

**RANCANG BANGUN SISTEM PANTAU DAN
KENDALI CERDAS LARUTAN NUTRISI OTOMATIS
DENGAN METODE LOGIKA *FUZZY* PADA
TANAMAN SAWI HIJAU HIDROPONIK BERBASIS
*INTERNET OF THINGS***

SKRIPSI



**ABDUL AZIZ MUBARAK
H131 16 502**

**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**RANCANG BANGUN SISTEM PANTAU DAN
KENDALI CERDAS LARUTAN NUTRISI OTOMATIS
DENGAN METODE LOGIKA *FUZZY* PADA
TANAMAN SAWI HIJAU HIDROPONIK BERBASIS
*INTERNET OF THINGS***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Sistem Informasi Departemen Matematika Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin**

**ABDUL AZIZ MUBARAK
H131 16 502**

**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ABDUL AZIZ MUBARAK
NIM : H131 16 502
Program Studi : Sistem Informasi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

RANCANG BANGUN SISTEM PANTAU DAN KENDALI CERDAS LARUTAN NUTRISI OTOMATIS DENGAN METODE LOGIKA FUZZY PADA TANAMAN SAWI HIJAU HIDROPONIK BERBASIS INTERNET OF THINGS

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan belum pernah dipublikasikan dalam bentuk apapun.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 4 Agustus 2023



menyatakan,

Abdul Aziz Mubarak
NIM: H131 16 502

**RANCANG BANGUN SISTEM PANTAU DAN KENDALI
CERDAS LARUTAN NUTRISI OTOMATIS DENGAN
METODE LOGIKA FUZZY PADA TANAMAN SAWI HIJAU
HIDROPONIK BERBASIS INTERNET OF THINGS**

Disusun dan diajukan oleh


ABDUL AZIZ MUBARAK

H131 16 502

Telah diperhatikan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam Rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Sistem Informasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam pada Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Muhammad Hasbi, M.Sc.

NIP. 196307201989031003

Pembimbing Pertama



Dr.Eng. Armin Lawi, S.Si. M.Eng

NIP. 197204231995121001

Ketua Program Studi,



Dr. Hendra, S.Si., M.Kom.

NIP. 197601022002121001



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : ABDUL AZIZ MUBARAK
NIM : H131 16 502
Program Studi : Sistem Informasi
Judul Skripsi : RANCANG BANGUN SISTEM PANTAU DAN KENDALI CERDAS LARUTAN NUTRISI OTOMATIS DENGAN METODE LOGIKA FUZZY PADA TANAMAN SAWI HIJAU HIDROPONIK BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Sistem Informasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

		Tanda Tangan
Ketua	: Dr. Muhammad Hasbi, M.Sc.	(.....)
Sekretaris	: Dr. Eng. Armin Lawi, S.Si., M.Eng.	(.....)
Anggota	: Muhammad Sadno, S.Si., M.Si.	(.....)
Anggota	: Rozalina Amran, S.T., M.Eng.	(.....)

Ditetapkan di : Makassar

Tanggal : 4 Agustus 2023



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Strata 1 yang berjudul "**Rancang Bangun Sistem Pantau dan Kendali Cerdas Larutan Nutrisi Otomatis dengan Metode Logika Fuzzy pada Tanaman Sawi Hijau Hidroponik Berbasis *Internet of Things***". Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, pada pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Keluarga, ayahanda tercinta **Abdul Rahman Nompo, S.Ag.** dan ibunda tersayang **St. Hasnah D, SE.** yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materiil serta doa yang tiada henti-hentinya kepada penulis.
2. Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajarannya, Bapak Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam beserta jajarannya, dan seluruh pihak birokrasi atas pengetahuan yang diberikan, baik dalam bidang akademi maupun bidang kemahasiswaan.
3. Bapak **Dr. Muhammad Hasbi, M.Sc.** selaku pembimbing utama dan Bapak **Dr. Eng. Armin Lawi, S.Si., M.S.Si.**, selaku pembimbing pertama untuk segala ilmu dan kesabaran dalam membimbing dan mengarahkan penulis, serta bersedia meluangkan waktunya untuk mendampingi penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Serta kepada Bapak **Muhammad Sadno, S.Si., M.Si.**, dan ibu **Rozalina Amran, S.T., M.Eng.**, atas kesediaannya menjadi anggota tim penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan saran dan arahan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Dosen Departemen Matematika, dan terkhusus kepada ibu dan bapak dosen Program Studi Sistem Informasi Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin

untuk semua ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan di jenjang strata.

5. Pegawai dan staf Science Building dan Departemen Matematika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin yang senantiasa membantu pengurusan dokumen.
6. Teman-teman **SSC Squad (Zinedine Kahlil Gibran Zidane, Rio Mukhtarom, Baharuddin Kasim, Akbar, Muhammad Akbar Atori, Mutawally Syarawy, Bagas Prasetyo, Marfiandhi Putra, Andi Reski Muh. Nur, Sulaeman, Andi Yaumil Falakh, Fitriadi Syawal Mustafa, Fatur Rahman)** yang telah menemani penulis semasa perkuliahan, meluangkan waktu berbagi suka-duka serta kebersamaan menuntut ilmu.
7. Keluarga besar **Ilmu Komputer 2016** yang setia menemani dan membantu penulis semasa pendidikan.
8. Teman-teman **Tim Rijal YukNgaji Makassar** yang senantiasa menemani dan membantu penulis semasa pendidikan.
9. Komunitas Arduino, Stack Overflow, Kotakode dan Github yang telah membantu penulis dan programmer lain di belahan dunia lainnya untuk menemukan permasalahan dalam penyusunan kode program.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis dan tak sempat penulis tuliskan satu persatu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Makassar, 4 Agustus 2023

ABDUL AZIZ MUBARAK

NIM. H13116502

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ABDUL AZIZ MUBARAK
NIM : H131 16 502
Program Studi : Sistem Informasi
Departemen : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Rancang Bangun Sistem Pantau dan Kendali Cerdas Larutan Nutrisi
Otomatis dengan Metode Logika Fuzzy pada Tanaman Sawi Hijau
Hidroponik Berbasis Internet of Things”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal diatas, maka pihak universitas berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Makassar pada tanggal 4 Agustus 2023

Yang menyatakan

(ABDUL AZIZ MUBARAK)

ABSTRAK

Penelitian ini merancang sistem cerdas untuk mengontrol dan memantau larutan nutrisi secara otomatis pada tanaman sawi hijau hidroponik menggunakan logika *fuzzy* dan teknologi *Internet of Things* (IoT). Tahap pengujian melibatkan evaluasi sensor dengan metode konvensional, pengujian logika *fuzzy* dengan Matlab, dan pengujian fungsionalitas aplikasi *web* eLazula melalui *black box testing*. Hasil menunjukkan sensor pH memiliki rata-rata error 0,04%, sedangkan sensor TDS memiliki rata-rata *error* 0,077%. Pengujian logika *fuzzy* menunjukkan rata-rata *error* antara perangkat Arduino dan Matlab untuk berbagai pompa. Meskipun sebagian besar fungsionalitas aplikasi eLazula berjalan baik, ada perlu perbaikan pada halaman atur nutrisi. Hasil pengujian *usability* menunjukkan kepuasan pengguna tinggi dengan skor total 86,25%. Secara keseluruhan, penelitian ini menghasilkan sistem kendali cerdas larutan nutrisi hidroponik berbasis IoT yang efisien.

Kata Kunci: *IoT*, sistem pantau dan kendali cerdas, larutan nutrisi hidroponik, *Nutrient Film Technique*.

ABSTRACT

This research designs a smart system to automatically control and monitor nutrient solution in hydroponic green mustard plants using fuzzy logic and Internet of Things (IoT) technology. The testing phase involves evaluating sensors using conventional methods, testing fuzzy logic with Matlab, and assessing the functionality of the eLazula web application through black box testing. The results show that the pH sensor has an average error of 0.04%, while the TDS sensor has an average error of 0.077%. The fuzzy logic testing reveals an average error between the Arduino device and Matlab for various pumps. Although most of the eLazula application's functionalities perform well, there is a need for improvement in the nutrient control page. Usability testing results indicate high user satisfaction with a total score of 86.25%. Overall, this research yields an efficient IoT-based smart control system for hydroponic nutrient solutions.

Keywords: IoT, intelligent monitoring and control system, hydroponic nutrient solution, Nutrient Film Technique.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Syarat Tumbuh Sawi Hijau	5
2.2 Hidroponik Nutrient Film Technique.....	6
2.3 Nutrisi Tanaman.....	8
2.4 Internet of Things	8
2.5 Logika Fuzzy	9
2.5.1 Pembentukan Himpunan <i>Fuzzy</i>	10
2.5.2 Fungsi Keanggotaan.....	11
2.5.3 Sumber Data.....	14
2.5.4 <i>Fuzzyfikasi</i>	14
2.5.5 <i>Fuzzy Inference System</i>	15
2.5.6 <i>Defuzzyfikasi</i>	15
2.6 Arduino Mega	15
2.7 Modul <i>WiFi</i> ESP8266	17
2.8 Sensor PH.....	17
2.9 Sensor TDS Analog.....	18

2.10	Relay	19
2.12	<i>Submersible Pump</i>	19
2.13	LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	20
2.14	I2C LCD.....	21
2.15	UML Diagram	22
2.15.1	<i>Use Case Diagram</i>	22
2.15.2	<i>Activity Diagram</i>	23
2.16	PHP dan MySQL	24
2.16.1	Personal Home Page (PHP).....	24
2.16.2	MySQL.....	25
2.17	<i>Framework Laravel</i>	25
2.18	<i>HTML, CSS, JavaScript</i>	25
2.18.1	<i>HTML (Hypertext Markup Language)</i>	25
2.18.2	<i>CSS (Cascading Style Sheets)</i>	26
2.18.3	<i>JavaScript</i>	26
2.19	<i>Human Computer Interface (HCI)</i>	26
2.20	Black Box Testing	26
BAB III METODE PENELITIAN		28
3.1	Tahapan Penelitian	28
3.2	Instrumen Penelitian.....	29
3.3	Perancangan Perangkat Keras	31
3.3.1	Rancangan Diagram Blok	31
3.3.2	Arduino Mega 2560 dan ESP8266.....	32
3.3.3	Arduino Mega 2560 dan pH Sensor.....	33
3.3.4	Arduino Mega 2560 dan TDS Sensor	33
3.3.5	Arduino Mega 2560 dan Relay	34
3.3.6	Arduino Mega 2560 dan <i>Liquid Crystal Digital</i>	35
3.3.7	Arduino Mega 2560 dan Sensor Suhu	35
3.5.6	Rancangan Skematik.....	36
3.4	Rancangan Hidroponik NFT	37
3.4	Rancang Perangkat Lunak.....	38
3.4.1	Rancangan <i>Flowchart</i>	38
3.4.2	Rancangan Aplikasi Pantau	39
3.5	Pengujian Sistem	40

3.5.1	Human Computer Interface.....	40
3.5.2	Pengujian Sensor pH.....	40
3.5.3	Pengujian Sensor TDS	40
3.5.4	Pengujian Logika Fuzzy	41
3.5.5	Pengujian Black Box.....	41
3.5.6	Pengujian Usability	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Hasil Rancang Bangun Perangkat Keras.....	45
4.2	Hasil Komunikasi Data	48
4.2.1	Koneksi Jaringan dan Kirim Data.....	49
4.2.2	Program DS18B20	52
4.2.3	Program TDS Meter.....	54
4.2.4	Program pH Meter	56
4.2.5	Program Logika Fuzzy.....	58
4.2.6	Program Kendali Nutisi	69
4.2.7	Program LCD.....	71
4.2.7	Program Terima Data dan Parsing Data	74
4.3	Hasil Rancang Aplikasi	76
4.3.1	Perancangan Sistem Secara Umum.....	76
4.3.2	Implementasi Desain Antarmuka.....	84
4.4	Hasil Human Computer Interface.....	90
4.4.1	Hasil Pengujian Sensor pH	90
4.4.2	Hasil Pengujian Sensor TDS.....	91
4.4.3	Hasil Pengujian Logika <i>Fuzzy</i>	92
4.4.4	Hasil Pengujian Black Box Testing	97
4.4.5	Hasil Pengujian <i>Usability</i>	100
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		102
5.1	Kesimpulan.....	102
5.2	Saran.....	103
DAFTAR PUSTAKA		104
LAMPIRAN.....		108

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai pH dan TDS Optimum untuk Tanaman Sawi Hijau	5
Tabel 2.2 Use Case Diagram.....	23
Tabel 2.3 Activity Diagram	24
Tabel 3.1 Kebutuhan Perangkat Keras.....	30
Tabel 3.2 Informasi Rangkaian pin ESP8266 dengan Arduino Mega.....	33
Tabel 3.3 Informasi Rangkaian pin pH Meter dengan Arduino Mega	33
Tabel 3.4 Informasi Rangkaian pin sensor TDS dengan Arduino Mega.....	34
Tabel 3.5 Informasi Rangkaian pin Relay dengan Arduino Mega	35
Tabel 3.6 Kuisisioner uji aplikasi eLazula	42
Tabel 3.7 Interpretasi Skor.....	44
Tabel 4.1 Member <i>fuzzy</i>	63
Tabel 4.2 Users	81
Tabel 4.3 Rekap	82
Tabel 4.4 Artikel	82
Tabel 4.5 Nutrisi	83
Tabel 4.6 Pengujian sensor pH	90
Tabel 4.7 Pengujian sensor TDS.....	91
Tabel 4.8 Pengujian arduino dengan matlab untuk pompa asam.....	92
Tabel 4.9 Pengujian arduino dengan matlab untuk pompa basa.....	93
Tabel 4.10 Pengujian arduino dengan matlab untuk pompa air baku.....	94
Tabel 4.11 Pengujian arduino dengan matlab untuk pompa nutrisi.....	95
Tabel 4.12 Pengujian black box halaman login dan logout	97
Tabel 4.13 Halaman rekap data sensor	97
Tabel 4.14 Pengujian black box halaman dashboard.....	98
Tabel 4.15 Pengujian black box halaman grafik sensor.....	98
Tabel 4.16 Pengujian black box halaman atur nutrisi.....	99
Tabel 4.17 Pengujian black box halaman dokumentasi.....	99
Tabel 4.18 Hasil pengujian usability aplikasi eLazula	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rockwool sebagai media tanam.....	7
Gambar 2.2 Skema Sistem Hidroponik NFT.....	7
Gambar 2.3 Fitur dan ruang lingkup sistem IoT pada budidaya Hidroponik	9
Gambar 2.4 Kurva representasi linier naik (Kusumadewi & Hari, 2010)	11
Gambar 2.5 Kurva representasi linier turun (Kusumadewi & Hari, 2010).....	12
Gambar 2.6 Kurva representasi segitiga (Kusumadewi & Hari, 2010)	13
Gambar 2.7 Kurva representasi trapezium (Kusumadewi & Hari, 2010).....	14
Gambar 2.8 Mikrokontroler Arduino Mega 2560 (Hendriono, 2021).....	16
Gambar 2.9 Modul WiFi ESP8266 (Electron, 2021).....	17
Gambar 2.10 Sensor pH meter (DFRobot, 2021)	18
Gambar 2.11 Sensor TDS (DFRobot, 2021).....	18
Gambar 2.12 Relay 4 channel (Interstacks, 2021).....	19
Gambar 2.13 Pompa Air 5v	20
Gambar 2.14 Pompa Aquarium / Hidroponik.....	20
Gambar 2.15 LCD (Robostore, 2022).....	21
Gambar 2.16 Modul I2C LCD (Iman, 2022)	21
Gambar 2.17 Tampilan LCD dengan Modul I2C (Mike, 2022)	22
Gambar 2.18 Rangkaian LCD dengan Arduino Mega.....	35
Gambar 3.1 Flowchart Tahapan Penelitian.....	28
Gambar 3.2 Blok Diagram Perancangan Perangkat Keras	31
Gambar 3.3 Rangkaian ESP8266 dengan Arduino Mega 2560.....	32
Gambar 3.4 Rangkaian Sensor pH dengan Arduino Mega 2560.....	33
Gambar 3.5 Rangkaian Sensor TDS dengan Arduino Mega 2560	34
Gambar 3.6 Rangkaian relay dengan arduino.....	34
Gambar 3.7 Rangkaian Arduino Mega dengan Sensor Suhu	36
Gambar 3.8 Rancangan Skematik Alat.....	37
Gambar 3.9 Rancangan Hidroponik NFT	37
Gambar 3.10 Rancangan <i>Flowchart</i> Sistem	38
Gambar 4.1 Hasil rancang bangun sistem perangkat keras	45
Gambar 4.2 Kotak elektronik dan wadah pengaturan larutan nutrisi	46
Gambar 4.3 Rangkaian komponen elektronik	47
Gambar 4.4 Tampilan sensor pada penampung air nutrisi	48
Gambar 4.5 Fungsi keanggotaan input pH.....	60
Gambar 4.6 Fungsi keanggotaan input TDS.....	60
Gambar 4.7 Fungsi keanggotaan pompa larutan Basa.....	61
Gambar 4.8 Fungsi keanggotaan output pompa larutan asam	61
Gambar 4.9 Fungsi keanggotaan output pompa larutan nutrisi	62
Gambar 4.10 Fungsi keanggotaan output pompa larutan nutrisi	62
Gambar 4.11 <i>Use Case</i> Diagram	77
Gambar 4.12 <i>Activity</i> diagram esp8266 dengan aplikasi	78
Gambar 4.13 <i>Activity</i> Diagram Proses Login	79
Gambar 4.14 <i>Activity</i> diagram proses pengguna terhadap aplikasi.....	80
Gambar 4.15 Tampilan halaman login.....	84

Gambar 4.16 Tampilan halaman <i>dashboard</i>	85
Gambar 4.17 Tampilan halaman rekap data sensor	86
Gambar 4.18 Tampilan hasil unduh halaman rekap data sensor.....	87
Gambar 4.19 Tampilan halaman grafik sensor	88
Gambar 4.20 Tampilan halaman atur nutrisi	88
Gambar 4.21 Tampilan halaman edit data nutrisi	89
Gambar 4.22 Tampilan halaman dokumentasi	89
Gambar 4.23 Tampilan halaman detail artikel.....	90
Gambar 4.24 Program logika fuzzy pada matlab.....	96

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Hortikultura merupakan subsektor pertanian penting setelah pangan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Khususnya tanaman buah dan sayuran yang merupakan komoditas *hortikultura* yang berkembang pesat di Indonesia. Selain kebutuhan semakin meningkat, sektor ini didukung oleh potensi sumber daya alam, sumber daya manusia, ketersediaan teknologi, serta potensi serapan pasar di dalam negeri dan di luar negeri. Tanaman *hortikultura* merupakan salah satu tanaman yang menunjang pemenuhan gizi masyarakat sebagai sumber karbohidrat, mineral, protein, dan vitamin (Yusarah, 2018)

Tanaman sawi hijau (*caisim*) merupakan komoditas sayuran yang memiliki nilai komersial, prospek, dan gizi yang baik. Permintaan terhadap sawi selalu meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan kesadaran kebutuhan gizi. Sawi dapat dimanfaatkan sebagai olahan bahan makanan sayuran, pengobatan berbagai macam penyakit. Sawi memiliki zat gizi yang tinggi seperti protein, lemak, karbohidrat, vitamin A, vitamin B dan vitamin C (Suhartini, Suryadarma, & Budiwati, 2017)

Saat ini, banyak peminat budidaya sayuran hidroponik untuk meningkatkan produktivitas tanaman yang memiliki keterbatasan lahan pertanian. Sistem hidroponik menggunakan air sebagai media tanam utama. Terdapat beberapa metode hidroponik yang dapat digunakan salah satunya dengan metode NFT yang akan peneliti gunakan. Sistem hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*) adalah sebuah teknik mengalirkan air nutrisi secara bersirkulasi secara tipis-tipis dengan bantuan pompa.

Faktor penting dalam sistem hidroponik NFT sebagai penunjang keberhasilan tumbuhnya tanaman sawi hijau adalah nutrisi yang cukup. Nutrisi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Nutrisi AB *mix*, nutrisi ini dilarutkan ke dalam air. Dalam larutan nutrisi ada beberapa hal yang dapat diukur

guna, untuk menjaga pertumbuhan tanaman yaitu, pH (*Power of Hydrogen*), suhu, dan TDS (*Total Dissolved Solids*).

pH optimal untuk pertumbuhan tanaman sawi berkisar antara pH 5.5 – 6.5 (Sunaryono & Rismunandar, 1984). Umumnya pengukuran pH dapat menggunakan pH meter, pH meter juga dilakukan dengan cara mencelupkannya kedalam larutan kemudian mengamati nilai pH yang terlihat pada layar yang ada pada pH meter tersebut. Namun pH meter yang digunakan hanya dapat membaca hasil pengukuran dan tidak untuk menyimpan data hasil pengukuran. TDS optimal untuk pertumbuhan tanaman sawi dengan kondisi larutan nutrisi ialah 1050 – 1400 ppm (Bayu, 2016). Umumnya pengukuran jumlah konsentrasi padatan terlarut atau TDS menggunakan TDS meter, satuan yang digunakan adalah *ppm* (part per million).

Logika *fuzzy* mamdani merupakan salah satu metode yang sangat fleksibel dan memiliki toleransi pada data yang ada. *Fuzzy* mamdani memiliki kelebihan yakni, lebih intuitif, diterima oleh banyak pihak. Penggunaan *fuzzy* mamdani ini sama halnya dengan penggunaan metode peramalan pada bidang statistik. Penentuan analisis berdasarkan pendekatan *fuzzy* lebih efisien dalam pendekatan menggunakan angka dibanding dengan metode peramalan. Peramalan dalam statistik dapat menghasilkan galat eror lebih besar dari pendekatan *fuzzy*. Dengan melakukan pendekatan *fuzzy* menghasilkan output yang lebih dekat dengan keadaan sebenarnya (Andani, 2013).

IoT merupakan sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas *internet* yang tersambung secara terus-menerus yang memungkinkan kita untuk menghubungkan mesin, peralatan, dan benda fisik lainnya dengan sensor jaringan dan actuator untuk memperoleh data dan mengolah kinerjanya sendiri, sehingga memungkinkan mesin untuk berkolaborasi dan bertindak berdasarkan informasi baru yang diperoleh secara independen (Arafat, 2016).

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis mengambil penelitian untuk membuat sistem pantau dan kendali cerdas larutan nutrisi pada tanaman sawi hijau hidroponik NFT. Penulis merancang sistem untuk mendeteksi kondisi kadar pH air nutrisi menggunakan sensor pH dan sensor TDS. Kemudian data hasil pengukuran tersebut akan diolah oleh Arduino dengan menggunakan metode *logika fuzzy*

Mamdani untuk menghasilkan nilai *set point* berdasarkan parameter untuk tanaman. Hasil pengolahan data oleh Arduino akan mengaktifkan pompa, apabila nilai pembacaan sensor tidak sesuai dengan *set point*. Untuk mengetahui hasil dari pembacaan serta keluaran yang dihasilkan oleh sistem, maka Arduino mengirimkan data berupa bilangan bulat ke *LCD* dan juga mengirimkan data ke aplikasi *website* yang terintegrasi untuk menampilkan aktivitas yang dikerjakan oleh sistem tersebut. Oleh karena itu, penulis mengangkat penelitian dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pantau dan Kendali Cerdas Larutan Nutrisi Otomatis dengan Metode Logika *Fuzzy* pada Tanaman Sawi Hijau Hidroponik Berbasis *Internet of Things*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dari prinsip kerja sistem hidroponik NFT (Nutrient Film Technique), maka dapat dirumuskan masalahnya sebagai berikut,

1. Bagaimana cara merancang sistem pantau berbasis IoT pada sistem kendali cerdas larutan nutrisi hidroponik?
2. Bagaimana cara kalibrasi sensor agar nilai yang dihasilkan mendekati nilai alat standar?
3. Bagaimana cara mengimplementasikan *fuzzy Mamdani* pada sistem kendali cerdas larutan nutrisi hidroponik?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Penelitian hanya berfokus pada tanaman Sawi Hijau dengan umur 22 hari setelah semai.
2. Variabel yang akan dipantau pada penelitian ini antara lain ialah nilai pH dan TDS.
3. Variabel yang akan dikendalikan secara otomatis pada penelitian ini antara lain ialah pH dan TDS.

4. Teknik hidroponik yang digunakan adalah teknik hidroponik NFT (Nutrient Film Technique), dan media tanam yang digunakan adalah rockwool.
5. Aplikasi pemantauan ini berfokus untuk menampilkan hasil pengukuran kadar pH, TDS, serta menampilkan waktu nyala pompa larutan asam, basa, nutrisi AB mix, dan air.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Dapat merancang sistem pantau pada sistem kendali cerdas larutan nutrisi pada tanaman sawi hijau hidroponik.
2. Dapat merancang sistem kendali cerdas larutan nutrisi pada tanaman sawi hijau hidroponik.
3. Dapat mengimplementasikan metode logika *Fuzzy* Mamdani terhadap sistem kendali cerdas larutan nutrisi tanaman pada sawi hijau hidroponik NFT.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian dengan perancangan sistem pantau dan kendali cerdas larutan nutrisi otomatis menggunakan metode logika *fuzzy* pada tanaman sawi hijau hidroponik NFT sebagai berikut.

1. Sistem pantau ini diharapkan dapat memberikan informasi dan pemahaman penulis maupun pembudidaya hidroponik dalam pemantauan kondisi larutan nutrisi tanaman sawi hijau secara realtime tanpa harus datang ke lokasi tanaman berada.
2. Dengan adanya sistem kendali cerdas ini diharapkan dapat membantu penulis dan pembudidaya hidroponik dalam menghemat waktu dalam mengendalikan larutan nutrisi secara otomatis saat ditinggal pergi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Syarat Tumbuh Sawi Hijau

Sawi hijau *Brassica juncea* L. merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai komersial yang tinggi karena merupakan tanaman sayuran daun yang banyak digemari oleh masyarakat dan merupakan salah satu komponen menu keluarga yang tidak dapat ditinggalkan (Marsudi, 2011). Tanaman sawi dapat ditanam di dataran rendah. Sawi juga termasuk tanaman sayuran yang tahan terhadap hujan. Sehingga dapat ditanam sepanjang tahun dengan disediakan pembuangan air yang baik (Rukmana, 1994). Sawi memiliki masa panen relatif pendek yakni antara 40 – 50 hari (Rukmana, 1994).

Tanaman sawi dapat tumbuh pada tanah yang gembur, banyak mengandung zat organik (subur), dan derajat keasaman tanah (pH) antara 5,5 – 6,5 (Sunaryono & Rismunandar, 1984). Tanaman sawi tidak menghendaki keadaan air yang tergenang, keadaan ini dapat menyebabkan akar tanaman mudah busuk dan tidak mampu menyerap unsur hara dan dalam tanah dapat menyebabkan tanaman layu dan mati (Haryanto, Suhartini, & R, 2001).

Kadar pH dapat dihitung dari konsentrasi ion hydrogen dalam suatu larutan. Kadar pH nutrisi yang tidak tepat dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terlambat, daun menguning dan mungkin saja tanaman akan mati. Alat untuk mengukur tingkat keasaman air menggunakan pH meter (Dr.Susilawati, 2019).

Selain mengetahui kadar pH, mengetahui kadar mineral juga merupakan aspek penting dalam budidaya. Menurut Hartman, komposisi hara *mineral* dalam tubuh tanaman tidak dapat digunakan secara langsung untuk menentukan apakah hara-hara tersebut merupakan hara esensial bagi pertumbuhan tanaman.

Beberapa nilai pH dan nilai tds yang optimum untuk tanaman sawi hijau disajikan pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Nilai pH dan TDS Optimum untuk Tanaman Sawi Hijau

Referensi	pH / Derajat keasaman	TDS / ppm
(Tripama & Yahya, 2018)	6 – 7	1050 – 1250
(Bayu, 2016)	5.5 – 6.5	1050 – 1400

2.2 Hidroponik Nutrient Film Technique

Hidroponik adalah suatu media yang terbuat dari material atau bahan selain tanah yang digunakan sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya akar tanaman. Berdasarkan pengertian tersebut media tanam hidroponik berfungsi sebagai tempat menopang tanaman agar mampu berdiri tegak sehingga tidak mudah roboh. (Dr.Susilawati, 2019).

Sistem hidroponik NFT merupakan teknik pemberian larutan nutrisi melalui aliran yang sangat dangkal (Heribowo & Budiana, 2003). Nutrisi merupakan faktor penting untuk kembang dan kualitas tanaman hidroponik. Di dalam nutrisi mengandung unsur makro (C, H, O, N, S, P, K, Cs, dan Mg)serta unsur mikro (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, dan Zn). Dalam pembuatan nutrisi terdapat dua jenis yaitu larutan A dan larutan B. Larutan A dan larutan B tidak dapat dicampur karena apabila kation Ca dalam larutan A bercampur dengan anion sulfat dalam larutan B, maka akan terjadi endapan kalsium sulfat sehingga unsur Ca dan S tidak dapat diserap akar tanaman (Heribowo & Budiana, 2003).

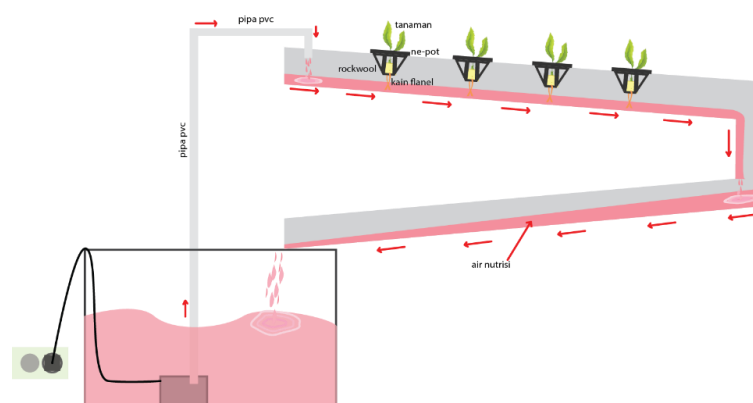
Rockwool merupakan salah satu mineral fiber atau mineral wool yang sering digunakan sebagai media tanam hidroponik. Sebagai media tanam, rockwool memiliki kemampuan menahan air dan udara (oksigen untuk aerasi) dalam jumlah besar yang sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan akar dan penyerapan nutrisi pada metode hidroponik. Struktur serat alami yang dimiliki rockwool juga sangat baik untuk menopang batang dan akar tanaman sehingga dapat tegak dengan stabil. Kemampuan rockwool tersebut membuat bahan ini cocok digunakan sebagai media tanaman sejak tahap persemaian hingga proses produksi/panen (Dr.Susilawati, 2019).



Gambar 2.1 Rockwool sebagai media tanam

Sistem hidroponik memiliki banyak kelebihan diantaranya meminimalisir serangan hama dan penyakit, penggunaan pupuk air lebih efisien, larutan nutrisi tanaman dapat diatur sesuai dengan tingkat kebutuhan tanaman. Selain itu budidaya hidroponik dapat diusahakan di lahan tidak subur maupun di lahan yang sempit, kebersihan lingkungan dapat lebih terjaga. Pada sistem hidroponik pula budidaya tanaman dapat dilakukan tanpa bergantung musim (Suhardiyanto, 2006).

NFT merupakan model budidaya hidroponik dengan meletakkan akar tanaman pada lapisan air yang dangkal. Air tersebut tersirkulasi dan mengandung nutrisi sesuai kebutuhan tanaman. Perakaran dapat berkembang di dalam larutan nutrisi. Karena di sekeliling perakaran terdapat selapis larutan nutrisi, maka sistem ini dikenal dengan nama *Nutrient Film Technique* (NFT) (Wibowo & Asriyanti, 2013).



Gambar 2.2 Skema Sistem Hidroponik NFT

Konsep dari sistem NFT ialah mengalirkan larutan nutrisi secara terus menerus ke akar tanaman dengan ketinggian dan aliran yang rendah, aliran nutrisi

yang dialirkan akan diserap kain flannel dan rockwool sebagai media pembantu agar akar tanaman dapat menyerap nutrisi yang dialirkan.

NFT memiliki karakteristik, bahwa akar tanaman berada di udara dan larutan nutrisi sekaligus. Sebagian akar berada pada ruang udara dalam saluran, sehingga dapat menyerap oksigen, sebagian yang lain terendam dalam larutan nutrisi sehingga dapat menyerap unsur hara dan air yang diperlukan oleh tanaman. Saluran yang diletakkan dengan kemiringan tertentu memungkinkan larutan nutrisi mengalir sampai ujung saluran dan ditampung kembali dalam tangki (Matsuoka & Suhardiyanto, 1992).

2.3 Nutrisi Tanaman

Nutrisi tanaman adalah kandungan nutrisi atau unsur hara berupa zat-zat kimia yang dibutuhkan tanaman untuk melanjutkan siklus hidup atau Nutrisi tanaman adalah inti dari pertanian modern dengan kenyataan produktivitas tanaman yang sangat tergantung pada ketersediaan unsur hara pada tanaman. Larutan nutrisi adalah salah satu faktor paling vital yang mempengaruhi kualitas dan hasil panen. Sistem hidroponik mengandung terutama larutan berair elemen penting senyawa organik atau anorganik. Unsur hara adalah sejumlah unsur kimia yang dibutuhkan oleh tanaman untuk keperluan pertumbuhan tanaman. Tanaman dapat memperoleh nutrisi dari tanah, udara maupun air (Dr.Susilawati, 2019).

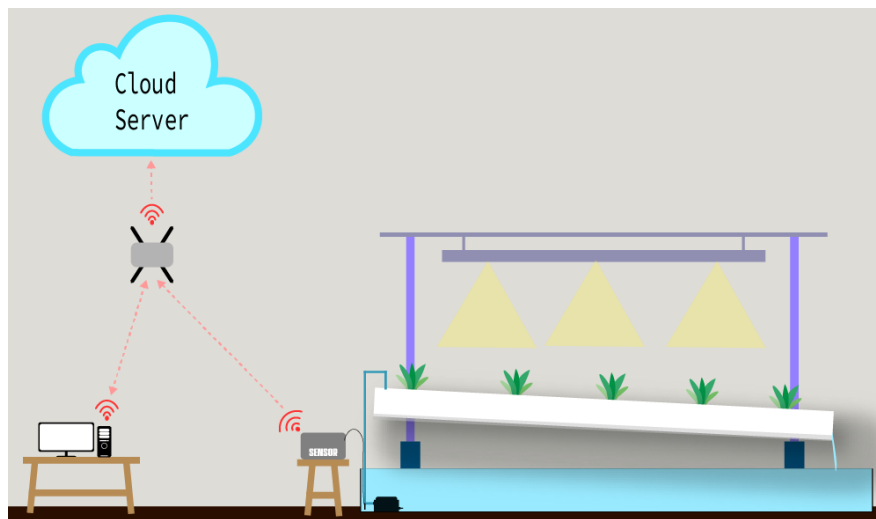
Nutrisi AB Mix adalah nutrisi tanaman hidroponik yang dilarutkan dalam air. Nutrisi AB blend dibagi menjadi makronutrien yang mewakili nutrisi A dan mikronutrien yang mewakili nutrisi B. Unsur makro tersebut adalah nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan belerang (S). Unsur jejak yaitu mangan (Mn), tembaga (Cu), molibdin (Mo), seng (Zn) dan besi (Fe).

2.4 Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah suatu keadaan ketika benda memiliki identitas, bisa beroperasi secara intelijen, dan bisa berkomunikasi dengan sosial, lingkungan, dan bisa berkomunikasi dan penggunaannya. Tujuannya adalah untuk membuat manusia berinteraksi dengan benda lebih mudah, bahkan dengan tujuan

supaya benda juga bisa saling berkomunikasi dengan benda yang lainnya (Artono & Putra, 2017).

Internet of Things pada dasarnya adalah dapat dimulai dengan cara membuat suatu koneksi atau sebuah komunikasi antara mesin dengan mesin, sehingga mesin – mesin tersebut dapat berinteraksi dan dapat bekerja secara independent sesuai dengan data yang diperoleh yang kemudian dapat mengolahnya secara mandiri. Sistem IoT dapat tumbuh menjadi lebih kompleks dengan sejumlah besar perangkat yang dapat saling berhubungan untuk menghasilkan layanan yang mendukung untuk proses yang lebih kompleks. (Artono & Putra, 2017).



Gambar 2.3 Fitur dan ruang lingkup sistem IoT pada budidaya Hidroponik

Penerapan IoT mengharuskan berbagai perangkat yang terpasang sensor pada suatu sistem memiliki alamat *internet protocol* (IP) yang dikoneksikan ke jaringan internet yang sama agar dapat melakukan komunikasi untuk menjalankan suatu kinerja sistem (Wilianto & Kurniawan, 2018).

2.5 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang mensimulasikan kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. Algoritma ini digunakan dalam berbagai berbagai aplikasi pemrosesan data yang tidak dapat direpresentasikan dalam bentuk biner (Maslim & Dwiandiyanta, 2017). Konsep

tentang logika *fuzzy* diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Astor Zadeh pada 1962, logika *fuzzy* adalah metodologi sistem kontrol pemecahan masalah, yang cocok untuk di implementasikan pada sistem, mulai dari sistem yang sederhana, sistem kecil, *embedded system*, jaringan PC, *multi-channel* atau workstation berbasis akuisisi data, dan sistem kontrol (Sutojo, Mulyanto, & Vincent, 2001).

Menurut (Kusumadewi, 2004) : logika *fuzzy* merupakan konsep dasar dari sistem *fuzzy* yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan terhadap suatu variabel input berdasarkan nilai kesamarannya. Dalam teori himpunan samar, samar dinyatakan dalam derajat keanggotaan dan derajat dari kebenaran, sehingga sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah dalam waktu yang bersamaan.

Ada beberapa metode untuk merepresentasikan hasil logika fuzzy yaitu metode *Tsukamoto*, *Sugeno* dan *Mamdani*. Pada metode *Tsukamoto*, setiap konsekuen direpresentasikan dengan himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan monoton. *Output* hasil *inferensi* masing-masing aturan adalah z , berupa himpunan biasa (*crisp*) yang ditetapkan berdasarkan predikatnya. Hasil akhir diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobotnya (Kusumadewi, 2002).

Metode *Sugeno* mirip dengan metode *Mamdani*, hanya *output* (konsekuen) tidak berupa himpunan *fuzzy*, melainkan beberapa konstanta atau persamaan *linear*. Ada dua model metode *Sugeno* yaitu model *fuzzy sugeno* orde nol dan model *fuzzy Sugeno* orde satu. Bentuk umum model *fuzzy Sugeno* orde nol adalah $IF(x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \dots \circ (x_n \text{ is } A_n) THEN z = k$. Bentuk umum model *fuzzy Sugeno* orde satu adalah $IF(x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \dots \circ (x_n \text{ is } A_n) THEN z = p_1 * x_1 + \dots + p_n * x_n + q$. Sedangkan metode *Mamdani*, aplikasi fungsi implikasi menggunakan *MIN*, sedangkan komposisi aturan menggunakan metode *MAX*. Metode *Mamdani* juga dikenal dengan metode *MAX-MIN*. Inferensi *output* yang dihasilkan berupa bilangan *fuzzy* maka harus ditentukan suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output*, proses ini dikenal dengan *defuzzifikasi* (Salman, 2012).

2.5.1 Pembentukan Himpunan Fuzzy

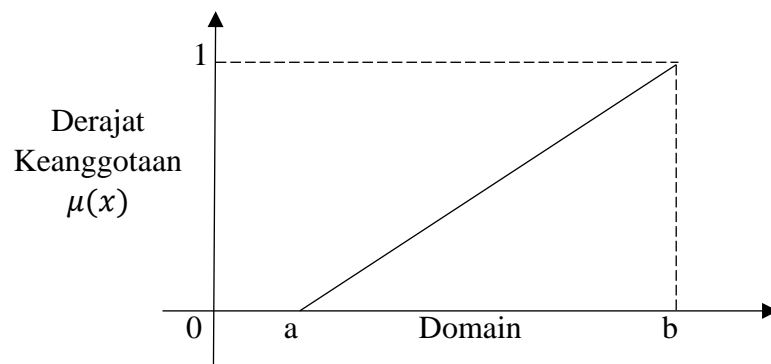
Himpunan *fuzzy* memiliki tidak hanya elemen-elemen, namun juga pada setiap elemen diberikan tingkat keanggotaannya. Bentuk semacam itu merupakan

ekspansi dari himpunan klasik. Karena pada himpunan klasik, elemen yang dicantumkan pada suatu himpunan adalah mempunyai nilai keanggotaan 1 yang berarti anggota penuh dari himpunan. Tidak demikian dengan himpunan *fuzzy*, setiap anggota terkadang memiliki *level* keanggotaan setengah atau seperempat anggota. Karena derajat keanggotaan elemen himpunan fuzi tidak harus penuh, maka satu elemen dapat merupakan anggota lebih dari satu himpunan fuzi dalam satu semesta. Elemen-elemen himpunan fuzi dipetakan ke derajat keanggotaannya dengan fungsi keanggotaan ke dalam interval 0 dan 1 atau $\mu_{A(x)} \in [0,1]$ sebagai contoh untuk himpunan fuzi A dalam semesta X (Rusli, 2017).

2.5.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input ke dalam nilai keanggotaan yang memiliki interval 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan, yaitu:

a. Representasi linier



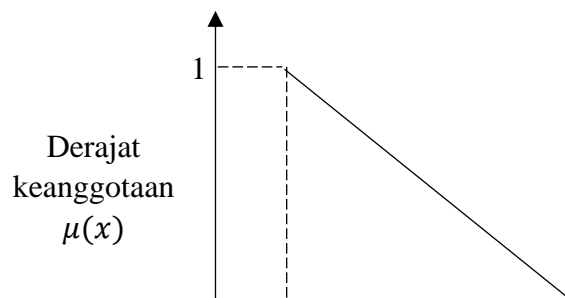
Gambar 2.4 Kurva representasi linier naik
(Kusumadewi & Hari, 2010)

Pada representasi linier, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai garis lurus. Terdapat 2 keadaan himpunan *fuzzy* yang linier. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol bergerak ke kanan menuju nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi.

Berdasarkan fungsi linier naik, diketahui bahwa ketika nilai domain $(x) \leq a$ maka nilai keanggotaannya (μ) adalah 0. Jika nilai domain $(x) \geq a$ maka nilai keanggotaan (μ) adalah 1. Jika nilai domain (x) diantara a dan b , maka nilai keanggotaannya adalah $\frac{(x-a)}{(b-a)}$. Perhatikan penjabaran rumusnya pada persamaan 1.

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

Kedua, garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah.



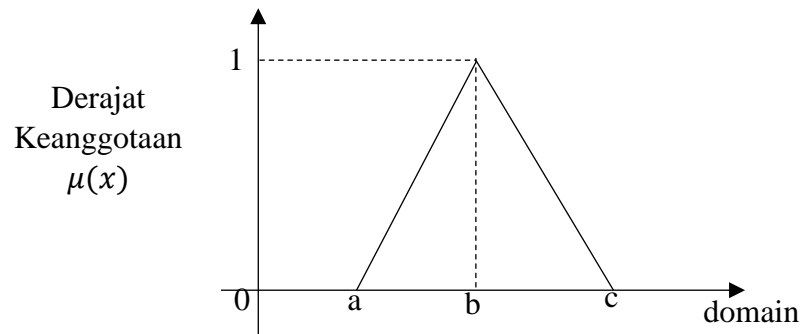
Gambar 2.5 Kurva representasi linier turun
(Kusumadewi & Hari, 2010)

Berdasarkan fungsi linier turun, diketahui bahwa ketika nilai domain $(x) \leq a$ maka nilai keanggotaan (μ) adalah 1. Jika nilai domain $(x) \geq a$ maka nilai keanggotaan (μ) adalah 0. Perhatikan penjabaran rumusnya pada persamaan 2.

$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{(b-x)}{(b-a)}, & a \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (2)$$

b. Representasi kurva segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara dua garis (linier) seperti terlihat pada gambar 2.4.1.2 dibawah ini.



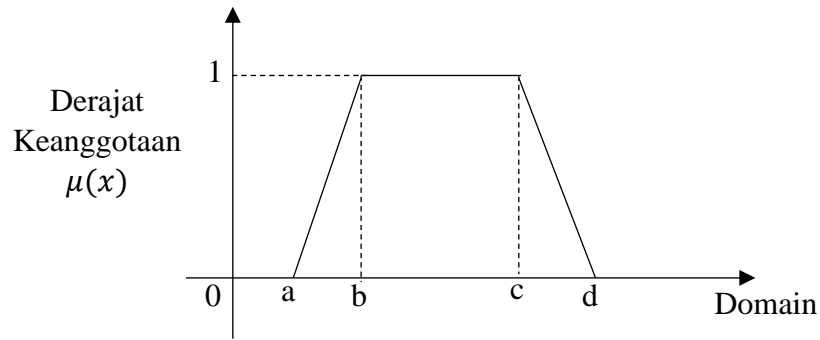
Gambar 2.6 Kurva representasi segitiga
(Kusumadewi & Hari, 2010)

Dari fungsi kurva segitiga dapat diketahui bahwa ketika nilai domain (x) $\leq a$ atau $\geq c$ maka nilai keanggotaan (μ) adalah 0. Jika nilai domain (x) diantara a dan b maka nilai keanggotaanya adalah $\frac{(x-a)}{(b-a)}$. Jika nilai domain (x) diantara b dan c maka nilai keanggotaanya adalah $\frac{(b-x)}{(b-c)}$. Perhatikan penjabaran rumusnya pada persamaan 3.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ \frac{(b-x)}{(b-c)}; & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (3)$$

c. Representasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja pada rentang tertentu ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1.



Gambar 2.7 Kurva representasi trapezium
(Kusumadewi & Hari, 2010)

Dari fungsi trapezium dapat diketahui bahwa ketika nilai domain (x) $\leq a$ atau $\geq c$ maka nilai keanggotaan (μ) adalah 0. Jika nilai domain (x) diantara a dan b maka nilai keanggotaan (μ) adalah $\frac{(x-a)}{(b-a)}$. Jika nilai domain diantara b dan c maka nilai keanggotaan (μ) adalah 1. Dan jika nilai domain $x \geq d$ maka nilai keanggotaan (μ) adalah $\frac{(d-x)}{(d-c)}$. Perhatikan penjabaran rumusnya pada persamaan 4.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}; & x \geq d \end{cases} \quad (4)$$

2.5.3 Sumber Data

Data yang diperlukan pada implementasi kendali cerdas nutrisi hidroponik adalah data yang dapat dikategorikan yaitu data pH dan tds. Data tersebut diperoleh dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh sensor pH dan tds, yang kemudian akan ditampung ke dalam database.

2.5.4 Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi adalah proses mengubah data numerik menjadi himpunan-himpunan *fuzzy* (linguistik) dengan fungsi keanggotaan, yang memungkinkan komunikasi dalam bahasa manusia dan digunakan dalam sistem logika *fuzzy* untuk pengambilan keputusan.

2.5.5 Fuzzy Inference System

Inferensi fuzzy atau sistem inferensi *fuzzy* (FIS) adalah bagian penting dari logika *fuzzy*. FIS bertanggung jawab untuk menerjemahkan nilai *vektor input* dan menyediakan *vektor output* dengan nilai yang sesuai berdasarkan aturan himpunan *fuzzy* yang ditentukan.

Pada tahap ini dilakukan suatu penalaran yang menghubungkan inputan *fuzzy* dengan aturan *fuzzy*. Input ini kemudian dikirim ke basis pengetahuan yang berisi n aturan *fuzzy* dalam bentuk *IF-THEN*. Fire strength akan dicari pada setiap aturan. Apabila jumlah aturan lebih dari satu, maka akan dilakukan agregasi dari semua aturan. Selanjutnya, pada hasil agregasi akan dilakukan *defuzzy* untuk mendapatkan nilai *crisp* sebagai *output* sistem (Masykur, Gernowo, & Suhartono, 2012).

2.5.6 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah langkah dalam sistem logika *fuzzy* tipe *Mamdani* yang merubah hasil keluaran dalam bentuk *fuzzy*, yang berasal dari aturan-aturan yang diterapkan, menjadi sebuah nilai numerik yang memiliki makna dalam konteks aplikasi. Langkah ini berfungsi untuk mengambil keputusan berdasarkan hasil inferensi *fuzzy* dan mengubahnya menjadi nilai yang dapat diterapkan dalam situasi nyata.

Metode *defuzzifikasi* yang umum digunakan dalam sistem Mamdani adalah metode *Centroid* atau *Mean of Maximum* (MOM). Dalam metode ini, nilai *defuzzifikasi* adalah titik tengah dari area tumpang tindih himpunan *fuzzy*. Ini menghasilkan nilai *output* yang merepresentasikan "rata-rata dari nilai maksimum" dari kontribusi himpunan *fuzzy* yang berbeda.

Defuzzifikasi pada sistem *Mamdani* memiliki peranan penting karena menerjemahkan hasil dari berbagai aturan *fuzzy* menjadi nilai konkret yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan atau tindakan di dunia nyata.

2.6 Arduino Mega

Arduino Mega adalah salah satu papan pengembangan *mikrokontroler* yang populer dan serbaguna dari keluarga Arduino. Papan ini dikembangkan oleh

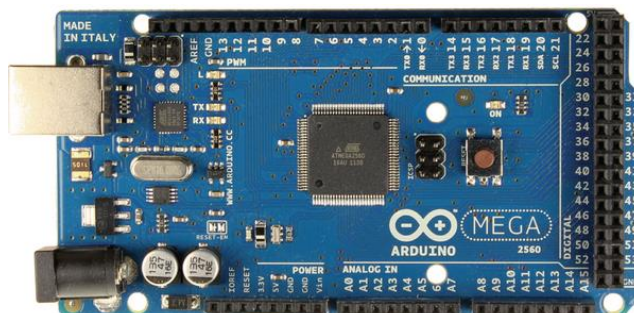
Arduino.cc dan merupakan salah satu varian dari keluarga Arduino berbasis *mikrokontroler* ATmega2560.

Papan Arduino Mega 2560 menggunakan *mikrokontroler* ATmega2560 sebagai otak utamanya. *Mikrokontroler* ini memiliki kecepatan *clock* 16 MHz dan memiliki 256 KB *memori flash* untuk menyimpan program dan data. Selain itu, Arduino Mega 2560 juga memiliki 8 KB RAM dan 4 KB EEPROM untuk menyimpan data sementara dan data yang disimpan dalam jangka panjang.

Salah satu kelebihan utama dari papan ini adalah jumlah pin *I/O* yang sangat banyak. Papan ini memiliki 54 pin digital *I/O*, diantaranya 14 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM (*Pulse Width Modulation*) yang berguna untuk mengendalikan intensitas sinyal atau daya. Selain itu, ada 16 pin *analog input* yang memungkinkan Arduino Mega 2560 untuk membaca nilai *analog* seperti sensor atau potensiometer.

Selain itu, Arduino Mega 2560 juga dilengkapi dengan berbagai jenis koneksi dan antarmuka, termasuk 4 *port serial* UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) untuk komunikasi serial dengan perangkat lain, 1 *port* I2C (*Inter-Integrated Circuit*) untuk komunikasi antar perangkat, dan 1 *port* SPI (*Serial Peripheral Interface*) untuk komunikasi dengan sensor atau perangkat lain yang menggunakan protokol SPI.

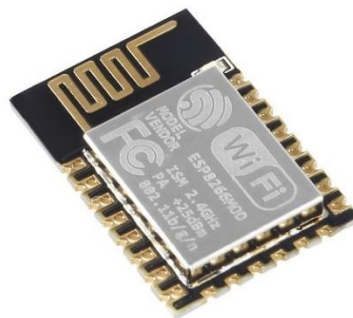
Arduino Mega 2560 juga mendukung berbagai macam bahasa pemrograman, termasuk Bahasa C/C++ yang digunakan dalam Arduino IDE (*Integrated Development Environment*). Pengguna dapat mengatur dan memprogram Arduino Mega 2560 melalui kabel *serial*, dan membuat program ke dalam mikrokontroler dengan mudah menggunakan Arduino IDE.



Gambar 2.8 Mikrokontroler Arduino Mega 2560 (Hendriyono, 2021)

2.7 Modul WiFi ESP8266

Modul *WiFi* ESP8266 adalah sebuah perangkat elektronik yang berfungsi sebagai modul *WiFi* dengan *chip* ESP8266 yang terintegrasi di dalamnya. Modul ini memungkinkan perangkat elektronik lainnya untuk terhubung dengan jaringan *WiFi* dan berkomunikasi secara *nirkabel*. ESP8266 adalah sebuah sistem *silikon-on-chip* (SoC) yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, dan menjadi salah satu modul *WiFi* yang paling populer dalam dunia *Internet of Things*. Modul ini memiliki banyak fitur yang berguna antara lain, kemampuan untuk berkomunikasi melalui protokol *WiFi*, sehingga dapat berfungsi sebagai perangkat pemancar data. Selain itu, modul ini juga dapat menjadi titik akses *WiFi*, yang memungkinkan perangkat lain untuk terhubung dan berinteraksi dengannya. Modul ini dapat diatur dan dikonfigurasi melalui perangkat mikrokontroler dengan menggunakan perintah *AT Commands*.

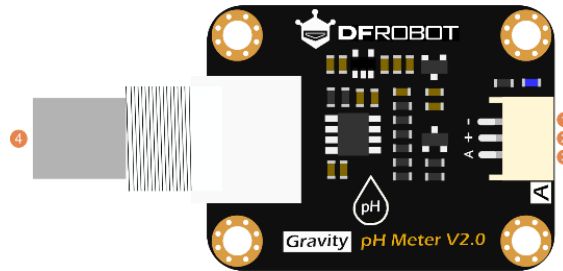


Gambar 2.9 Modul WiFi ESP8266 (Electron, 2021)

2.8 Sensor PH

PH meter adalah alat untuk mengukur tingkat asam dan basa suatu larutan atau zat. pH normal memiliki nilai 7 sementara bila nilai $\text{pH} > 7$ menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa sedangkan nilai $\text{pH} < 7$ menunjukkan sifat keasaman. pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaan tertinggi (Suliyanti, 2016).

Sensor pH yang digunakan adalah *Analog pH meter kit* (SKU: SEN0161-V2) pabrikan dfrobot. Sensor pH dirancang khusus untuk mikrokontroler Arduino dan memiliki *built-in* yang sederhana, muda dan praktis dalam koneksi dan fitur. Sensor ini dilengkapi dengan LED indikator power, BNC konektor, dan pH probe.

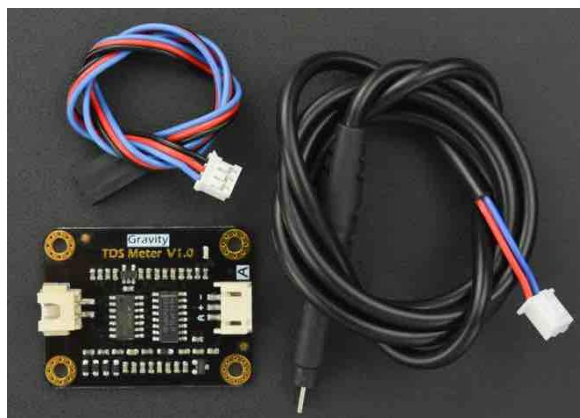


Gambar 2.10 Sensor pH meter (DFRobot, 2021)

2.9. Sensor TDS Analog

Sensor TDS (*Total Dissolved Solid*) merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur nilai partikel terlarut dalam air. Satuan TDS umumnya dinyatakan dengan satuan ppm (*part per million*) atau mg/L. Sensor ini mendukung tegangan input 3.3V - 5.5V dan tegangan *output* analog 0 -2.3V, tegangan sensor ini kompatibel dengan Arduino atau sistem yang memiliki tegangan 5V atau 3.3V. Secara umum, nilai TDS selalu berubah, semakin tinggi nilai yang ditunjukkan maka semakin banyak padatan terlarut di dalam air dan semakin bersih air tersebut. Oleh karena itu, nilai TDS dapat dijadikan pedoman untuk menunjukkan kemurnian air tersebut.

Dalam hidroponik, sensor TDS ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan penambahan unsur hara yang sesuai dengan kebutuhan tanaman agar berada pada syarat optimal.



Gambar 2.11 Sensor TDS (DFRobot, 2021)

2.10 Relay

Relay adalah sebuah saklar yang dikendalikan oleh arus. Relay memiliki sebuah kumparan tegangan rendah yang dililitkan pada sebuah inti. Terdapat sebuah *armatur* besi yang akan tertarik menuju inti apabila arus mengalir melewati kumparan. *Armatur* ini terpasang pada sebuah tuas berpegas. Ketika armatur tertarik menuju ini, kontak jalur bersama akan berubah posisinya dari kontak normal-tertutup ke kontak normal-terbuka (Turang, 2015). Dalam penelitian ini, penulis menggunakan relay sebagai saklar otomatis untuk mengaktifkan dan menonaktifkan pompa nutrisi. Penampilan relay dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Relay 4 channel (Interstacks, 2021)

2.12 Submersible Pump

Pompa *submersible* (pompa benam) adalah pompa yang dioperasikan dalam air dan akan mengalami kerusakan jika dioperasikan dalam keadaan tidak terdapat air terus-menerus. Jenis pompa ini mempunyai tinggi minimal air yang dapat dipompa dan harus dipenuhi ketika bekerja agar *life-time* pompa tersebut lama. Pompa *submersible* dibuat atas dasar pompa *sentrifugal* bertingkat banyak dimana keseluruhan dari pompa dan motornya harus ditenggelamkan ke dalam cairan (Fatori, Faizah, & Arisandi, 2017). Berikut adalah pompa jenis *submersible* yang penulis gunakan terlihat pada gambar 2.13 dan gambar 2.14 dibawah.



Gambar 2.13 Pompa Air 5v



Gambar 2.14 Pompa Aquarium / Hidroponik

2.13 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Agar dapat menampilkan informasi yang dihasilkan oleh sistem, dibutuhkan suatu perangkat elektronik yang mampu menampilkan informasi baik itu teks maupun angka. LCD 20x4 adalah salah satu jenis penampil (*display*) elektronik yang dapat digunakan untuk menampilkan huruf maupun angka. LCD 20x4 memiliki kapabilitas untuk menampilkan 20 karakter dalam 4 baris, sehingga mampu menampilkan informasi yang lebih banyak dibandingkan LCD 16x2 yang hanya memiliki 16 karakter dalam 2 baris.

LCD 20x4 biasanya dikendalikan melalui *mikrokontroller* melalui berbagai protokol komunikasi seperti I2C atau UART. Mikrokontroller dapat mengirimkan perintah dan data ke LCD untuk menampilkan teks, mengatur tampilan, mengubah kontras, dan lain sebagainya.

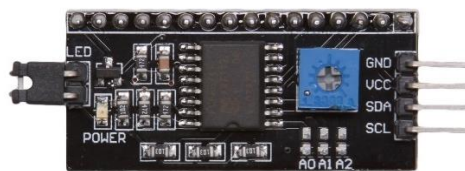


Gambar 2.15 LCD (Robostore, 2022)

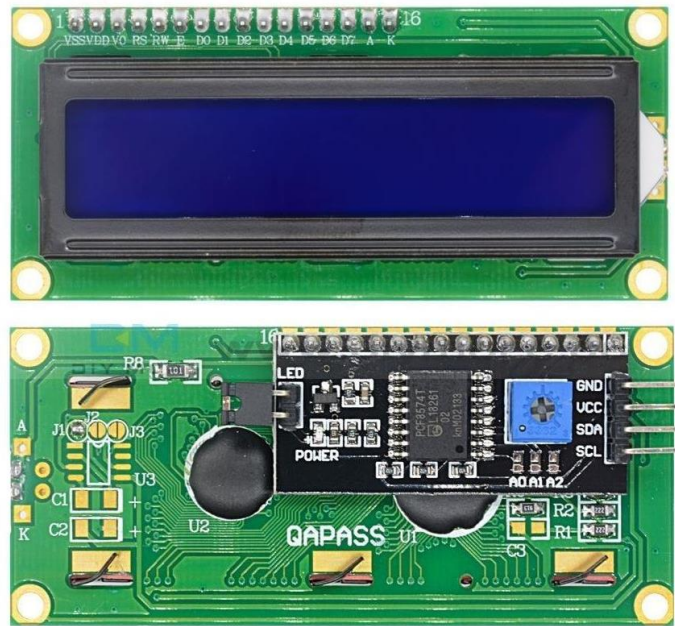
2.14 I2C LCD

Modul I2C LCD adalah sebuah perangkat elektronik yang digunakan sebagai penhubung antara *mikrokontroller* dengan layar LCD menggunakan protokol komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*). I2C adalah jenis protokol komunikasi yang memungkinkan perangkat lunak berkomunikasi satu sama lain dengan menggunakan hanya dua jalur kabel, yaitu kabel data (SDA) dan kabel *clock* (SCL).

Modul I2C LCD berfungsi sebagai jembatan antara *mikrokontroller* dengan layar LCD. Dengan menggunakan modul ini, proses menghubungkan layar LCD dapat dengan mudah dilakukan, tanpa perlu ribet menghubungkan banyak kabel, sehingga menghemat ruang dan memudahkan dalam pengaturan koneksi. Tampilan modul I2C dapat dilihat pada gambar 2.16, dan gambar ketika modul I2C dihubungkan dengan LCD.



Gambar 2.16 Modul I2C LCD (Iman, 2022)



Gambar 2.17 Tampilan LCD dengan Modul I2C (Mike, 2022)

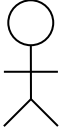
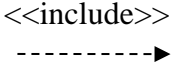
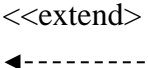


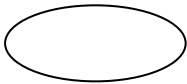
2.15 UML Diagram

UML (*Undefined Modeling Language*) adalah bahasa spesifikasi standar yang dipergunakan untuk mendokumentasikan, menspesifikasikan dan membangun perangkat lunak. UML merupakan metodologi dalam mengembangkan sistem berorientasi objek dan juga merupakan alat untuk mendukung pengembangan sistem (Windu & Grace, 2013). UML menyediakan beberapa macam diagram untuk digunakan dalam pemodelan aplikasi perangkat lunak berorientasi objek, yaitu:

2.15.1 Use Case Diagram

Use Case Diagram adalah aktivitas yang dilakukan oleh sistem berupa respon terhadap permintaan pengguna serta hubungan antar aktor-aktor pengguna tersebut didalam sistem (Satzinger, Jackson, & Burd, 2012).

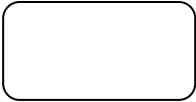
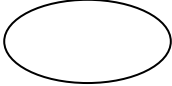


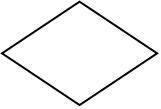

Tabel 2.2 Use Case Diagram

No	Bentuk	Keterangan
1		Aktor Mendefinisikan peran yang pengguna mainkan ketika berinteraksi dengan <i>use case</i> .
2		Include Menyatakan bahwa <i>use case</i> sumber secara eksplisit.
3		Extend Menyatakan bahwa <i>use case</i> target memperluas perilaku dari <i>use case</i> sumber pada suatu titik yang diberikan.
4		Association Menghubungkan antar objek satu dengan objek lainnya.
5		System Menyatakan paket yang menampilkan sistem secara terbatas.
6		Use Case Deskripsi dari urutan aksi-aksi yang ditampilkan sistem yang menghasilkan suatu sistem yang terukur bagi suatu aktor.

2.15.2 Activity Diagram

Activity Diagram merupakan sebuah tipe dari diagram *workflow* yang menggambarkan tentang aktivitas dari pengguna ketika melakukan setiap kegiatan dan aliran sekuensial (Satzinger, Jackson, & Burd, 2012).

Tabel 2.3 Activity Diagram

No	Bentuk	Keterangan
1		Activity Menyatakan bagaimana masing-masing kelas antarmuka saling berinteraksi satu sama lain.
2		Activity <i>State</i> dari sistem yang mencerminkan eksekusi dari suatu aksi.
3		Initial Node Menyatakan bagaimana objek dibuat atau diawali
4		Activity Final Menyatakan bagaimana objek diakhiri
5		Decision Menyatakan suatu pengambilan keputusan / tindakan yang harus diambil pada kondisi tertentu.
6		Line Connector Digunakan untuk menghubungkan satu symbol dengan lainnya.

2.16 PHP dan MySQL

2.16.1 Personal Home Page (PHP)

PHP adalah salah satu Bahasa pemrograman yang digunakan untuk pembuatan dan pengembangan sebuah *website*. Bahasa PHP digunakan untuk Bahasa *server-side-scripting* yang artinya sintak dan perintah PHP akan dieksekusi

deserver kemudian hasilnya dikirimkan ke *browser* dengan format HTML (Arief, 2011).

2.16.2 MySQL

MySQL adalah sebuah perangkat lunak DBMS (*database management system*) yang populer dan sering digunakan. DBMS adalah perangkat lunak yang memungkinkan pengguna untuk mengatur, menyimpan dan mengelola data dalam basis data. MySQL menggunakan perintah dasar SQL (*Structured Query Language*) yang bersifat *open source*.

2.17 Framework Laravel

Laravel adalah sebuah *framework* untuk pengembangan *website* berbasis MVC (*model view controller*) yang ditulis dalam bahasan pemrograman PHP, dirancang untuk meningkatkan kualitas perangkat lunak dan meningkatkan pengalaman bekerja dengan aplikasi. Laravel berusaha mencoba menjadi *framework* yang mudah digunakan dengan mengurangi tugas-tugas umum yang sering digunakan sebagai besar proyek *website* (Rohman, 2014).

2.18 HTML, CSS, JavaScript

HTML, *CSS* dan *JavaScript* adalah tiga teknologi inti dalam pengembangan *web* yang sering digunakan bersama-sama untuk membuat dan mendesain halaman *web* interaktif dan menarik.

2.18.1 HTML (*Hypertext Markup Language*)

HTML adalah bahasa markup yang digunakan untuk membuat struktur dan konten halaman *web*. Dengan menggunakan elemen-elemen seperti tag, atribut, dan nilai, HTML memungkinkan kita untuk menentukan bagaimana konten halaman *web* akan ditampilkan, seperti judul, paragraf, gambar, tautan, tabel, dan lain-lain. HTML bertindak sebagai kerangka dari setiap halaman *web* dan memberikan kerangka dasar bagi konten yang akan ditampilkan.

2.18.2 CSS (*Cascading Style Sheets*)

CSS adalah bahasa yang digunakan untuk mengatur tampilan dan tata letak halaman *web* yang telah dibuat menggunakan HTML. Dengan CSS, kita dapat mengontrol warna, *font*, ukuran, jarak, dan tata letak elemen-elemen HTML. Hal ini memungkinkan kita untuk membuat desain yang menarik dan konsisten di seluruh halaman *web* tanpa perlu mengubah struktur HTML. CSS bekerja secara terpisah dari HTML dan memungkinkan pemisahan antara konten dan tampilan.

2.18.3 JavaScript

JavaScript adalah bahasa pemrograman yang berfungsi untuk memberikan interaktivitas dan fungsionalitas dinamis pada halaman *web*. Dengan menggunakan *JavaScript*, kita dapat membuat efek-efek *animasi*, *validasi* formulir, mengubah konten halaman secara dinamis, berinteraksi dengan pengguna melalui tombol *klik* atau *input*, dan bahkan melakukan komunikasi dengan *server* untuk memuat data secara dinamis tanpa perlu *me-refresh* halaman secara keseluruhan. *JavaScript* merupakan bahasa pemrograman *client-side*, artinya kode *JavaScript* dieksekusi oleh *browser* di sisi klien (pengguna) dan tidak memerlukan pengiriman data ke *server*.

2.19 Human Computer Interface (HCI)

HCI atau interaksi manusia komputer adalah bidang multi disiplin penting dalam merancang produk interaktif. Berbagai bidang keahlian saling membutuhkan untuk mengembangkan produk interaktif yang bermanfaat, diantara bidang keahlian yang dibutuhkan adalah bidang psikologi, ergonomi, sains, kognitif, ilmu komputer, teknologi informasi, sosiologi, bisnis, desain grafis, penulisan teknis dan sebagainya (Dalle, Mutalib, Shaari, & Salam, 2019).

2.20 Black Box Testing

Metode *black box testing* adalah pengujian sistem yang berfokus pada spesifikasi fungsional dari *system*. *Black box testing* menemukan beberapa hal seperti fungsi yang tidak benar atau tidak ada, kesalahan antarmuka (*interface*

error), kesalahan pada struktur data dan akses basis data, kesalahan performasi (*performance error*) dan kesalahan inisialisasi dan terminasi (Achmad & Yulfitri, 2020). Metode pengujian ini digunakan untuk mengetahui apakah perangkat lunak berfungsi dengan benar.