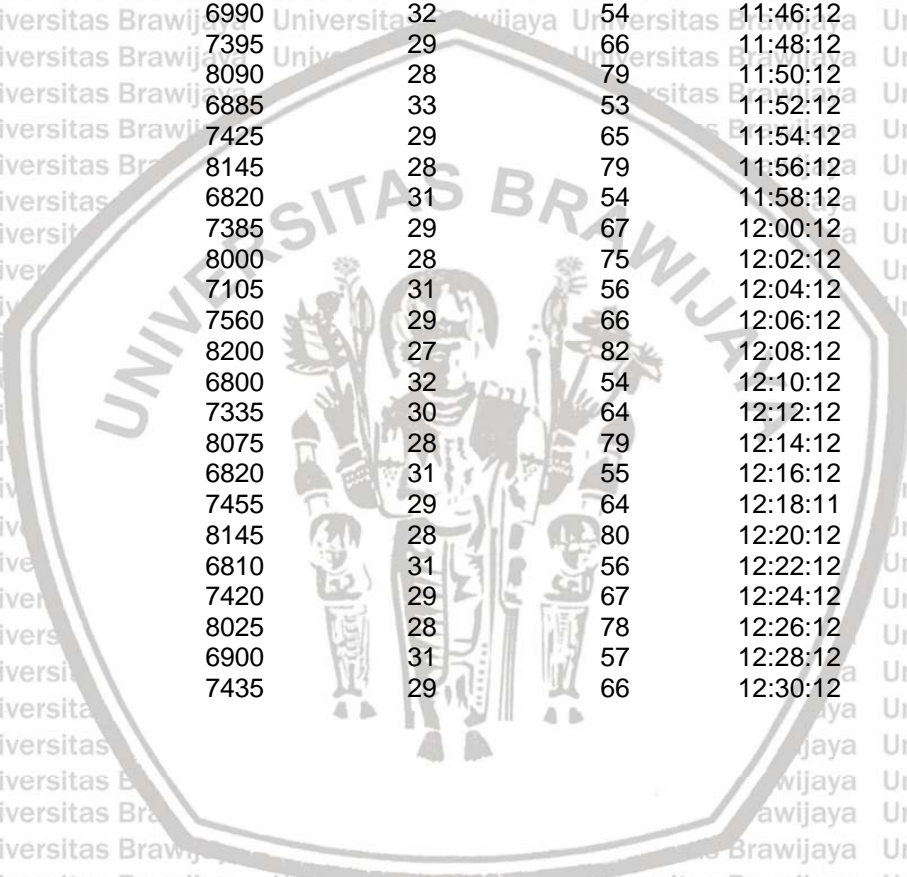
Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Tanggal
4745	33	58	11:30:12	05/16/2018
8095	27	80	11:32:12	05/16/2018
7000	29	57	11:34:11	05/16/2018
8020	27	82	11:36:12	05/16/2018
6980	31	55	11:38:12	05/16/2018
7390	28	67	11:40:12	05/16/2018
8055	27	78	11:42:12	05/16/2018
7020	30	59	11:44:12	05/16/2018
7540	29	66	11:46:12	05/16/2018
8000	28	74	11:48:12	05/16/2018
6800	30	56	11:50:12	05/16/2018
7490	29	68	11:52:12	05/16/2018
8095	27	79	11:54:12	05/16/2018
7020	30	59	11:56:12	05/16/2018
7600	29	65	11:58:12	05/16/2018
8055	27	82	12:00:12	05/16/2018
6890	30	56	12:02:12	05/16/2018
7385	29	64	12:04:12	05/16/2018
8090	27	81	12:06:12	05/16/2018
7010	31	56	12:08:12	05/16/2018
7550	29	65	12:10:12	05/16/2018
8000	28	75	12:12:12	05/16/2018
7150	30	57	12:14:12	05/16/2018
7600	29	68	12:16:12	05/16/2018
8100	27	83	12:18:11	05/16/2018
6805	32	54	12:20:12	05/16/2018
7475	29	64	12:22:12	05/16/2018
8080	28	77	12:24:12	05/16/2018
6995	31	57	12:26:12	05/16/2018
7560	29	65	12:28:12	05/16/2018
8150	27	82	12:30:12	05/16/2018

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Logika ON/OFF Pengujian Ke-2 (19 Mei 2018)

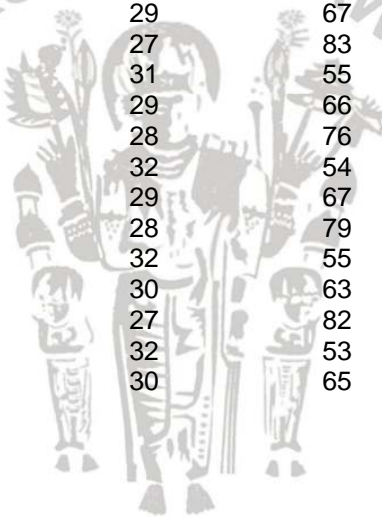
Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Tanggal
4660	32	57	11:30:12	05/19/2018
8100	27	80	11:32:12	05/19/2018
6900	30	58	11:34:11	05/19/2018
7400	29	65	11:36:12	05/19/2018
8150	27	81	11:38:12	05/19/2018
6890	31	56	11:40:12	05/19/2018
7445	29	65	11:42:12	05/19/2018
8000	28	74	11:44:12	05/19/2018
6990	32	54	11:46:12	05/19/2018
7395	29	66	11:48:12	05/19/2018
8090	28	79	11:50:12	05/19/2018
6885	33	53	11:52:12	05/19/2018
7425	29	65	11:54:12	05/19/2018
8145	28	79	11:56:12	05/19/2018
6820	31	54	11:58:12	05/19/2018
7385	29	67	12:00:12	05/19/2018
8000	28	75	12:02:12	05/19/2018
7105	31	56	12:04:12	05/19/2018
7560	29	66	12:06:12	05/19/2018
8200	27	82	12:08:12	05/19/2018
6800	32	54	12:10:12	05/19/2018
7335	30	64	12:12:12	05/19/2018
8075	28	79	12:14:12	05/19/2018
6820	31	55	12:16:12	05/19/2018
7455	29	64	12:18:11	05/19/2018
8145	28	80	12:20:12	05/19/2018
6810	31	56	12:22:12	05/19/2018
7420	29	67	12:24:12	05/19/2018
8025	28	78	12:26:12	05/19/2018
6900	31	57	12:28:12	05/19/2018
7435	29	66	12:30:12	05/19/2018



Logika ON/OFF Pengujian Ke-3 (22 Mei 2018)

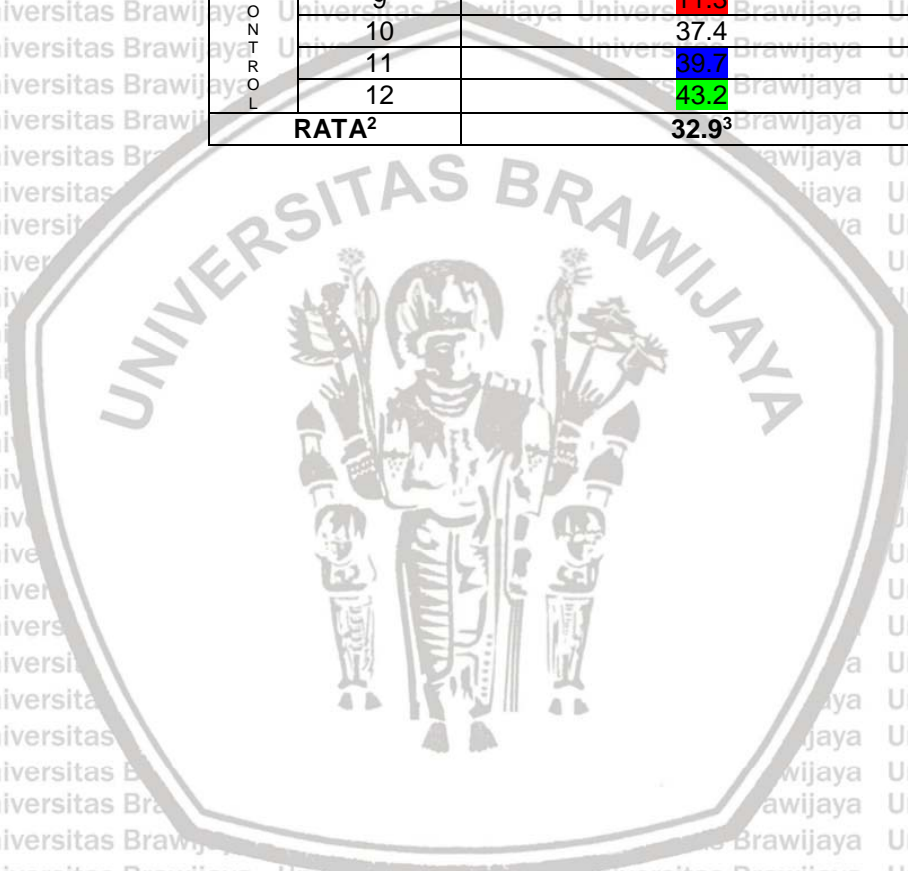
Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu	Tanggal
4890	33	59	11:30:12	05/22/2018
8150	27	80	11:32:12	05/22/2018
6825	32	54	11:34:11	05/22/2018
7550	29	66	11:36:12	05/22/2018
8105	28	80	11:38:12	05/22/2018
6900	31	55	11:40:12	05/22/2018
7350	29	65	11:42:12	05/22/2018
8090	28	79	11:44:12	05/22/2018
6900	31	56	11:46:12	05/22/2018
7440	29	64	11:48:12	05/22/2018
8000	28	75	11:50:12	05/22/2018
6920	31	57	11:52:12	05/22/2018
7480	29	66	11:54:12	05/22/2018
8120	27	81	11:56:12	05/22/2018
6795	32	53	11:58:12	05/22/2018
7490	29	64	12:00:12	05/22/2018
8005	28	78	12:02:12	05/22/2018
6905	32	54	12:04:12	05/22/2018
7415	29	67	12:06:12	05/22/2018
8125	27	83	12:08:12	05/22/2018
6815	31	55	12:10:12	05/22/2018
7420	29	66	12:12:12	05/22/2018
8000	28	76	12:14:12	05/22/2018
6800	32	54	12:16:12	05/22/2018
7400	29	67	12:18:11	05/22/2018
8075	28	79	12:20:12	05/22/2018
6910	32	55	12:22:12	05/22/2018
7390	30	63	12:24:12	05/22/2018
8200	27	82	12:26:12	05/22/2018
6755	32	53	12:28:12	05/22/2018
7390	30	65	12:30:12	05/22/2018

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 6. Data Klorofil 20 HSS.

	NOMER TANAMAN	PENGAMATAN 8 JUNI 2018 (18 HST)
F U Z Z Y	1	44.8
	2	43.7
	3	45.3
	4	45.8
	RATA²	44.9¹
O N O F F F	5	34.8
	6	38.1
	7	42.5
	8	39.1
	RATA²	38.625²
K O N T R O L	9	11.3
	10	37.4
	11	39.7
	12	43.2
	RATA²	32.9³

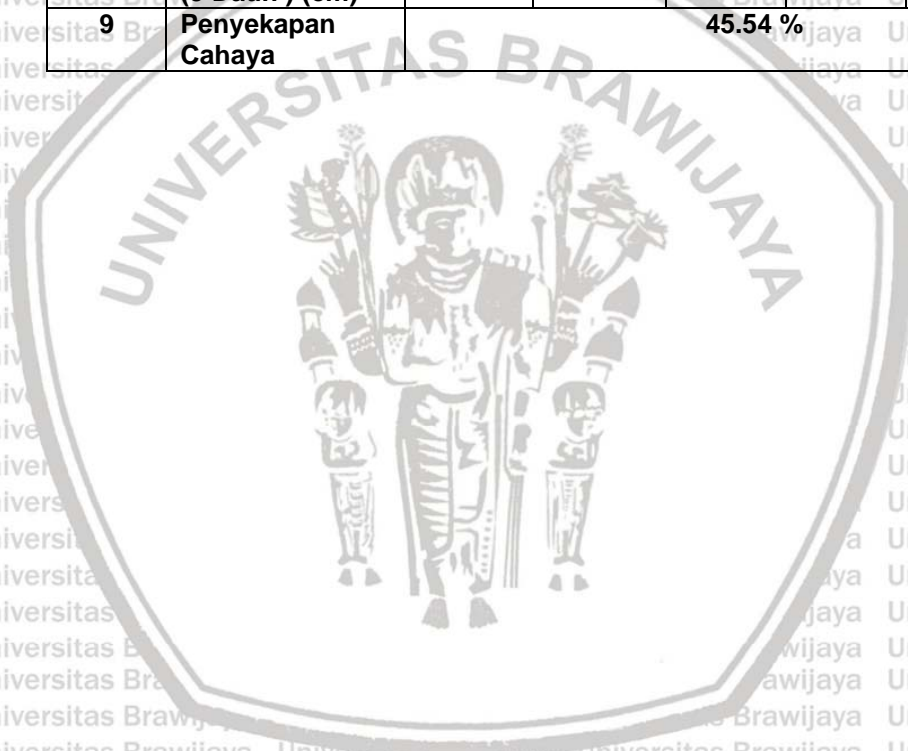


Lampiran 7. Data Panen Tanaman Pak CHOY (*Brassica Chinensis L.*)

Nomer	Parameter Pengamatan	Tanaman Kontrol				Rata-Rata
		1	2	3	4	
1	Bobot Segar Tajuk (gr)	152.3	217.7	267.4	142.1	194.875
2	Bobot Segar Akar (gr)	65.3	109.3	130.9	51.2	89.175
3	Bobot Total (gr)	217.6	327	398.3	193.3	284.05
4	Luas Daun (Cm ²)	72.28	68.82	83.05	59.51	70.915
5	Indeks Luas Daun	0.11	0.13	0.11	0.09	0.11
6	Klorofil Daun	8.3	43.8	57.3	46.9	43.75
		22.6	46.9	44.7	56.5	
		35.7	55.3	55.9	51.1	
		∑	∑	∑	∑	
		22.2	48.67	52.63	51.5	
7	Indeks Sampah	0.70	0.66	0.67	0.73	0.69
8	Ketebalan Daun (5 Daun) (cm)	0.23	0.23	0.4	0.35	0.3025
9	Penyekapan Cahaya	89.28 %				

Nomer	Parameter Pengamatan	Tanaman Logika Fuzzy				Rata-Rata
		1	2	3	4	
1	Bobot Segar Tajuk (gr)	102.5	44.8	110.6	116.6	93.625
2	Bobot Segar Akar (gr)	5.8	5.2	16.1	18.5	11.4
3	Bobot Total (gr)	108.3	50	126.7	135.1	105.025
4	Luas Daun (Cm ²)	21.75	20.29	26.98	32.63	25.4125
5	Indeks Luas Daun	0.034	0.032	0.041	0.052	0.03975
6	Klorofil Daun	57	54.2	73	76.6	59.94167
		60.7	48.6	73.6	81.8	
		57.9	43.7	40.2	52	
		∑	∑	∑	∑	
		58.53	48.83	62.27	70.13	
7	Indeks Sampah	0.94	0.89	0.87	0.86	0.89
8	Ketebalan Daun (5 Daun) (cm)	0.44	0.36	0.5	0.61	0.4775
9	Penyekapan Cahaya	43.2 %				

Nomer	Parameter Pengamatan	Tanaman Logika ON/OFF				Rata-Rata
		1	2	3	4	
1	Bobot Segar Tajuk (gr)	32.7	125.3	92.9	117.3	92.05
2	Bobot Segar Akar (gr)	1.8	4.5	3.3	4.1	3.425
3	Bobot Total (gr)	34.5	129.8	96.2	121.4	95.475
4	Luas Daun (Cm ²)	5.85	17.05	14.24	14.12	12.815
5	Indeks Luas Daun	0.009	0.027	0.023	0.022	0.02025
6	Klorofil Daun	44.2	38.7	25.7	26.1	33.80833
		35.3	42.2	29.9	30.3	
		30.8	37.9	32.9	31.7	
		Σ 36.77	Σ 39.6	Σ 29.5	Σ 29.37	
7	Indeks Sampah	0.940	0.965	0.965	0.966	0.959
8	Ketebalan Daun (5 Daun) (cm)	0.15	0.27	0.29	0.32	0.2575
9	Penyekapan Cahaya	45.54 %				



Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian



Penelitian Pendahuluan



Hasil Semai Perlakuan 4



Hasil Semai Penelitian Pendahuluan
Perlakuan 2



Pengujian Nilai Listrik Faktual



Desain Awal Ruang Semi Plant-Factory



Hasil Rancangan LED



Hasil LED Ruang Semi Plant-Factory



Hasil Semai Penelitian



Pengamatan Intensitas Cahaya Logika
ON/OFF



Kondisi PF Saat Penelitian



Hasil Tanaman 10 HST



Kebakaran Komponen Kelistrikan



Pengamatan Nilai EC dan pH



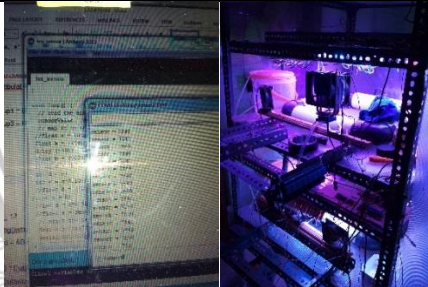
Pengamatan Intensitas Cahaya



Kondisi PF Logika Fuzzy



Kondisi PF Logika ON/OFF



Monitoring Kondisi PF



Nutrisi AB-Mix



Tanaman 20 HST



Pengukuran Tinggi Tanaman 20 HST



Pengukuran Klorofil Tanaman 20 HST



Kondisi Tanaman Kontrol



Tanaman 30 HST



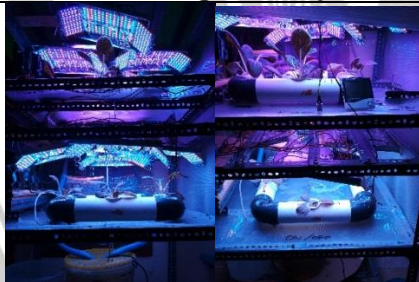
Tanaman PF 30 HST



Tanaman PF Logika Fuzzy 30 HST



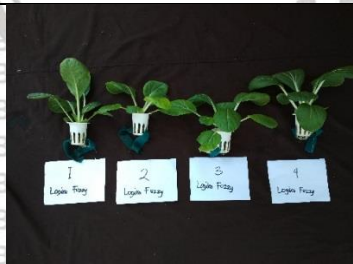
Tanaman PF Logika ON/OFF 30 HST



Tanaman PF 35 HST



Hasil Panen 40 HST Tanaman Kontrol



Hasil Panen 40 HST Tanaman Logika Fuzzy



Hasil Panen 40 HST Tanaman Logika ON/OFF



Pengukuran Hasil Panen Tanaman



Pengukuran Hasil Berat Panen Tanaman



Pengukuran Luas Daun Hasil Panen Tanaman



Pengukuran Klorofil Hasil Panen Tanaman



Pengukuran Tebal Daun Hasil Panen Tanaman



Peng-Ovenan Hasil Panen Tanaman

Lampiran 9. Datasheet Komponen Ruang Semi Plant-Factory

