

SKRIPSI

**ANALISIS DAN IMPLEMENTASI KALMAN FILTER DAN
LOGIKA FUZZY PADA SISTEM MONITORING KONDISI
LINGKUNGAN KANDANG AYAM PETELUR BERBASIS
INTERNET OF THINGS**

Disusun dan diajukan oleh:

A. MUH. IRSYAD BASO

D121171325



DEPARTEMEN TEKNIK INFORMATIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS DAN IMPLEMENTASI KALMAN FILTER DAN LOGIKA FUZZY PADA SISTEM MONITORING KONDISI LINGKUNGAN KANDANG AYAM PETELUR BERBASIS INTERNET OF THINGS

Disusun dan diajukan oleh

A. MUH. IRSYAD BASO

D121171325

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 23 September 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Zulkifli Tahir, S.T., M.Sc.
Nip. 19840403 201012 1 004

Pembimbing Pendamping,



Ir. Christoforus Yohannes, M.T.
Nip. 19600716 198702 1 002

Ketua Program Studi,



Dr. Indrabayu, S.T., M.T., M.Bus.Sys.
Nip. 19750716 200212 1 004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : A. Muh. Irsyad Baso

NIM : D121171325

Departemen : Teknik Informatika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini karya tulisan saya berjudul:

ANALISIS DAN IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY DAN KALMAN FILTER
PADA SISTEM MONITORING KONDISI LINGKUNGAN KANDANG
AYAM PETELUR BERBASIS INTERNET OF THINGS

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Makassar, 27 September 2022

Yang menyatakan,



A. Muh. Irsyad Baso

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul “ANALISIS DAN IMPLEMENTASI KALMAN FILTER DAN LOGIKA FUZZY PADA SISTEM MONITORING KANDANG AYAM BERBASIS INTERNET OF THINGS” dapat diselesaikan dengan baik sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan jenjang Strata-1 pada Departemen Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir. Oleh sebab itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak A. Baso Mattalunru dan Alm. Ibu Ruslinda yang tidak pernah lelah dalam mendidik dan memberikan dukungan, doa, serta semangat kepada penulis.
2. Bapak Dr. Eng. Zulkifli Tahir, S.T., M.Sc., selaku pembimbing utama dan Bapak Ir. Christoforus Yohannes, M.T., selaku pembimbing pendamping yang selalu menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan perhatian yang luar biasa dalam mengarahkan penulis menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT., selaku Ketua Departemen Teknik Informatika atas segala bimbingan dan dukungan selama masa perkuliahan.

4. Segenap Dosen dan Staf Departemen Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu semasa perkuliahan dan dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Teman-teman RECOGNIZER dan S.M.G atas dukungan, bantuan, semangat, serta pengalamannya yang diberikan selama ini.
6. Para sahabat serta seluruh pihak yang tidak sempat disebutkan dan tanpa sadar telah menjadi inspirasi serta banyak membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karenanya diharapkan segala bentuk saran serta masukan yang membangun dari berbagai pihak. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan sumbangsih dan manfaat besar bagi kepentingan bersama.

Gowa, 18 April 2022

Penulis

ABSTRAK

Dalam budidaya ayam petelur terdapat berbagai hal yang perlu diperhatikan dalam mencapai efektivitas produksi yang diinginkan. Salah satu hal yang paling menyulitkan peternak lokal, dalam hal ini adalah kondisi cuaca dan iklim di Indonesia terkhusus di Sulawesi Selatan terbilang cukup sulit untuk diprediksi. Hal ini membuat para peternak kesulitan dalam melakukan pemantauan kondisi kandang secara langsung. Dengan memanfaatkan sebuah sistem monitoring kondisi lingkungan di dalam suatu kandang ayam petelur pada fase *starter* dengan menerapkan konsep *internet of things* yang mana akan mampu melaporkan kondisi terkini di dalam kandang dengan tingkat akurasi yang tinggi dan sekaligus mampu mengambil tindakan penanganan secara dini yang divisualisasikan melalui sebuah website yang dapat diakses menggunakan berbagai jenis perangkat, kapan saja dan dimana saja. Dengan penerapan kalman filter yang menghasilkan prediksi dari pembacaan data yang didapatkan oleh sensor untuk mengurangi efek dari hadirnya data *outlier*. Hal ini akan dapat menunjang kinerja sistem dalam proses pengambilan keputusan yang mana akan memanfaatkan penerapan algoritma logika *fuzzy*. Konsep kerja logika *fuzzy* dalam mengambil sebuah kesimpulan sangat relevan untuk digunakan pada kasus perancangan suatu sistem monitoring. Penelitian ini menggunakan sensor DHT11 untuk membaca tingkatan suhu dan kelembaban dan sensor MQ-137 untuk membaca kadar gas amonia. Penelitian ini berfokus pada analisis kinerja dari penerapan *kalman filter* dan logika *fuzzy* pada sistem monitoring kandang ayam pada fase starter yang dibuat. Dari pengujian yang dilakukan, dengan membandingkan hasil pembacaan dari sensor DHT11 dan HTC-1 didapatkan persentase kesalahan sebesar 9.55% untuk pembacaan suhu dan 4.24% untuk pembacaan tingkat kelembaban udara. Kemudian didapati bahwasanya sensor MQ-137 mampu membaca kehadiran gas amonia di udara. Sedangkan untuk keluaran dari logika *fuzzy* pada sistem diperoleh persentase kesalahan sebesar 2.44% untuk keluaran lampu, 8.22% untuk keluaran kipas sebesar, dan untuk keluaran *fogger* sebesar 0.71%.

Kata kunci: Ayam, Kandang, Kalman Filter, Fuzzy Logic, DHT11, MQ-137

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Ayam Petelur	6
2.2 Ayam Petelur Fase Starter	6
2.3 Manajemen Kandang Ayam Petelur Fase Starter.....	6
2.4 Sensor Suhu Dan Kelembaban DHT11	8
2.5 Sensor Gas MQ-137	9
2.6 RobotDyn AC Light Dimmer.....	9
2.7 Relay.....	10
2.8 NodeMCU ESP8266	11
2.9 MQTT.....	13
2.10 Website	15
2.11 React JS	16
2.12 Logika Fuzzy	17
2.13 Himpunan Fuzzy	21
2.14 Sistem Inferensi Logika Fuzzy	24
2.15 Logika Fuzzy Metode Mamdani	25
2.16 Kalman Filter.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Tahapan Penelitian	31

3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	32
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	33
3.4	Persiapan Penelitian.....	34
3.5	Perancangan Sistem.....	34
3.6	Pengambilan Data.....	66
3.7	Analisis Kinerja Sistem Secara Keseluruhan	68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		69
4.1	Hasil Rancang Bangun Prototipe.....	69
4.2	Pengujian Sistem	71
4.3	Pembahasan	85
BAB V PENUTUP		89
5.1	Kesimpulan.....	89
5.2	Saran	91
DAFTAR PUSTAKA		92
LAMPIRAN.....		94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sensor DHT11	8
Gambar 2.2 Sensor MQ135	9
Gambar 2.3 RoboDyn Ac Light Dimmer	10
Gambar 2.4 Module relay 2 Channel	11
Gambar 2.5 GPIO NodeMCU ESp8266.....	12
Gambar 2.6 Komunikasi antara user dengan Server melalui SPA	16
Gambar 2.7 Representasi Linier Naik.....	19
Gambar 2.8 Representasi Linier turun	19
Gambar 2.9 Representasi Kurva Segitiga	20
Gambar 2.10 Representasi Kurva Trapesium	21
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian.....	31
Gambar 3. 1 Alur Umum Sistem	37
Gambar 3.3 Desain prototipe kandang.....	38
Gambar 3.4 Desain prototipe kandang tampak atas.....	38
Gambar 3.5 use case sistem	39
Gambar 3.6 Alur Komunikasi Sistem.....	40
Gambar 3.7 ER Diagram Database Sistem	40
Gambar 3.8 Desain Skematik Sensor Node.....	41
Gambar 3.9 Pseudocode Sensor Node	42
Gambar 3.10 Desain Skematik actuator node.....	43
Gambar 3.11 pseudocode actuator node	44
Gambar 3.11 Blok diagram cara kerja alat	51
Gambar 3.12 flowchart sistem monitoring kandang ayam	52
Gambar 3.13 flowchart program sensor node.....	53
Gambar 3.14 Flowchart program pada actuator node.....	55
Gambar 3.15 Derajat keanggotaan suhu	56
Gambar 3.16 Derajat keanggotaan kelembaban	57
Gambar 3.17 Derajat keanggotaan gas amonia.....	58
Gambar 3.18 Derajat keanggotaan lampu.....	58
Gambar 3.19 Derajat keanggotaan kipas	59
Gambar 3.20 Derajat keanggotaan fogger	60
Gambar 3.21 Register page.....	63
Gambar 3.22 Login page	64

Gambar 3.23 Dashboard page.....	65
Gambar 3.24 Profile Page.....	66
Gambar 4. 1 Perangkat sensor node.....	69
Gambar 4. 2 Perangkat actuator node.....	70
Gambar 4. 4 Prototipe kandang ayam.....	70
Gambar 4.5 Grafik perbandingan pembacaan nilai suhu dengan nilai Q dan R yang berbeda	72
Gambar 4.6 Grafik perbandingan pembacaan nilai kelembaban dengan nilai Q dan R yang berbeda.....	73
Gambar 4.7 Grafik perbandingan hasil pembacaan suhu	74
Gambar 4.8 Grafik perbandingan hasil pembacaan kelembaban.....	75
Gambar 4.9 Grafik perbandingan hasil pembacaan nilai kadar gas amonia dengan nilai Q dan R yang berbeda	76
Gambar 4.10 Grafik hasil pembacaan kualitas udara menggunakan MQ-137	78
Gambar 4.11 Grafik hasil pembacaan kualitas udara dengan perlakuan khusus	78
Gambar 4.12 Tampilan Aplikasi Fuzzy Logic Designer	80
Gambar 4.12 Tampilan hasil Simulasi Aplikasi Fuzzy Logic yang dibangun.....	81
Gambar 4.14 Perbandingan data keluaran lampu	82
Gambar 4.15 Perbandingan data keluaran kipas.....	82
Gambar 4.16 Perbandingan data keluaran fogger.....	83
Gambar 4.15 database berhasil menyimpan data dari sensor node dan actuator node	84
Gambar 4.17 tampilan data pada halaman dashboard.....	85
Gambar 4.18 perbandingan nilai persentase kesalahan hasil seluruh keluaran	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kondisi suhu dan kelembaban yang ideal pada fase starter.....	7
Tabel 2.2 Kadar gas ideal dalam kandang pada fase starter	7
Tabel 3.1 Daftar rancangan tindakan untuk sistem yang dibangun	36
Tabel 3.2 Daftar komponen pada perangkat sensor node	44
Tabel 3.3 Wiring antar DHT11 dan Base board shield NodeMCU V3	45
Tabel 3.4 Wiring antar MQ-137 dan Base board shield NodeMCU V3	46
Tabel 3.5 Wiring antar LED dan Base board shield NodeMCU V3	46
Tabel 3.6 Daftar komponen pada perangkat actuator node	47
Tabel 3.7 Wiring antara Relay dengan Base board shield NodeMCU V3	48
Tabel 3.8 Wiring antara Fan dan rangkaian fogger dengan Relay.....	49
Tabel 3.9 Wiring antara Fan dan rangkaian fogger dengan Base board shield NodeMCU V3	49
Tabel 3.10 Wiring antara RoboDyn AC Light Dimmer dengan Base board shield NodeMCU V3	50
Tabel 3.11 Wiring antara Lampu dengan RoboDyn AC Light Dimmer	50
Tabel 3.12 daftar aturan yang akan digunakan	61
Tabel 3.13 Konfigurasi nilai variabel Q dan R	66
Tabel 4.1 Konfigurasi nilai variabel Q dan R	74
Tabel 4.2 Konfigurasi nilai variabel Q dan R	77
Tabel 4.3 Daftar inputan kondisi lingkungan yang digunakan	79
Tabel 4.4 Konfigurasi komunikasi antar perangkat pada sistem	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Budidaya ayam petelur telah menjadi salah satu bidang usaha yang digangrungi oleh masyarakat Sulawesi Selatan. Dibuktikan dengan jumlah ayam petelur yang tercatat oleh Badan Pusat Statistik Sulawesi Selatan pada tahun 2015 dimana diketahui terdapat sebanyak 89 juta ekor ayam petelur yang tersebar diseluruh Sulawesi Selatan.

Keberhasilan peternakan ayam ditentukan oleh tiga hal yaitu “breeding”, “feeding”, dan “management”. Program “management” disini adalah masalah yang berkaitan dengan tatalaksana kandang, perawatan, pemasaran dan lain-lain. Pengadaan kandang ayam dimaksudkan untuk menciptakan kenyamanan dan perlindungan bagi ternak, sehingga ternak dapat memanfaatkan pakan yang dikonsumsi secara efisien untuk pertumbuhan dan produksi, juga kemudahan dalam pemeliharaan, dan kelancaran proses produksi. Kondisi kandang yang baik memungkinkan untuk dapat mencapai efisiensi produksi ayam yang tinggi (Sulistyoningsih, 2005). Pemantauan yang dilakukan peternak diperlukan karena adanya keunikan sistem pengaturan suhu tubuh yang dimiliki oleh ayam petelur yang disebut dengan sistem *thermoregulatory* yang mana kondisi suhu tubuh ayam stabil berada pada suhu 40-41°C. Namun pada saat berumur 0-5 hari ayam masih belum mampu mengatur suhu tubuhnya sendiri. Ketika sudah berumur 2 minggu barulah ayam mampu secara optimal untuk mengatur suhu tubuhnya. Oleh karena itu dibutuhkan kondisi lingkungan kandang yang dapat menunjang proses

pertumbuhan ayam agar siklus pertumbuhan yang ideal tetap terjaga. Berdasarkan masalah tersebut maka kehadiran suatu sistem monitoring kandang akan sangat membantu peternak dalam melakukan pemeliharaan dan pengelolaan kandang.

Kemajuan teknologi sudah tidak bisa dihitung lagi. Semakin banyak perusahaan-perusahaan teknologi mengembangkan suatu sistem yang dapat membantu pekerjaan bahkan kegiatan manusia sehari-hari. Dalam teknologi elektronika dan komputer, salah satunya yaitu mikrokontroler. Kemajuan pada perangkat mikrokontroler juga dapat dirasakan karena adanya suatu sistem yang dimana kita dapat mengendalikan suatu sistem elektronika yang terhubung dengan mikrokontroler pastinya. Teknologi tersebut adalah teknologi yang berbasis *Internet Of Things* (IoT). IoT merupakan suatu sistem yang dapat berkomunikasi antara satu sama lain melalui jaringan internet. Teknologi ini memungkinkan kita dapat mengendalikan perangkat teknologi dimanapun dan kapanpun asalkan terhubung dengan koneksi internet (Masriwilaga et al, 2019).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yakni Aplikasi *Kalman Filter* Pada Pembacaan Sensor Suhu Untuk pemantauan Kondisi Ruang Laboratorium (Firmansyah, 2018). Dimana dalam penelitian ini kalman filter digunakan untuk mengatasi kemungkinan adanya data sisipan sehingga mampu membantu untuk mengoptimalkan hasil pembacaan sensor.

Logika fuzzy dianggap mampu untuk memetakan suatu input kedalam suatu output tanpa mengabaikan faktor – faktor yang ada. Logika fuzzy diyakini dapat sangat fleksibel dan memiliki toleransi terhadap data-data yang ada. Dengan berdasarkan logika fuzzy, akan dihasilkan suatu model dari suatu sistem yang

mampu memperkirakan jumlah produksi. Faktor – faktor yang mempengaruhi dalam menentukan jumlah produksi dengan logika fuzzy antara lain jumlah permintaan dan jumlah persediaan (Djunaidi et al, 2005). Oleh sebab itu, logika fuzzy sangat cocok untuk diterapkan pada sebuah sistem monitoring kondisi lingkungan kandang ayam, dimana terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam menjaga situasi kandang tetap nyaman bagi ternak.

Pada tugas akhir ini, penulis berfokus pada proses implementasi dari kalman filter dan logika fuzzy pada sistem monitoring kandang ayam secara *realtime*. Dimana penggunaan kalman filter akan diterapkan pada sensor untuk menghasilkan pembacaan data sensor yang lebih optimal. Data selanjutnya akan diolah menggunakan logika fuzzy untuk menentukan respon actuator yang bertujuan untuk tetap menjaga kondisi kandang tetap ideal untuk ternak. Yang mana nantinya keseluruhan dari data tersebut dapat diakses melalui sebuah *website*. Harapannya sistem ini dapat menjadi salah satu opsi yang dipertimbangkan dalam proses budidaya ayam petelur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana merancang sistem monitoring kondisi lingkungan di dalam kandang ayam petelur dengan menerapkan algoritma kalman filter dan logika fuzzy?
2. Bagaimana pengaruh penerapan algoritma kalman filter dan logika fuzzy pada tingkat kesalahan dari data-data yang dihasilkan oleh sistem?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sebuah sistem monitoring kondisi lingkungan di dalam kandang ayam petelur dengan menerapkan algoritma kalman filter dan logika fuzzy.
2. Untuk mengetahui pengaruh penerapan algoritma kalman filter dan logika fuzzy terhadap tingkat kesalahan dari data yang dihasilkan oleh sistem.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan manfaat yang didapatkan antara lain:

1. Bagi masyarakat, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi untuk menambah wawasan masyarakat dalam penerapan konsep teknologi IoT.
2. Bagi peternak ayam petelur, dapat diterapkan pada kandang ayam petelur secara langsung sehingga dapat membantu peternak ayam untuk meningkatkan efisiensi kerja selama melakukan pengawasan dan pemeliharaan terhadap kondisi kandang ayam petelur.
3. Bagi peneliti, Menambah wawasan mengenai logika fuzzy dan kalman filter serta pengimplementasiannya pada suatu sistem. Penelitian ini juga dapat menjadi referensi dalam peningkatan pemahaman dan kemampuan terkait topik penelitian ini.

1.5 Batasan Masalah

1. Uji coba dilakukan dengan model eksperimen simulasi model yang akan menghasilkan prototipe.
2. Kandang ayam yang dimaksud adalah kandang khusus untuk ayam petelur yang masih dalam fase *starter*.
3. Visualisasi sistem ditampilkan melalui *website*

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut adalah gambaran singkat mengenai isi tulisan secara keseluruhan:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan landasan teori yang menunjang setiap elemen percobaan yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem, implementasi algoritma, proses pengumpulan data, dan skenario pengujian kinerja sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil perancangan sistem dan pengolahan data hasil penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan uraian saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ayam Petelur

Ayam ras petelur adalah ayam betina dewasa yang dipelihara khusus untuk diambil telurnya. Asal mula ayam petelur adalah dari ayam hutan dan itik liar yang bertelur cukup banyak. Seleksi dilakukan oleh para pakar secara ketat, dengan tujuan pada hasil produksi telur yang banyak, ayam hutan tadi dapat diambil telur dan dagingnya maka arah seleksi spesifik pada hasil produksi telur yang banyak (Aziz, 2007).

2.2 Ayam Petelur Fase Starter

Fase starter merupakan fase pemeliharaan ayam dari umur 1 hari (DOC) sampai umur 6-8 minggu (Kartasudjana dan Suprijatna, 2010). Pemeliharaan fase starter perlu memperhatikan persiapan pemeliharaan, pemilihan anak ayam, perkandangan meliputi kandang, brooder, suhu dan kelembaban, kepadatan kandang, dan litter. Fase strarter merupakan fase penting untuk keberlanjutan pada fase-fase berikutnya, sebab penanganan yang salah pada fase ini akan berdampak pada fase grower dan layer.

2.3 Manajemen Kandang Ayam Petelur Fase Starter

Agar anak ayam tumbuh sehat, mereka harus disediakan ruangan yang luas untuk bermain, makan, dan minum. Anak ayam yang masih kecil tidak akan berjalan lebih dari 3 meter untuk mencari pakan dan air. Anak ayam membutuhkan tempat yang cukup di sekitar pakan sehingga semuanya bisa makan secara

bersamaan tanpa berdesakan. Ukuran kandang untuk anak ayam umur ini adalah satu m² untuk 10 ekor anak ayam. Sebagai alas kandang dapat digunakan kulit gabah setebal 10–15 cm. Kandang diberi lampu 60 Watt. Lampu ini akan memberikan panas yang cukup bagi anak ayam. Apabila lampu tidak cukup memberikan panas, maka anak ayam akan mendekati sumber panas dan apabila terlalu panas, anak ayam akan menjauhi sumber panas, sedang apabila lampu cukup memberikan panas, maka anak ayam akan tersebar merata di dalam kandang. Kandang yang baik bagi anak ayam adalah apabila suhu di sisi luar sebelah bawah kandang berkisar antara 30 sampai 32°C. Ventilasi kandang merupakan hal yang sangat penting dalam menentukan tinggi rendahnya suhu di dalam kandang. Beberapa ventilasi sebaiknya disediakan penutupnya (Pramudya et al., 2009).

Adapun beberapa poin penting yang perlu diperhatikan oleh para peternak terkait kondisi kandang bagi ayam pada fase starter adalah tingkat suhu, kelembaban dan kadar gas amonia di dalam kandang. Beberapa hal ini perlu dikontrol agar pertumbuhan ayam tetap berada pada kondisi yang ideal.

Tabel 2.1 Kondisi suhu dan kelembaban yang ideal pada fase starter

Umur (hari)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
1	36 – 35	30-50
7	32 - 30	40-60
14	29	40-60

Tabel 2.2 Kadar gas ideal dalam kandang pada fase starter

No.	Jenis Gas	Kondisi	Kadar Gas
1	O ₂	Lebih	20%

2	CO ₂	Kurang	0.3%
3	CO	Kurang	40 ppm
4	NH ₃	Kurang	20 ppm
5	H ₂ S	Kurang	5 ppm

2.4 Sensor Suhu Dan Kelembaban DHT11

Sensor DHT11 adalah module sensor yang berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban yang memiliki keluaran tegangan analog yang dapat diolah lebih lanjut menggunakan mikrokontroler. Modul sensor ini tergolong kedalam elemen resistif seperti perangkat pengukur suhu seperti *Negative Temperature Coefficient* (NTC).



Gambar 2.1 Sensor DHT11

Kelebihan dari modul sensor ini dibanding modul sensor lainnya yaitu dari segi kualitas pembacaan data yang lebih responsif yang memiliki kecepatan dalam hal pembacaan data suhu dan kelembaban, dan data yang terbaca tidak mudah terinterferensi.

2.5 Sensor Gas MQ-137

Sensor MQ 137 merupakan golongan sensor sensitif yang terbuat dari material gas tin oksida (SnO_2) dengan konduktivitas rendah jika berada di udara bersih dan konduktivitasnya meningkat bersamaan dengan kenaikan konsentrasi gas yang dideteksi.

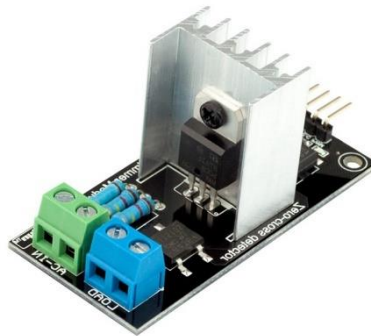


Gambar 2.2 Sensor MQ135

Cara kerja sensor MQ 137 adalah ketika gas amonia mengenai bahan semikonduktor sensor MQ 137 yang berupa SnO_2 maka elektron pada elektroda pertama akan berpindah menuju elektroda kedua. Semakin besar konsentrasi gas amonia yang mengenai bahan semi konduktor tersebut maka semakin banyak juga elektron yang berpindah dari elektroda pertama ke elektroda kedua dan semakin besar pula arus yang mengalir pada sensor, sensor ini bekerja dengan baik di suhu 20°C sampai 50°C .

2.6 RobotDyn AC Light Dimmer

RobotDyn AC Light Dimmer adalah rangkaian elektronik yang memodifikasi bentuk sinyal AC murni menjadi sinyal terpotong-potong sehingga daya keluaran bisa diatur. Pemotongan sinyal AC ini berguna sebagai peredup lampu, memperlambat motor, mengatur pemanasan dan lainnya.



Gambar 2.3 RoboDyn Ac Light Dimmer

2.7 Relay

Relay adalah komponen elektronika yang berupa saklar atau switch elektrik yang dioperasikan menggunakan listrik. Relay juga biasa disebut sebagai komponen electromechanical atau elektromekanikal yang terdiri dari dua bagian utama yaitu coil atau elektromagnet dan kontak saklar atau mekanikal. Komponen relay menggunakan prinsip elektromagnetik sebagai penggerak kontak saklar, sehingga dengan menggunakan arus listrik yang kecil atau low power, dapat menghantarkan arus listrik yang memiliki tegangan lebih tinggi. Berikut adalah gambar dan juga simbol dari komponen relay.

2.7.1. Model Relay 2 Channel Output

Relay 5V dengan 2 channel output. Dapat digunakan sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan perangkat listrik yang memerlukan tegangan dan arus yang besar. Kompatibel dengan hampir semua jenis mikrokontroler (khususnya Arduino, 8051, 8535, AVR, PIC, DSP, ARM, ARM, MSP430, TTL logic) maupun Raspberry Pi . Relay 2 Channel ini memerlukan arus sebesar sekurang-kurangnya 15-20mA untuk mengontrol masing-masing

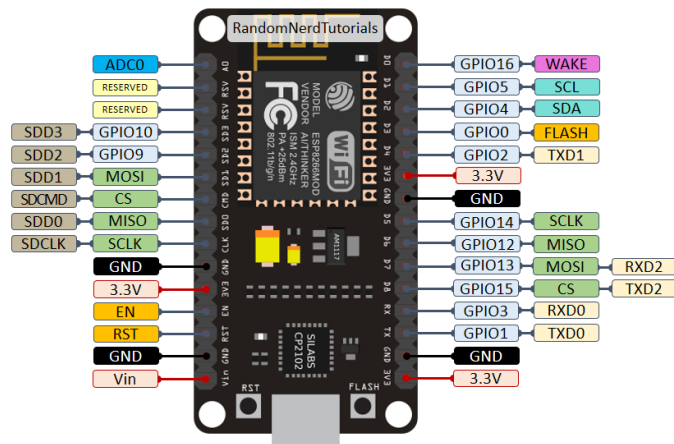
channel. Disertai dengan relay high current sehingga dapat menghubungkan perangkat dengan AC250V 10A.



Gambar 2.4 Module relay 2 Channel

2.8 NodeMCU ESP8266

NodeMCU merupakan sebuah open source platform IoT dan pengembangan kit yang menggunakan bahasa pemrograman Lua untuk membantu dalam membuat prototype produk IoT atau bisa dengan memakai sketch dengan adruino IDE. Pengembangan kit ini didasarkan pada modul ESP8266, yang mengintegrasikan GPIO, PWM (Pulse Width Modulation), IIC, 1-Wire dan ADC (Analog to Digital Converter) semua dalam satu board.



Gambar 2.5 GPIO NodeMCU ESsp8266

NodeMCU berukuran panjang 4.83cm, lebar 2.54cm, dan berat 7 gram.

Board ini sudah dilengkapi dengan fitur WiFi dan Firmwarena yang bersifat *open source*.

Spesifikasi yang dimiliki oleh NodeMCU sebagai berikut :

1. Board ini berbasis ESP8266 serial WiFi SoC (Single on Chip) dengan onboard USB to TTL. Wireless yang digunakan adalah IEEE 802.11b/g/n.
2. 2 tantalum capacitor 100 micro farad dan 10 micro farad.
3. 3.3v LDO regulator.
4. Blue led sebagai indikator.
5. Cp2102 usb to UART bridge.
6. Tombol reset, port usb, dan tombol flash.
7. Terdapat 9 GPIO yang di dalamnya ada 3 pin PWM, 1 x ADC Channel, dan pin RX TX
8. 3 pin ground.
9. S3 dan S2 sebagai pin GPIO

10. S1 MOSI (Master Output Slave Input) yaitu jalur data dari master dan masuk ke dalam slave, sc cmd/sc.
11. S0 MISO (Master Input Slave Input) yaitu jalur data keluar dari slave dan masuk ke dalam master.
12. SK yang merupakan SCLK dari master ke slave yang berfungsi sebagai clock.
13. Pin Vin sebagai masukan tegangan.
14. Built in 32-bit MCU.

2.9 MQTT

MQTT (*Message Queueing Telemetry Transport*) adalah sebuah protokol pengiriman pesan yang ringan yang terjadi di antara *machine-to-machine* dan protokol ini juga memiliki ruang lingkup *mobile network*. Prosedur pertukaran informasi yang terjadi pada protokol ini adalah berbasis sumber daya yang efisien dan juga tidak memerlukan format data yang spesifik untuk mengirimkan pesannya. Protokol ini menawarkan keamanan dan kepastian semua pesan akan terkirim meskipun koneksi terputus sementara. Hal ini menjadikan protokol tersebut sebagai solusi terhadap kondisi jaringan yang tidak stabil seperti jaringan yang digunakan pada perangkat *mobile*.

Selain digunakan pada perangkat sensor, *embedded system* pada kendaraan, atau laptop dan komputer skala besar. Protokol ini mendukung pola pengiriman pesan Publish-Subscribe dan protokol ini sangat ringan untuk digunakan dalam komunikasi data.

Di protokol ini terdapat QoS (*Quality of Services*) dalam pengiriman pesannya. QoS di MQTT ada 3 tingkatan yaitu tingkat 0 (*at most once*), tingkat 1 (*at least once*), dan tingkat 2 (*exactly once*). QoS tingkat 0 adalah QoS paling minimal di MQTT dan QoS ini akan menjamin usaha yang paling baik dalam pengiriman pesannya. Sebuah pesan yang dikirim dengan QoS ini tidak akan di *acknowledge* oleh penerima pesan dan pesan ini juga tidak akan disimpan ataupun dikirim kembali oleh pengirim pesa QoS tingkat 0 ini juga bisa disebut *fire and forget*. Untuk QoS tingkat 1 sebuah pesan akan dikirim oleh pengirimnya setidaknya satu kali dan pengirim akan menyimpan pesan dan akan mengirimkannya setelah menerima *acknowledge* dari penerima.

Untuk QoS 2 adalah tingkatan yang paling tinggi. QoS ini akan menjamin pesan tersebut pasti sampai ke penerima. QoS ini adalah yang paling aman dan yang paling lambat. Jaminan tersebut disediakan oleh dua aliran bolak balik dari pengirim dan penerima (MQTT essentials part 6: Quality of service 0, 1 & 2, 2016).

Pengiriman data pada MQTT didasari oleh topik, topik ini nantinya yang akan menentukan pesan dari publisher harus dikirim pada subscriber yang mana, topik ini dapat bersifat hirarki, MQTT topic memiliki tipe data string dan untuk perbedaan hirarki atau level dari topik digunakan tanda baca “/” (Solace, n.d.). MQTT memiliki 3 level quality of service (QoS) dalam pengiriman pesannya yaitu 0,1,2 (Lampkin, et al., 2012).

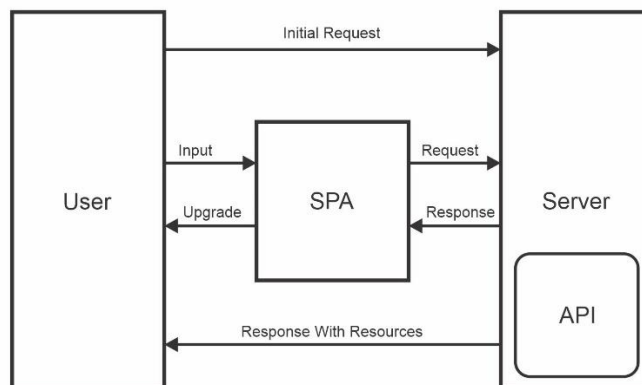
2.10 Website

Website adalah kumpulan dari beberapa halaman web dimana informasi dalam bentuk teks, gambar, suara, dan lain-lain dipersentasikan dalam bentuk hypertext dan dapat diakses oleh perangkat lunak yang disebut dengan browser. Informasi pada sebuah website pada umumnya di tulis dalam format HTML. Informasi lainnya disajikan dalam bentuk grafis (dalam format GIF, JPG, PNG, dll), suara (dalam format AU, WAV, dll), dan objek multimedia lainnya (seperti MIDI, Shockwave Quicktime Movie, 3D World, dll).

HTML yang akrab kita lihat penggunaanya selalu didampingi dengan penggunaan CSS (*Cascading Style Sheets*) untuk memberikan tampilan yang ramah dan nyaman untuk dilihat oleh pengguna. Dalam perkembangannya telah hadir sebuah konsep *Single Page Application* (SPA) atau disebut dengan aplikasi dengan menggunakan hanya satu halaman saja.

2.10.1. Single Page Application

Single Page Application (SPA) adalah aplikasi web yang direpresentasikan melalui satu halaman HTML saja dimana memberikan performa lebih responsif yang hampir menyerupai aplikasi desktop ataupun aplikasi native. SPA menerima seluruh kode aplikasi HTML, CSS, ataupun Javascript pada *initial load* ataupun menerima secara dinamis untuk memberikan respon kepada *user* tanpa mengharuskan halaman diperbaharui terlebih dahulu.



Gambar 2.6 Komunikasi antara user dengan Server melalui SPA

Dalam implementasinya, SPA didukung dengan API (Application Programming Interface) untuk berkomunikasi dengan server. Setiap request maupun response yang dikirim atau dari server akan dikelola oleh SPA untuk menciptakan interaksi yang cepat (tanpa reload) dan dinamis sehingga user yang menggunakan aplikasi tersebut akan terasa nyaman (baik dalam segi user experience). Untuk mengimplementasikan ini, setiap API akan ditangani oleh AJAX yang mengirim dan menerima data secara asynchronously sehingga tidak mengganggu tampilan untuk user.

2.11 React JS

React merupakan sebuah framework untuk pengembangan SPA. Yang mana framework ini dibuat oleh Meta (ex. Facebook Inc.) yang rilis pada tahun 2013 lalu. Framework ini menggunakan Virtual DOM yang dapat dimanipulasi dengan menggunakan javascript. Yang mana konsep ini mempermudah sekaligus menyederhanakan manipulasi objek pada *Document Object Model* (DOM). *Data bindings* pada react menggunakan diff algorithm yang dapat membuat aplikasi melakukan full re-render ketika ada sesuatu yang dirubah. Singkatnya ketika terjadi

sebuah perubahan pada Virtual DOM maka react akan melakukan perbandingan terhadap DOM pada setiap level dan melakukan re-render.

Pada react sendiri terdapat konsep pemahaman yang sering digunakan seperti class, state, props, context, ref, dan lainnya. Namun secara keseluruhan komponen menjadi bagian terpenting dari seluruh konsep yang sering digunakan di react. Hal ini dikarenakan aplikasi react sendiri tersusun dari berbagai komponen yang menjadi satu sehingga dapat digunakan. Konsep komponen ini membuat kode yang disusun menggunakan react bersifat re-usable atau setiap komponen yang dibuat dapat dipergunakan kembali apabila dibutuhkan.

2.12 Logika Fuzzy

Fuzzy secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar-samar. Suatu nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan. Dalam fuzzy dikenal derajat keanggotaan yang memiliki rentang dari 0 (nol) sampai 1 (satu). Berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai 1 atau 0 tetapi tidak kedua-duanya. Logika fuzzy merupakan suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran antara benar atau salah. Namun berapa besar kebenaran dan kesalahan tergantung pada derajat keanggotaan yang dimilikinya (Kusumadewi et al, 2010).

Kelebihan penggunaan Logika Fuzzy :

1. Konsep Logika fuzzy yang penerapannya sangat fleksibel.
2. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
3. Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi non-linear yang sangat kompleks.

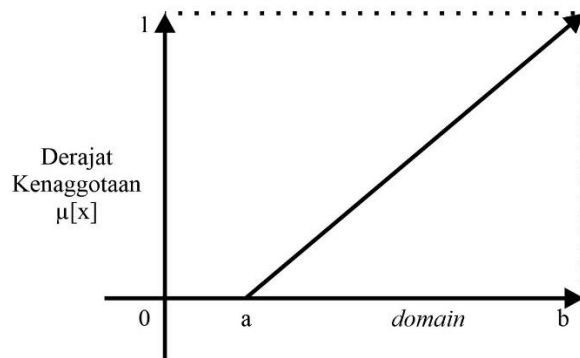
4. Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
5. Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
6. Logikafuzzy didasarkan pada bahasa alami.

2.12.1. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan (Sofwan, 2005).

a. Representasi Linier

Pada representasi linier pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Ada dua kenaikan himpunan fuzzy yang linier. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi.

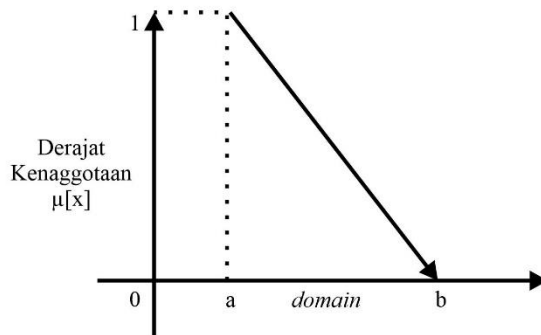


Gambar 2.7 Representasi Linier Naik

Fungsi Keanggotaan :

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

Kedua merupakan kebalikan yang pertama. 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.



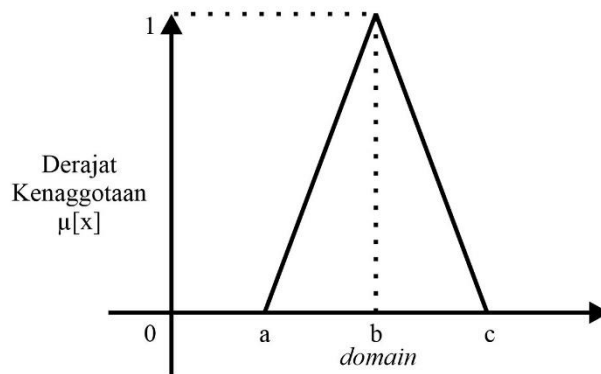
Gambar 2.8 Representasi Linier turun

Fungsi keanggotaan :

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

b. Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linier) seperti pada gambar n.n.



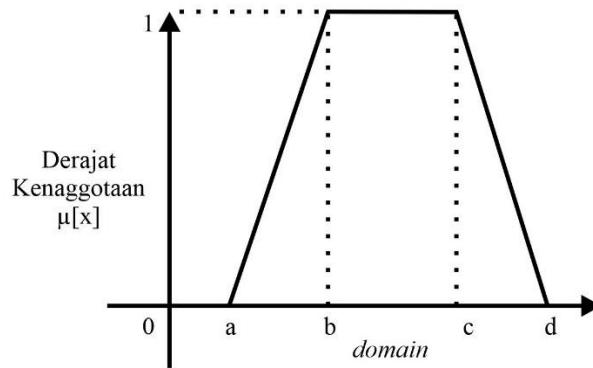
Gambar 2.9 Representasi Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan :

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

c. Representasi Kurva Trapesium

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



Gambar 2.10 Representasi Kurva Trapesium

Fungsi Kenaggotaan :

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

2.13 Himpunan Fuzzy

Pengelompokan sesuatu berdasarkan variabel lingustik, yang dinyatakan dalam fungsi keanggotaan disebut himpunan fuzzy. Ada dua cara untuk menotasikan himpunan fuzzy, antara lain :

1. Himpunan fuzzy dituliskan sebagai pasangan berurutan, dengan elemen pertama menunjukkan nama elemen dan elemen kedua menunjukkan keanggotaannya.

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}$$

Jika X adalah koleksi dari obyek-obyek yang dinotasikan secara generik oleh x , maka suatu himpunan fuzzy \tilde{A} , dalam X adalah suatu himpunan pasangan berurutan. Dengan $\mu_{\tilde{A}}(x)$ adalah derajat keanggotaan x di \tilde{A} yang memetakan X ke ruang keanggotaan M yang terletak pada rentang $[0, 1]$.

- Menurut Sri Kusumadewi (Neuro-Fuzzy Integrasi Sitem Fuzzy dan jaringan Syaraf Tiruan, 2006:15-17), Himpunan fuzzy dinotasikan sebagai:

$$\tilde{A} = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i}$$

Atau

$$\int_x \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x}$$

Keterangan:

\tilde{A} : Himpunan fuzzy

$\mu_{\tilde{A}}$: Derajat keanggotaan himpunan fuzzy.

Seperti pada himpunan klasik, himpunan fuzzy yang memiliki operasi himpunan yang sama yaitu kesamaan, *union* (gabungan), dan *intersection* (irisan), yaitu sebagai berikut:

a. Kesamaan

Misalkan E himpunan semesta, $\tilde{A} \subset E$ dan $\tilde{B} \subset E$. Dikatakan bahwa \tilde{A} terkandung dalam \tilde{B} , ditulis $\tilde{A} \subset \tilde{B}$ jika $\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x)$ untuk setiap $x \in E$.

Atau:

$\tilde{A} = \tilde{B}$ jika dan hanya jika $\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x)$ untuk setiap $x \in E$.

b. *Union* (gabungan)

Gabungan dari dua buah himpunan fuzzy A dan B adalah himpunan fuzzy C , ditulis sebagai $C = A \cup B$ atau $C = A \text{ or } B$, memiliki fungsi keanggotaan yang berhubungan dengan A dan B yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_C(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \cup \mu_B(x)$$
$$\mu_C(x) = S(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \tilde{\vee} \mu_B(x)$$

c. *Intersection* (irisan)

Irisan dari dua himpunan fuzzy A dan B adalah himpunan fuzzy C dituliskan $C = A \cap B$ atau $C = A \text{ and } B$, memiliki fungsi keanggotaan yang bergubungan dengan A dan B yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_C(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \cap \mu_B(x)$$
$$\mu_C(x) = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \tilde{*} \mu_B(x)$$

Dengan $\tilde{*}$ sebagai operator bineri untuk fungsi T , yang biasa disebut sebagai operator T-norm.

2.14 Sistem Inferensi Logika Fuzzy

Salah satu aplikasi logika fuzzy yang telah berkembang luas dewasa ini adalah sistem inferensi kabur, yaitu sistem komputasi yang bekerja atas dasar penalaran kabur, misalnya sistem kendali otomatis, sistem klasifikasi data, sistem pakar, sistem pengenalan pola, dan sebagainya. Inferensi adalah proses transformasi dari suatu unit input dalam domain fuzzy. Proses informasi pada bagian inferensi membutuhkan aturan-aturan fuzzy yang terdapat di dalam basis-basis aturan(Sofwan, 2005).

Salah satu dari sistem semacam itu, yaitu sistem kendali kabur (*fuzzy control system*). Sistem kendali ini berfungsi untuk mengendalikan proses tertentu dengan mempergunakan aturan inferensi berdasarkan logika fuzzy. Pada dasarnya sistem kendali semacam ini terdiri dari 4 unit, yaitu:

1. Unit pengaburan (*fuzzification unit*)

Karena sistem kendali logika kabur bekerja dengan kaidah dan masukan kabur, maka langkah pertama yang dilakukan adalah mengubah masukan yang tegas yang diterima menjadi masukan kabur. Itulah yang dikerjakan oleh unit pengaburan dari sistem tersebut. Untuk masing-masing variabel masukan ditentukan suatu fungsi pengaburan (*fuzzification function*) yang akan mengubah nilai variabel masukan yang tegas menjadi nilai pendekatan yang kabur.

2. Unit penalaran logika kabur (*fuzzy logic reasoning unit*)

Masukan kabur hasil pengolahan unit pengaburan diterima oleh unit penalaran untuk disimpulkan berdasarkan kaidah-kaidah yang tersedia dalam basis pengetahuan.

3. Unit basis pengetahuan (*knowledge base unit*), yakni terdiri dari dua bagian:

a. Basis data (*data base*), yang memuat fungsi-fungsi keanggotaan dari himpunan-himpunan kabur yang terkait dengan nilai-nilai variabel-variabel linguistik yang digunakan.

b. Basis kaidah (*rule base*), yang memuat kaidah-kaidah berupa implikasi kabur.

4. Unit penegasan (*defuzzification unit*)

Kesimpulan atau keluaran dari sistem kendali kabur adalah suatu himpunan kabur. Karena sistem tersebut hanya dapat mengeksekusi nilai yang tegas, maka diperlukan suatu mekanisme untuk mengubah nilai kabur keluaran itu menjadi nilai yang tegas. Itulah peranan unit penegasan yang memuat fungsi-fungsi penegasan dalam sistem itu.

2.15 Logika Fuzzy Metode Mamdani

Ada beberapa metode dalam sistem logika fuzzy, salah satunya adalah metode mamdani. Metode mamdani sering dikenal dengan nama metode *Min-Max*. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk metode ini, pada setiap aturan yang terbentuk *implikasi* (sebab-akibat) anteseden yang berbentuk kongjungsi (*and*) mempunyai nilai keanggotaan berbentuk minimum (*min*), sedangkan konsekuen gabungannya berbentuk maksimum (*max*), karena himpunan

aturan-aturannya bersifat independen (Setiadji, 2009).

Untuk mendapatkan output, diperlukan empat tahapan:

a. Pembentukan himpunan fuzzy

Pada Metode mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.

b. Aplikasi fungsi implikasi

Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah *Min*.

c. Komposisi aturan

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada tiga metode yang dalam inferensi sistem fuzzy, yaitu:

1. Metode *Max*

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy, dan mengaplikasikannya ke output dengan operator *OR(union)*. Jika semua proporsi telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum dapat dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] = \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i])$$

Dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i;

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i;

2. Metode *additive* (sum)

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua output daerah fuzzy, secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] = \min(\mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i])$$

Dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i;

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i;

3. Metode probabilistik OR (probor)

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua output daerah fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] = \min(1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (1, \mu_{sf}[x_i] * \mu_{kf}[x_i])$$

Dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i;

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i;

d. Penegasan (*defuzzifikasi*)

Terdapat beberapa tipe *defuzzifikasi*, salah satunya adalah metode *centroid*. Metode *centroid*, dengan metode ini diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy* (samar) secara umum dirumuskan sebagai berikut:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \cdot U_{A_i}(d_i)}{\sum_{i=1}^n U_{A_i}(d_i)}$$

Untuk domain diskrit, dengan:

Z = nilai hasil penegasan (*defuzzifikasi*)

d_i = nilai keluaran pada aturan ke- i

U_{A_i} = derajat keanggotaan nilai keluaran pada aturan ke- i

n = banyaknya aturan yang digunakan.

$$Z_0 = \frac{\int_a^b Z \cdot U_{(z)} \cdot dz}{\int_a^b U_{(z)} \cdot dz}$$

Untuk domain diskrit, dengan:

Z = nilai domain ke- i

$U_{(z)}$ = derajat keanggotaan titik tersebut.

Z_0 = nilai hasil penegasan (*defuzzifikasi*)

2.16 Kalman Filter

Kalman Filter adalah algoritma yang digunakan untuk memprediksi (atau memperkirakan/estimasi) hasil selanjutnya berdasarkan data sebelumnya. Itu tidak dikategorikan sebagai filter umum seperti LPF, HPF, dan BPF. Ini pada dasarnya adalah *estimator* (peng-estimasi) untuk memprediksi state (keadaan) atau bagian apa pun dalam sinyal yang berisi sinyal. Hasil dari proses estimasi ini sama dengan menghilangkan noise dari sinyal, oleh karena itu dinamakan *Kalman Filter* (Ma'arif, et al., 2019).

Kalman Filter memiliki dua bagian, bagian prediksi dan bagian update (pembaruan). Persamaan Kalman Filter standar ditunjukkan pada (1) – (5).

Prediksi :

$$\hat{x}_{t|t-1} = F_{t|t}\hat{x}_{t-1|t-1} + B_t u_t \quad (1)$$

$$P_{t|t-1} = F_t P_{t-1|t-1} F_t^T + Q_t \quad (2)$$

Update :

$$\hat{x}_{t|t} = \hat{x}_{t|t-1} + K_t (y_t - H_t \hat{x}_{t|t-1}) \quad (3)$$

$$K_t = P_{t|t-1} H_t^T (H_t P_{t|t-1} H_t^T + R_t)^{-1} \quad (4)$$

$$P_{t|t} = (1 - K_t H_t) P_{t|t-1} \quad (5)$$

Dimana x adalah estimated state (state yang diestimasi), F adalah matriks transisi state, μ adalah variabel kontrol, B adalah matriks kontrol, P adalah matriks varians state, Q adalah matriks varians proses, y adalah variabel pengukuran, H adalah matriks pengukuran, K adalah Kalman gain, R adalah matriks pengukuran, $t|t$ adalah periode waktu saat ini, $t-1|t-1$ adalah periode waktu sebelumnya, dan $t|t-1$ adalah *intermediate steps*.

Persamaan (1) sampai (5) dapat disebut sebagai model sistem *Kalman Filter* dan belum ditentukan tujuannya. Oleh karena itu, model sistem *kalman filter* tersebut dapat dimodifikasi berdasarkan tujuan yang dirancang dan seberapa kompleks sistemnya. Untuk mengimplementasikan algoritma *kalman filter* agar dapat digunakan untuk mengurangi noise dari pembacaan sensor, diperlukan beberapa adjustment (penyesuaian) terhadap kondisi tersebut. Penyesuaian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Memprediksi *State* (keadaan)

Pada tahap ini, penyesuaian dilakukan pada (1) dengan memberikan nilai $F_t = 1$ karena tidak ada transisi *state*. Dengan demikian, mengurangi komponen input sistem B_t karena sistem yang digunakan tidak memiliki input μ_t . Persamaan yang disesuaikan ditunjukkan pada (6).

$$x_{t|t-1} = x_{t-1|t-1} \quad (6)$$

2. Memprediksi *error*

Karena $F_t = 1$, maka (2) menjadi (7).

$$P_{t-1} = P_{t-1|t-1} + Q_t \quad (7)$$

3. Memperbarui (*update*) nilai *state*

Dari (3), $H_t = 1$ karena data sensor yang akan difilter hanya terdiri dari satu pembacaan sensor. Oleh karena itu, persamaan dapat ditulis sebagai (8).

$$x_{t|t} = x_{t|t-1} + K_t(y_t - x_{t|t-1}) \quad (8)$$

4. Menghitung *Kalman gain*

Karena $H_t = 1$, maka (4) dapat ditulis sebagai (9).

$$K_t = P_{t|t-1}(P_{t|t-1} + R)^{-1} \quad (9)$$

5. Memperbarui (*update*) nilai *error*

Karena $H_t = 1$, maka (5) dapat ditulis sebagai (10).

$$P_{t|t} = (1 - K_t)P_{t|t-1} \quad (10)$$