IMPLEMENTASI *FUZZY INFERENCE SYSTEM* SUGENO BERBASIS ARDUINO UNTUK PENGENDALI SUHU RUANGAN

SKRIPSI

OLEH
MOCHAMAD RIZAL
NIM. 18610090

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022

IMPLEMENTASI *FUZZY INFERENCE SYSTEM* SUGENO BERBASIS ARDUINO UNTUK PENGENDALI SUHU RUANGAN

SKRIPSI

Diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

Oleh
Mochamad Rizal
NIM. 18610090

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022

IMPLEMENTASI *FUZZY INFERENCE SYSTEM* SUGENO BERBASIS ARDUINO UNTUK PENGENDALI SUHU RUANGAN

SKRIPSI

Oleh
Mochamad Rizal
NIM.18610090

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Malang, 24 Juni 2022

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Evawati Alisah, M.Pd	Abdul Aziz, M.Si
NIP. 197206041999032001	NIP. 197603182006041002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Elly Susanti, M.Sc
NIP. 19741129200012205

IMPLEMENTASI *FUZZY INFERENCE SYSTEM* SUGENO BERBASIS ARDUINO UNTUK PENGENDALI SUHU RUANGAN

SKRIPSI

Oleh
Mochamad Rizal
NIM.18610090

Telah Dipertahankan di Depan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)
Tanggal 24 Juni 2022

Ketua Penguji	: Fachrur Rozi, M.Si	.....
Anggota Penguji 1	: Dr. Wahyu Henky Irawan, M.Pd	.....
Anggota Penguji 2	: Evawati Alisah, M.Pd	.....
Anggota Penguji 3	: Abdul Aziz, M.Si	.....

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Elly Susanti, M.Sc
NIP. 197411292000122005

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Mochamad Rizal

NIM : 18610090

Program Studi : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul skripsi : Implementasi *Fuzzy Inference System* Sugeno Berbasis Arduino Untuk Pengendali Suhu Ruangan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil dari karya sendiri. Bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat hasil jiplakan pada skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 24 Juni 2022

Yang membuat pernyataan,

Mochamad Rizal

NIM.18610090

MOTO

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan
(Q.S Al-Insyirah: 6)

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk:
Kedua orang tua tercinta beserta seluruh keluarga yang telah memberikan do'a, nasihat, motivasi, dan semangat serta dukungan zhahir dan bathin yang tak ternilai harganya kepada penulis.
Seluruh dosen yang telah memberikan ilmu, pengetahuan, serta wawasan yang sangat luas kepada penulis.
Seluruh sahabat dan teman-teman penulis yang telah berbagi informasi dan motivasi kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahi rabbil 'alamin. Segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, hidayah dan segala nikmat-Nya penulis dapat menyusun penulisan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah yang gelap gulita menuju zaman islam yang terang benderang seperti sekarang ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
2. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
3. Dr. Elly Susanti, M.Sc, selaku ketua Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
4. Evawati Alisah, M.Pd, selaku anggota penguji 2 yang banyak memberikan bimbingan, ilmu, ide, saran dan do'a kepada penulis.
5. Abdul Aziz, M.Si, selaku anggota penguji 3 yang telah memberikan ilmu, saran yang membangun serta ide terhadap penulisan skripsi ini.
6. Fachrur Rozi, M.Si, selaku ketua penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang dapat dijadikan bahan perbaikan oleh penulis.
7. Dr. Wahyu Henky Irawan, M.Pd, selaku anggota penguji 1 yang telah memberikan ilmu, ide, saran serta masukan yang dapat dijadikan bahan perbaikan oleh penulis.
8. Angga Dwi Mulyanto, M.Si, selaku dosen wali yang telah banyak memberi arahan dan motivasi kepada penulis.
9. Seluruh dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
10. Kedua orang tua tercinta, Ibu Siti Khotijah dan Bapak Mu'alim, yang telah sabar, ikhlas serta kuat dalam memberikan do'a, nasihat, pengalaman, materi dan ilmunya kepada penulis.

11. Kakak tersayang, M. Syahrul Fauzi, M. Rudi Widodo dan Avi Sunani, yang banyak memberikan saran, semangat dan wawasan.
12. Adik tersayang, M. Sobirin dan M. Farhan Alfarisi serta seluruh anggota keluarga yang telah memberikan dukungan.
13. Seluruh teman seperjuangan mahasiswa matematika angkatan 2018 yang telah berbagi informasi dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
14. Teman-teman komunitas Catur UKM Unit Olahraga Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim yang memberikan motivasi dan semangat kepada penulis.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran sangat penulis harapkan demi tercapainya suatu karya yang lebih baik.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Malang, 24 Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
HALAMAN PENGAJUAN ..... **ii**
HALAMAN PERSETUJUAN ..... **iii**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **iv**
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN ..... **v**
MOTO ..... **vi**
PERSEMBAHAN ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiv**
ABSTRAK ..... **xv**
ABSTRACT ..... **xvi**
مستخلص البحث ..... **xvii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Masalah 4
BAB II KAJIAN TEORI **5**
2.1 Teori Pendukung 5
2.1.1 Logika *Fuzzy* 5
2.1.2 Himpunan *Fuzzy* 6
2.1.3 Fungsi Keanggotaan 7
2.1.4 Operasi Himpunan *Fuzzy* 10
2.1.5 Pengaburan (*Fuzzification*) 11
2.1.6 Pendefinisian Aturan (*Rule Base*) 11
2.1.7 Penegasan (*Defuzzification*) 12
2.1.8 *Fuzzy* Sugeno 13
2.1.9 Sistem Kendali 14
2.1.10 *Proteus Professional* 14
2.1.11 Arduino IDE 15
2.1.12 Suhu 16
2.1.13 Kelembaban Relatif 17
2.1.14 *Mean Average Percentage Error* (MAPE) 17
2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Qur'an/Hadits 18
2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung 19
BAB III METODE PENELITIAN **20**
3.1 Jenis Penelitian 20
3.2 Data dan Sumber Data 20
3.3 Langkah-langkah Analisis Data 20
BAB IV PEMBAHASAN **23**

4.1. Implementasi *Fuzzy Inference System* Sugeno Berbasis Arduino Untuk Pengendali Suhu Ruangan 23
4.1.1. Perancangan Data Awal *Fuzzy* 23
4.1.2. Fuzzifikasi 24
4.1.3. Pendefinisian Aturan (*Rule Base*) 26
4.1.4. Perhitungan Manual *Fuzzy* 28
4.1.5. *Fuzzy Inference System* Sugeno 29
4.1.6. Defuzzifikasi 30
4.1.7. Automatisasi dan Perhitungan Simulasi Arduino Pada Proteus *Professional* 31
4.1.8. Perhitungan MAPE dari Hasil Manual dan Simulasi Arduino..... 38
BAB V PENUTUP 40
5.1. Kesimpulan 40
5.2. Saran 40
DAFTAR PUSTAKA 41
LAMPIRAN 43
RIWAYAT HIDUP 46

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Pengukuran di Kota Malang 24
Tabel 4.2 Data Pengukuran di Kabupaten Kediri 24
Tabel 4.3 Variabel Jumlah Orang 25
Tabel 4.4 Variabel Suhu 25
Tabel 4.5 Variabel Kelembaban 26
Tabel 4.6 Variabel Putaran Kipas 26
Tabel 4.7 *Rule Base* 27
Tabel 4.8 Fungsi Implikasi 30
Tabel 4.9 Perhitungan Manual 31
Tabel 4.10 Hasil Simulasi *Fuzzy* Arduino Pada *Proteus Professional* 38
Tabel 4.11 MAPE dari Hasil Manual dan Hasil Simulasi Arduino 38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fungsi Keanggotaan Segitiga 8
Gambar 2.2 Fungsi Keanggotaan Trapesium 9
Gambar 2.3 Fungsi Keanggotaan Linier Naik 9
Gambar 2.4 Fungsi Keanggotaan Linier Turun 10
Gambar 3.1 *Flowchart Fuzzy Inference System* Sugeno 21
Gambar 3.2 *Flowchart* Simulasi Arduino Pada *Proteus Professional* 22
Gambar 4.1 Fuzzifikasi Data Pertama 29
Gambar 4.2 *Library* Sensor Suhu dan Kelembaban 32
Gambar 4.3 Inisialisasi Data *Input* dan *Output* 32
Gambar 4.4 Program *Void Setup* 33
Gambar 4.5 Kondisi "*High*" Pada Sensor DHT 33
Gambar 4.6 Kondisi "*Low*" Pada Sensor DHT 34
Gambar 4.7 Kondisi *Up* dan *Down* Pada Sensor *Push Button* 34
Gambar 4.8 *Rule Base* Pada Arduino IDE 35
Gambar 4.9 *Sketch Fuzzy* Telah Di-*verify* 35
Gambar 4.10 Rangkaian *Fuzzy* Arduino Pada *Proteus Professional* 36
Gambar 4.11 *File* .hex dalam Rangkaian *Proteus Professional* 36
Gambar 4.12 *Running Sketch Fuzzy* Arduino Pada *Proteus Professional* 37
Gambar 4.13 Perhitungan Simulasi Arduino Pada *Proteus Professional* 37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Rule Base* simulasi arduino..... 43
Lampiran 2. Program *Void Setup* 44
Lampiran 3. Putusan Kipas 45

ABSTRAK

Rizal, Mochamad, 2022. **Implementasi *Fuzzy Inference System* Sugeno Berbasis Arduino Untuk Pengendali Suhu Ruangan.** Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: I) Evawati Alisah, M.Pd., II) Abdul Aziz, M.Si.

Kata Kunci: Logika *Fuzzy*, *Fuzzy Inference System* Sugeno, Arduino IDE, *Proteus Professional*, Suhu Ruangan.

Fuzzy inference system (FIS) memiliki kegunaan untuk menganalisis suatu masalah yang mempunyai batas relatif untuk mendefinisikan nilai yang berada pada interval [0,1]. Konsep penalaran *fuzzy* tersebut disimulasikan pada *software* arduino IDE. *Software* ini berfungsi sebagai media untuk mengkoding program *fuzzy* yang telah dibuat. Masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah bagaimana implementasi FIS Sugeno berbasis arduino untuk pengendali suhu ruangan dan bertujuan untuk menentukan hasil dari sistem kendali suhu ruangan berbasis arduino menggunakan FIS Sugeno. Penelitian ini dibatasi luas ruangan yang digunakan berukuran maksimal 1000m^3, satuan dari variabel suhu adalah Celcius (℃) serta satuan dari variabel kelembaban adalah (%). Adapun metode penelitiannya adalah perancangan data awal *fuzzy*, fuzzifikasi, pendefinisian aturan (*rule base*), perhitungan manual *fuzzy*, FIS Sugeno, *defuzzifikasi*, automatisasi dan perhitungan simulasi arduino pada *proteus professional* kemudian perhitungan MAPE dari hasil manual dan simulasi arduino. Berdasarkan hasil dari pembahasan dapat disimpulkan bahwa perhitungan manual fuzzifikasi diperoleh keputusan putaran kipas sebesar 2.41 radian/detik, sedangkan hasil dari simulasi *fuzzy* arduino IDE pada *software proteus professional* diperoleh keputusan putaran kipas sebesar 2.36 radian/detik. Dari kedua hasil perhitungan tersebut telah diuji keakuratannya menggunakan MAPE dan diperoleh *error* sebesar 3.92%. Sehingga hasil dari implementasi FIS Sugeno berbasis arduino untuk pengendali suhu ruangan dikategorikan sangat baik.

ABSTRACT

Rizal, Mochamad, 2022. **The Implementation of Sugeno Fuzzy Inference System Based on Arduino for Room Temperature Control.** Thesis. Mathematics Study Program. Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Evawati Alisah, M.Pd., (II) Abdul Aziz, M.Si.

Keywords: Fuzzy Logic, Fuzzy Inference System Sugeno, Arduino IDE, Proteus Professional, Room Temperature.

Fuzzy Inference System (FIS) is useful for analyzing a problem that has a relative limit to define a values that are in the interval [0,1]. The concept of fuzzy reasoning is simulated in the Arduino IDE software. This software serves as a medium for coding fuzzy programs that have been created. The problem raised in this research is how to implement an Arduino-based Sugeno FIS to control room temperature and aims to determine the results of the system room temperature control Arduino based using Sugeno FIS. This research is limited to the area of the room used with a maximum size of $1000m^3$, the unit variable temperature Celsius (℃) and the unit variable humidity (%). The research methods are fuzzy initial data design, fuzzification, rule definition (rule base), fuzzy manual calculation, Sugeno FIS, defuzzification, automation and arduino simulation calculations on proteus professional then MAPE calculations from manual results and Arduino simulations. Based on the results of the discussion, it can be said that the manual calculation of fuzzification obtained a fan rotation decision of 2.41 radians/second, while the results of the fuzzy Arduino IDE simulation on proteus professional software obtained a fan rotation decision of 2.36 radians/second. The accuracy of these two calculations has been tested using MAPE with an error of 3.92%. So the results of the implementation of the Arduino-based Sugeno FIS to control the room temperature are categorized as very good.

مستخلص البحث

ريزال ، مُحَمَّد ، 2022. **تطبيق نظام الاستدلال الضبابي سوجينو** (*Sugeno*) **اردوينو** (*Arduino*) **للتحكم بدرجة حرارة الغرفة. البحث الءلمى**. برنامج دراسات الرياضيات ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك ابراهيم الاسلامية الحكومية مالانج. المشرفة : (I إيفاواتي أليسة ، الماجستير.، (II عبد العزيز ، ماجستير.

الكلمات المفتاحية: المنطق الضبابي، نظام الاستدلال الغامض سوجينو (*Sugeno*)، اردوينو (*Arduino*)، بروتيوس المهنية (*Proteus Professional*) ،درجة حرارة الغرفة

المنطق المبهم مفيد لتحليل مشكلة تحتوي على عدم يقين لتحديد القيم الموجودة في الفاصل الزمني [0،1]. يتم محاكاة مفهوم التفكير الغامض في برنامج *Arduino IDE*. يعمل هذا البرنامج كوسيط لترميز البرامج الغامضة التي تم إنشاؤها. تكمن المشكلة التي أثيرت في هذا البحث في كيفية تنفيذ نظام الاستدلال الضبابي *Sugeno* القائم على *Arduino* للتحكم في درجة حرارة الغرفة ويهدف إلى تحديد نتائج نظام التحكم في درجة حرارة الغرفة القائم على *Arduino* باستخدام نظام الاستدلال الضبابي (*Sugeno*). تحدد هذه الدراسة مساحة الغرفة المستخدمة بأقصى حجم $1000m^3$ ، ووحدة متغير درجة الحرارة هي مئوية (**°C**) ووحدة متغير الرطوبة هي (٪). طرق البحث هي تصميم البيانات الأولية الضبابية ، والتشويش ، وتعريف قاعدة القاعدة ، والحساب اليدوي الضبابي ، ونظام الاستدلال الضبابي سوغينو ، والتشويه ، والأتمتة ، ومحاكاة الأردوينو على بروتيوس بروفيشينال ثم حسابات *MAPE* من النتائج اليدوية ومحاكاة الأردوينو. بناءً على المناقشة ، يمكن القول أن الحساب اليدوي للتشويش حصل على قرار دوران للمروحة قدره 2.41 راديان / ثانية ، بينما حصلت نتائج محاكاة *Arduino IDE* الضبابية على برنامج *Proteus Professional* على قرار دوران مروحة قدره 2.36 راديان / ثانية. تم اختبار نتائج الحسابين للتأكد من دقتها باستخدام *MAPE* وحصلت على خطأ بنسبة 3.92٪. بحيث تعتبر نتائج تنفيذ نظام الاستدلال الضبابي *Sugeno* القائم على *Arduino* لأجهزة التحكم في درجة حرارة الغرفة جيدة جدًا.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara bahasa, *fuzzy* dapat didefinisikan sesuatu yang kabur, artinya memungkinkan bahwa suatu nilai bersifat benar ataupun salah pada kondisi bersamaan. Pada tahun 1965, teori logika *fuzzy* pertama kali ditunjukkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh. Salah satu kegunaan dari logika *fuzzy* untuk menganalisis suatu masalah yang mengandung ketidakpastian untuk mendefinisikan nilai yang berada pada interval [0,1]. Logika ini memiliki kemampuan untuk memetakan suatu *input* ke dalam suatu *output* tanpa mengabaikan faktor-faktor yang ada (Nasution, 2012).

Salah satu implementasi dari logika *fuzzy* yaitu pada sistem kecerdasan buatan yang menggerakkan pemikiran manusia menjadi sebuah mekanisme yang selanjutnya diaplikasikan oleh suatu alat kendali. Mekanisme ini telah banyak dimanfaatkan pada aplikasi pemrosesan data yang memungkinkan munculnya variabel selain “ya” atau “tidak”. Ekspresi bahasa yang digunakan pada *fuzzy* ialah bahasa yang tertentu (*linguistik*), hal ini dipilih karena dapat merepresentasikan seberapa “baik” atau “buruk” suatu nilai pada sistem *fuzzy* tersebut (Kusumadewi & Purnomo, 2004).

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *fuzzy* Sugeno. Konsep penalaran *fuzzy* tersebut disimulasikan pada *software* arduino IDE. *Software* ini berfungsi sebagai media untuk mengkoding program *fuzzy* yang telah dibuat. Arduino dipilih karena dapat disimulasikan melalui *software* yang relatif mudah dimengerti oleh pengguna sekaligus dapat diaplikasikan ke dalam suatu *hardware*

yang kegunaannya dapat dimanfaatkan secara langsung oleh manusia. Agar simulasi dari arduino lebih valid, perlu ditambahkan suatu *software proteus professional* yang dapat menggambarkan dan mengaktualisasikan konsep *fuzzy* pada kehidupan sehari-hari. Salah satu penerapan konsep *fuzzy* tersebut adalah untuk merancang suatu sistem kendali untuk pengendali suhu ruangan (Amalia, dkk, 2020).

Pada zaman serba canggih seperti sekarang, manusia membutuhkan suatu alat yang dapat mempermudah segala kebutuhannya. Sistem kendali *fuzzy* dapat diaplikasikan pada alat elektronik, misalnya konsumsi kipas angin yang umumnya digunakan pada saat sholat tarawih berjamaah pada bulan ramadhan. Dengan menggunakan bantuan program *sketch* arduino, penelitian ini diharapkan dapat mengimplementasikan program *fuzzy* sebagai alat pengendali suhu ruangan melalui kipas angin secara otomatis. Hal itu dilakukan untuk memberikan kenyamanan bagi para jamaah yang mengalami gerah maupun panas pada saat menunaikan ibadah sholat tarawih (Amalia, dkk, 2020).

Berikut ayat pada Al-Qur'an yang membahas tentang suatu keadaan *fuzzy* pada Surat Ar-Rum ayat 54 yang artinya:

> "*Allah lah yang menciptakan kamu dari keadaan lemah, kemudian Dia menjadikan (kamu) setelah keadaan lemah ini menjadi kuat, kemudian Dia menjadikan (kamu) setelah kuat itu lemah (kembali) dan beruban. Dia menciptakan apa yang Dia kehendaki. Dan Dia Maha Mengetahui. Mahakuasa"* (RI, 2019).

Dalam ayat tersebut menjelaskan bahwa penciptaan manusia berawal dari keadaan lemah, kemudian kuat, kemudian lemah kembali hingga meninggal yang tentunya diantara lemah dan kuat tersebut terdapat beberapa kondisi tertentu diantaranya adalah sangat lemah, cukup kuat dan sangat kuat (Nasution, 2012).

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Muaz Hadrul Reza pada tahun 2018 dengan judul " Perancangan Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Ruangan Berbasis Arduino Uno dengan Metode Logika *Fuzzy* Tsukamoto ". Penelitian tersebut menggunakan kontrol *fuzzy* untuk pengendaliannya dan dari batas yang ingin dicapai yaitu 15%, hasil penelitian yang telah dipraktikkan selama satu jam diperoleh batas sebesar 16% lebih hemat daripada tidak menggunakan kontrol *fuzzy*. Sedangkan suhu yang dicapai mendekati suhu ideal ruangan yaitu 26,50℃ dimana suhu ruangan ideal yang standar adalah 26℃ (Amalia, dkk, 2020). Berdasarkan pada uraian yang telah disampaikan di atas, maka dalam skripsi ini penulis mengambil judul " Implementasi *Fuzzy Inference System* Sugeno Berbasis Arduino Untuk Pengendali Suhu Ruangan ".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan dari latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas oleh peneliti adalah bagaimana implementasi *fuzzy inference system* Sugeno berbasis arduino untuk pengendali suhu ruangan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pemaparan rumusan masalah diatas, tujuan penelitian ini adalah menentukan hasil dari sistem kendali suhu ruangan berbasis arduino menggunakan *fuzzy inference system* Sugeno.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Secara Teoritis

   Manfaat penelitian bagi penulis untuk memperdalam pengetahuan tentang logika *fuzzy inference system* Sugeno berbasis arduino sebagai perpaduan

dari hasil riset berupa *software* dan *hardware* serta dapat mengimplementasikan *fuzzy inference system* Sugeno berbasis arduino untuk pengendali suhu ruangan dengan baik.

2. Secara Praktis
   a. Bagi pembaca, penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan kajian baru guna menambah ilmu dan wawasan dalam menentukan sistem kendali berbasis arduino menggunakan *fuzzy inference system* Sugeno.
   b. Bagi peneliti selanjutnya, diharapkan dengan memadukan masing-masing sistem pada *input* dapat menghasilkan *output* yang diharapkan.
   c. Bagi perkembangan matematika, semua teori dapat dimodifikasi untuk mendapatkan hasil sesuai yang dibutuhkan.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi lebih fokus, luas ruangan yang digunakan berukuran maksimal 1000m^3, satuan dari variabel suhu adalah Celcius (℃) serta satuan dari variabel kelembaban adalah (%).

BAB II
KAJIAN TEORI

2.1 Teori Pendukung

2.1.1 Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* diperkenalkan pertama kali oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Secara bahasa, kata *fuzzy* dapat diartikan sebagai kabur, yakni memungkinkan bahwa suatu nilai bersifat benar ataupun salah pada kondisi bersamaan. Logika *fuzzy* merupakan logika yang dapat digunakan untuk menganalisis suatu masalah yang mengandung ketidakpastian pada setiap nilai kebenarannya. Logika ini dapat memetakan suatu *input* ke dalam suatu *output* tanpa menghilangkan faktor-faktor di dalamnya (Nasution, 2012).

Seorang Filosof Yunani kuno, Aristoteles mempermasalahkan beberapa pernyataan berkaitan dengan masa depan, seperti contoh "Dia pergi ke kota Bali besok". Pernyataan tersebut belum tentu akan terjadi, karena kebenarannya masih kabur. Logika terbagi menjadi dua macam yaitu logika tegas (*crisp*) dan logika kabur atau yang lebih kita kenal dengan logika *fuzzy*. Perbedaan mendasar dari keduanya, logika tegas hanya membahas dua macam keadaan, seperti *on* atau *off*, benar atau salah dan lain sebagainya. Sedangkan logika *fuzzy* lebih menggunakan konsep sifat kekaburan yang mempunyai banyak nilai kebenaran yang dinyatakan dalam bilangan riil (Susilo, 2006).

Menurut Kusumadewi dan Purnomo (2004), terdapat beberapa kegunaan dari logika *fuzzy* sebagai berikut:

1. Konsep penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. Logika *fuzzy* sangat bersifat fleksibel.
3. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.

4. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi *nonlinear* yang sangat kompleks.
5. Logika *fuzzy* dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.

2.1.2 Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* adalah himpunan yang berisi unsur-unsur dengan derajat keanggotaan yang bervariasi. Fungsi pada himpunan *fuzzy* tersebut meliputi bilangan riil pada suatu interval tertentu yang didasarkan pada *rule base* yang telah dibuat untuk memperluas jangkauan dari setiap fungsi karakteristiknya. Menurut Kusumadewi dan Purnomo (2004), himpunan *fuzzy* memiliki dua atribut yaitu:

1. *Linguistik* (tertentu), yakni pendefinisian suatu grup untuk menyatakan suatu keadaan tertentu menggunakan bahasa sehari-hari.
2. Numerik, yakni pendefinisian ukuran dari suatu variabel, umumnya ditunjukkan dengan suatu nilai/angka.

Menurut George Cantor, himpunan didefinisikan sebagai suatu koleksi objek-objek yang terdefinisi secara tegas, dimana dapat dipastikan objek tersebut merupakan elemen dari himpunan tersebut atau bukan. Berdasarkan pernyataan tersebut, himpunan tegas A pada semesta X dapat didefinisikan sebagai suatu fungsi $\mu_A: X \rightarrow \{0,1\}$, kemudian selanjutnya dinamakan fungsi karakteristik dari himpunan tegas A, dimana untuk setiap $x \in X$, berlaku:

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 1, \forall x \in A \\ 0, \forall x \notin A \end{cases} \qquad (2.1)$$

Selanjutnya, Zadeh memperluas konsep tersebut dengan mendefinisikan himpunan *fuzzy* sebagai suatu himpunan yang unsur-unsur dalam semesta pembicaraannya bukanlah sesuatu yang tegas saja, tetapi keseluruhan nilai dalam interval [0,1] dengan menggunakan suatu fungsi keanggotaan *(membership function)*. Sehingga keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* merupakan sesuatu yang memiliki derajat atau bergradasi secara kontinu (Susilo, 2006).

Definisi 2.1 Himpunan kabur A pada semesta pembicaraan U dapat didefinisikan sebagai sebuah himpunan pasangan terurut:

$$A = \{x, \mu_A(x) | x \in U\} \qquad (2.2)$$

dengan $\mu_A(,)$ disebut fungsi keanggotaan atau fungsi karakteristik himpunan A. Simbol $\mu_A(x)$ merupakan *grade* atau derajat keanggotaan x pada himpunan A, yang mengindikasikan derajat keanggotaan $\mu_A(,)$ di A (Wati, 2011).

Untuk mengubah himpunan tegas (*crisp*) menjadi himpunan *fuzzy*, terdapat empat nilai yang harus dipahami yaitu:

1. Variabel *fuzzy*, yaitu variabel yang akan dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*.
2. Himpunan *fuzzy*, yaitu suatu grup yang merepresentasikan keadaan tertentu pada variabel *fuzzy*.
3. Semesta pembicaraan, yaitu keseluruhan nilai yang dapat dioperasikan dalam variabel *fuzzy*.
4. Domain, yaitu keseluruhan nilai yang diizinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*.

2.1.3 Fungsi Keanggotaan

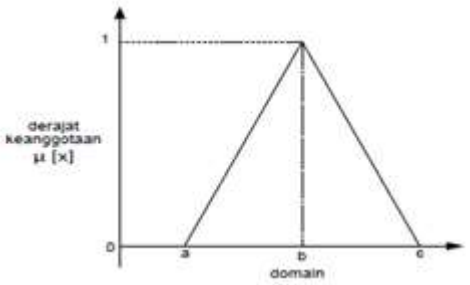
Fungsi keanggotaan merupakan representasi grafis besarnya partisipasi pada setiap titik *input*. Fungsi yang digunakan untuk mengklasifikasikan derajat

keanggotaan dari masing-masing elemen domain disesuaikan dengan himpunan *fuzzy*. Fungsi keanggotaan untuk himpunan *fuzzy* ini dapat berupa bentuk dan jenis apapun yang telah ditentukan oleh para peneliti. Berikut akan dijelaskan tentang beberapa jenis dari fungsi keanggotaan (Kusumadewi & Purnomo, 2004):

1. Fungsi Keanggotaan Segitiga

   Fungsi keanggotaan segitiga memiliki tiga parameter, yaitu $a, b, c \in R$ dengan $a \leq b \leq c$ dan dinyatakan sebagai $\mu[x]$ dengan aturan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; x\ lainnya \\ \dfrac{x-a}{b-a}; & a < x < b \\ \dfrac{c-x}{c-b}; & b < x < c \\ 1; & x = b \end{cases} \tag{2.3}$$

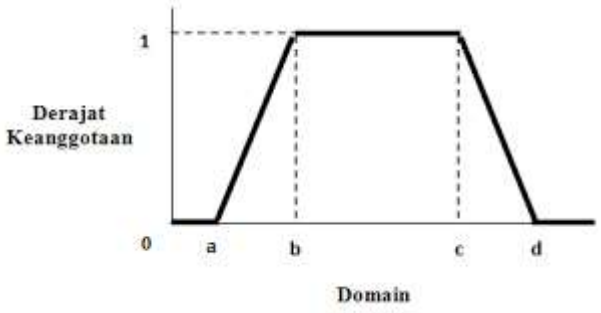


Gambar 2.1 Fungsi Keanggotaan Segitiga

2. Fungsi Keanggotaan Trapesium

   Fungsi keanggotaan ini memiliki empat parameter, yaitu $a, b, c, d \in R$ dengan $a \leq b \leq c \leq d$ dan dinyatakan sebagai $\mu[x]$ dengan aturan sebagai berikut:

$$\mu[x] = \begin{cases} \dfrac{x-a}{b-a}; a < x < b \\ 1; b \leq x \leq c \\ \dfrac{d-x}{d-c}; c < x < d \\ 0; x\ lainnya \end{cases} \tag{2.4}$$

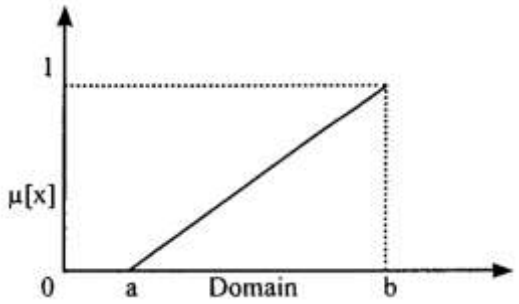


Gambar 2.2 Fungsi Keanggotaan Trapesium

3. Fungsi Keanggotaan Linier Naik

Pada fungsi ini, garis lurus pada domain memiliki derajat keanggotaan 0 yang bergerak ke arah kanan menuju domain yang memiliki derajat keanggotaan 1.

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a < x < b \\ 1 & ; x \geq b \end{cases} \qquad (2.5)$$

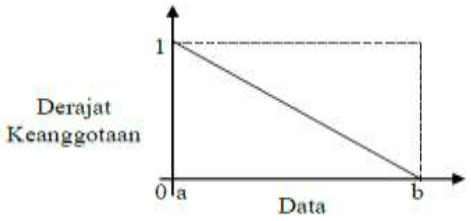


Gambar 2.3 Fungsi Keanggotaan Linier Naik

4. Fungsi Keanggotaan Linier Turun

Kebalikan dari fungsi keanggotaan linier naik, pada fungsi ini garis lurus pada domain memiliki derajat keanggotaan 1 yang bergerak ke kiri menuju ke domain yang memiliki derajat keanggotaan 0.

$$\mu[x] = \begin{cases} 0\ ; & x \geq b \\ \frac{b-x}{b-a}; & a < x < b \\ 1\ ; & x \leq a \end{cases} \qquad (2.6)$$



Gambar 2.4 Fungsi Keanggotaan Linier Turun

2.1.4 Operasi Himpunan *Fuzzy*

Menurut Kusumadewi dan Purnomo (2004), seperti operasi pada himpunan tegas (*crisp*), terdapat tiga operasi khusus untuk mengoperasikan himpunan *fuzzy*. Hasil dari operasi dua himpunan *fuzzy* dinamakan dengan α-predikat. Hasil operasi tersebut juga disebut nilai keanggotaan. Berikut ini tiga operator dasar himpunan *fuzzy* menurut Zadeh, yakni:

1. Operator *AND*

   Operator *AND* adalah operasi irisan pada dua himpunan *fuzzy*, dengan cara memilih α-predikat yang terkecil,

   $$\mu_{A\cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (2.7)$$

2. Operator *OR*

   Operator *OR* merupakan operasi gabungan pada dua himpunan *fuzzy*, yaitu dengan cara memilih α-predikat yang terbesar,

   $$\mu_{A\cup B} = \max(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (2.8)$$

3. Operator *NOT*

   Operasi komplemen pada himpunan *fuzzy*, dengan mengurangkan α-predikat pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

   $$\mu_A = 1 - \mu_A[x] \quad (2.9)$$

2.1.5 Pengaburan (*Fuzzification*)

Pada proses ini, langkah pertama yang dilakukan sistem kendali *fuzzy* adalah mengolah suatu *input* yang nilainya tegas (*crisp*) menjadi *input* bernilai *fuzzy*. Selanjutnya ditentukan terlebih dahulu masing-masing variabel *input* suatu fungsi pengaburan (*fuzzification function*) yang akan mengolah nilai variabel *input* tegas (biasa dinyatakan dalam bilangan riil) menjadi nilai pendekatan. Secara umum, fungsi pengaburan adalah suatu pemetaan $f: \mathbb{R} \to K$, dimana K adalah suatu kelas himpunan *fuzzy* dalam semesta $\mathbb{R}$ (Susilo, 2006). Berikut ini beberapa kriteria dari fungsi pengaburan:

1. Fungsi pengaburan diharapkan mengubah suatu nilai tegas, misalnya $a \in \mathbb{R}$, ke suatu himpunan *fuzzy* $\tilde{A}$ dengan $\mu_{\tilde{A}}(a) = 1$, atau sekurang-kurangnya a mempunyai derajat keanggotaan yang tinggi.
2. Jika nilai *input*-nya cacat karena derau, diharapkan fungsi pengaburan dapat menekan sejauh mungkin derau tersebut.
3. Fungsi pengaburan diharapkan dapat membantu menyederhanakan komputasi yang harus dikerjakan oleh sistem kendali tersebut dalam inferensinya.

2.1.6 Pendefinisian Aturan (*Rule Base*)

Basis pengetahuan pada sistem kendali *fuzzy* terdiri atas basis data dan basis kaidah. Basis data adalah himpunan fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* yang terkait dengan nilai *linguistik* dari variabel-variabel pada sistem kendali tersebut. Sedangkan basis kaidah merupakan himpunan implikasi *fuzzy* yang berlaku sebagai kaidah dalam sistem tersebut. Jika sistem itu mempunyai m buah kaidah

dengan $(n+1)$ variabel, maka bentuk umum kaidah ke-i $(i = 1, \dots, m)$ adalah sebagai berikut:

$$Jika\ x_1\ adalah\ A_{i1}\ dan \dots \dots dan\ x_n\ adalah\ A_{in}\ , maka\ y\ adalah\ B_i$$

dimana x_j adalah variabel *linguistik* dengan semesta numeris X_j $(j = 1, \dots, n)$ (Susilo, 2006). Basis kaidah diharapkan memenuhi beberapa kriteria berikut:

1. Lengkap, yakni untuk setiap $(x_1, \dots, x_n) \in X_1 \times \dots X_n$ maka terdapat $i \in \{1, \dots, m\}$ sedemikian sehingga $\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x_j) \neq 0$ untuk semua $j \in \{1, \dots, n\}$. Singkatnya, untuk setiap nilai masukan terdapat sekurang-kurangnya satu kaidah yang tersulut.
2. Konsisten, yakni tidak ada kaidah-kaidah yang mempunyai anteseden yang sama tetapi konsekuennya berbeda.
3. Kontinu, yakni tidak ada kaidah-kaidah dengan himpunan *fuzzy* yang terkait dalam anteseden beririsan, tetapi himpunan *fuzzy* yang terkait dalam konsekuennya saling asing.

2.1.7 Penegasan (*Defuzzification*)

Fungsi penegasan (*defuzzification*) adalah suatu pemetaan $f: K \to \mathbb{R}$, dimana K adalah suatu kelas himpunan *fuzzy*, yang memetakan suatu himpunan *fuzzy* ke suatu bilangan riil yang tegas. *Output* bilangan tegas ini selanjutnya menentukan tindakan pengendalian yang akan dikerjakan oleh sistem tersebut. *Output* dari sistem kendali *fuzzy* adalah suatu himpunan *fuzzy*, maka diperlukan suatu mekanisme yang dapat mengubah nilai *fuzzy* dari *output* tersebut menjadi himpunan bilangan yang tegas (Susilo, 2006). Berikut ini beberapa kriteria dalam menentukan fungsi penegasan:

1. Masuk akal, artinya secara intuitif bilangan tegas $t(\widetilde{A})$ dapat diterima sebagai bilangan yang mewakili himpunan *fuzzy* $\tilde{A}$.
2. Kemudahan komputasi, diharapkan fungsi penegasan tersebut cukup mudah dan sederhana dalam proses komputasinya untuk menghasilkan *output* bilangan tegas.
3. Kontinu, artinya perubahan kecil pada $\tilde{A}$ tidak akan mengakibatkan perubahan besar pada $\tilde{A}$.

Fungsi penegasan yang paling sering dipakai dalam sistem kendali *fuzzy* adalah rerata pusat (*center average*), yaitu jika himpunan *fuzzy* $\tilde{A}$ dalam semesta $\mathbb{R}$ merupakan gabungan dari m buah himpunan *fuzzy*, yakni $\tilde{A} = \bigcup_{i=1}^{m} \widetilde{A}_i$, maka $\tilde{A}$ diubah menjadi bilangan tegas $t(\widetilde{A})$ yang merupakan rerata terbobot dari pusat-pusat m buah himpunan *fuzzy* tersebut, dengan tinggi masing-masing himpunan *fuzzy* itu sebagai bobotnya. Jadi $(\widetilde{A}) = \frac{\sum_{i=1}^{m} b_i x_i}{\sum_{i=1}^{m} b_i}$, dimana x_i adalah pusat dari himpuna *fuzzy* $\tilde{A}$ dan b_i adalah tinggi dari $(\widetilde{A})$ (Susilo, 2006).

2.1.8 *Fuzzy* Sugeno

Pada tahun 1985, *fuzzy* Sugeno diperkenalkan oleh Takagi, Sugeno, dan Kang. Mereka berusaha melakukan pendekatan sistematis guna membangkitkan aturan *fuzzy* dari masukan serta keluaran yang digunakan. Ciri khas aturan *fuzzy* Sugeno yaitu: " jika x adalah *A* dan y adalah *B*, maka z adalah $f(x, y)$ ". Dari aturan tersebut, diketahui *A* dan *B* adalah himpunan *fuzzy* dalam anteseden sedangkan *z* adalah himpunan tegas dalam konsekuen.

Fuzzy Sugeno dikategorikan menjadi dua model. Jika $f(x, y)$ merupakan suatu polinomial berorde satu, maka *fuzzy inference system* yang dihasilkan

disebut model *fuzzy* Sugeno orde satu. Sedangkan jika $f(x, y)$ bernilai konstan, maka dihasilkan model *fuzzy* Sugeno orde nol. *Fuzzy inference system* Sugeno memiliki karakteristik, yakni konsekuennya bukan merupakan himpunan *fuzzy*, namun berupa suatu persamaan linier dengan variabelnya sesuai dengan variabel pada *input*-nya (Sitio, 2018).

2.1.9 Sistem Kendali

Sistem kendali dilandaskan pada dasar teori umpan balik dan analisis sistem linier serta menghasilkan konsep-konsep teori jaringan dan teori komunikasi. Oleh karena itu, sistem kendali tidak terbatas pada disiplin rekayasa tetapi juga berlaku untuk elektronik, mekanik, lingkungan, teknik listrik dan lain sebagainya. Sebuah sistem kendali adalah interkoneksi komponen yang membentuk konfigurasi sistem yang akan memberikan respon terhadap sistem yang diinginkan. *Basic* utama dari analisis sistem kendali adalah dasar yang disediakan oleh suatu sistem linier yang mengasumsikan hubungan *causeeffect* untuk komponen sistem (Pangaribowo, 2015).

2.1.10 *Proteus Professional*

Proteus Professional merupakan sebuah *software* yang bersifat *open source* untuk menggambar dan mensimulasikan rangkaian elektronik. *Software* tersebut memiliki banyak *library* sekaligus komponen yang terbilang lengkap. Diantara komponen tersebut adalah arduino, *LED*, macam-macam sensor, *push button*, kipas, dll. *Proteus Professional* juga didukung dengan berbagai alat ukur digital seperti *voltmeter, amperemeter, hygrometer,* dan alat ukur otomatis lainnya. Hal ini menjadikan *proteus professional* tersebut dikategorikan ke dalam salah satu *software* simulasi favorit (Maria, dkk, 2017).

Kelebihan dan kegunaan dari *software* ini diantaranya adalah meminialisir pengeluaran seorang *programmer* karena tidak perlu menyiapkan komponen yang akan dirakit. Selain itu, simulasi dengan menggunakan *software* ini dapat meminimalisir risiko kerusakan suatu komponen atau alat ukur yang disebabkan *human error*. Pengoperasian *software* ini dapat mudah dimengerti melalui jurnal terkait maupun tutorial-tutorial yang ada di *youtube*. Penyimpanan dari *software* ini juga termasuk ringan dibandingkan *software* elektronik lain seperti *MATLAB* ataupun s*oftware* yang lainnya (Maria, dkk, 2017).

2.1.11 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan *software* bersifat *open source* yang di dalamnya terdapat beberapa menu, komponen dan fitur untuk membuat, menjalankan, serta mengeksekusi suatu program. IDE merupakan kependekan dari *Integrated Development Environment* yang berarti lingkungan yang terintegrasi untuk melakukan pengembangan. Fungsi di-*input*-kan melalui sintaks pemrograman, kemudian dijalankan dengan melakukan *upload* dan *verify* program. Bahasa pemrograman pada arduino IDE adalah *java*, selain itu juga dibekali dengan *library* berbahasa C/C++ (Erintafifah, 2021).

Berikut ini beberapa bagian pada *software* arduino IDE:

1. Struktur dasar penulisan *sketch*
   a. *Void setup*, merupakan perintah menjalankan program hanya sekali.
   b. *Void loop*, suatu perintah yang menjalankan program secara kontinu.
2. Sintaks pemrograman
   a. //, untuk memberi komentar hanya pada satu baris.
   b. /* */, untuk menuliskan beberapa komentar (lebih dari satu).

c. {}, mendefinisikan kapan dimulai dan diakhirinya suatu program.

d. ; , sebagai penutup dari suatu program agar bisa dijalankan.

3. Fitur-fitur pada arduino IDE beserta fungsinya

a. *Verify,* digunakan untuk mem-*verify sketch coding* apakah program telah berfungsi atau masih *error*.

b. *Upload*, memasukkan program ke dalam *board* yang ditentukan.

c. *New*, membuka lembar *sketch* yang baru.

d. *Open,* membuka projek yang sebelumnya telah disimpan.

e. *Save*, menyimpan *sketch* yang selesai dibuat.

2.1.12 Suhu

Suhu merupakan suatu kondisi dimana panas udara yang ditimbulkan oleh energi matahari mengenai suatu objek. Tinggi atau rendahnya intensitas suhu di suatu belahan bumi dipengaruhi oleh banyak sedikitnya curah panas matahari yang di terima di daerah tersebut. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tinggi atau rendahnya suhu tersebut diantaranya adalah kondisi awan, bidang permukaan, dan durasi penyinaran matahari. Penyebaran sinar matahari yang tidak merata di permukaan bumi menyebabkan suhu di suatu daerah berbeda dengan suhu di daerah lain dalam waktu yang bersamaan (Ramli, dkk, 2016).

Kondisi suhu di setiap daerah sangat bervariasi berdasarkan lokasi dan dapat seketika berubah-ubah seiring berjalannya waktu serta memungkinkan adanya beberapa faktor yang mempengaruhinya. Penyinaran matahari yang lama dapat mempengaruhi suhu di suatu daerah tersebut menjadi lebih panas. Menurut lokasi, suhu dikategorikan menjadi dua macam yakni vertikal dan horizontal. Sedangkan

berdasarkan waktu, suhu dapat dikaji setiap jam dalam sehari atau setiap bulan dalam setahun (Ramli, dkk, 2016).

2.1.13 Kelembaban Relatif

Kelembaban relatif / *Relative Humadity* (RH) diperoleh dari perbandingan antara tekanan parsial uap air yang ada di udara dengan tekanan uap jenuh pada suhu yang sama. Berikut rumus menghitung kadar kelembaban relatif:

$$RH = \frac{P}{Ps} x\ 100\ \% \qquad (2.10)$$

dengan:

RH = Kelembaban relatif

P = Tekanan parsial uap air pada suhu T (atm)

Ps = Tekanan uap air jenuh pada suhu T (atm)

Terdapat beberapa alat ukur kelembaban relatif yang secara langsung dapat dimanfaatkan dengan ketelitian lumayan besar, salah satunya menggunakan alat *hygrometer.* Alat ini memiliki *range* antara 10% sampai 99% dengan akurasi kurang lebih sebesar 5%. Pengukuran biasanya dilakukan saat kondisi yang cerah dan berkali-kali sesuai kebutuhan (Purnama, dkk, 2013).

2.1.14 *Mean Average Percentage Error* (MAPE)

Suatu hasil prediksi diperoleh dengan membandingkan proses simulasi dengan perhituangan data asli yang terjadi. Teknik prediksi yang menghasilkan *error* terkecil adalah teknik prediksi yang akurat untuk digunakan. Keakuratan hasil prediksi dapat dihitung menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dengan rumus sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left| \frac{X_t - F_t}{X_t} \right|}{n} \times 100\% \qquad (2.11)$$

dimana,

X_t = data aktual pada periode ke-t

F_t = nilai hasil simulasi pada periode ke-t

n = banyaknya data

Suatu prediksi dikategorikan sangat baik jika nilai MAPE kurang dari 10%, serta memiliki kinerja yang baik ketika nilai MAPE berada diantara 10% dan 20% (Sumartini, dkk, 2017).

2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Qur'an/Hadits

Pada sistem kendali *fuzzy*, khususnya untuk mengendalikan suhu suatu ruangan diperlukan suatu sistem yang dapat mengubah masukan tegas menjadi keluaran *fuzzy* yang selanjutnya diubah kembali menjadi keluaran akhir atau kesimpulan berupa himpunan bilangan tegas dengan pengendalian yang telah disesuaikan pada *rule base* pada sistem tersebut (Susilo, 2006).

Berikut ayat dalam Al-Qur'an yang membahas tentang suatu keadaan *fuzzy* pada Surat Ar-Rum ayat 54 yang artinya:

"Allah lah yag menciptakan kamu dari keadaan lemah, kemudian Dia menjadikan (kamu) setelah keadaan lemah ini menjadi kuat, kemudian Dia menjadikan (kamu) setelah kuat itu lemah (kembali) dan beruban. Dia menciptakan apa yang Dia kehendaki. Dan Dia Maha Mengetahui mahakuasa" (RI, 2019).

Kemudian dijelaskan pada buku Tafsir Ibnu Katsir sebagai berikut: Allah Ta'ala mengingatkan tentang proses penciptaan manusia yang berproses dari satu keadaan menuju keadaan yang lain. Dia berasal dari tanah, kemudian berupa *nuthfah* (air mani), kemudian berupa segumpal darah, kemudian berupa segumpal daging dan ditiupkan ruh ke dalamnya. Kemudian, dia keluar dari perut ibunya dalam keadaan *dha'if* dan kecil serta kondisi lemah, kemudian tumbuh dewasa

sedikit demi sedikit. Hingga dia menjadi anak kecil, kemudian balita, kemudian *baligh*, kemudian menjadi pemuda, itulah kekuatan setelah kelemahan. Kemudian, barulah dia mulai mengalami kekurangan, yaitu saat bongkok dan tua, dan itulah kelemahan setelah kekuatan. Saat itu, tekad, langkah dan gerak semakin lemah, rambut beruban, bentuk *zhahir* dan sifat *bathin* semakin berubah (Ghoffar, M.A, dkk, 2004).

2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung

Penulis mengambil topik tentang pengendalian suhu ruangan berbasis arduino menggunakan *fuzzy inference system* Sugeno. Penelitian menggunakan sistem simulasi dari *proteus 8 profesional* yang didukung arduino IDE sebagai media untuk mengkoding program *fuzzy* yang akan dibuat. Arduino dipilih karena dapat disimulasikan melalui *software* yang relatif mudah untuk dimengerti oleh pengguna sekaligus arduino dapat diaplikasikan ke dalam suatu *hardware* yang kegunaannya dapat dimanfaatkan secara langsung oleh manusia. Cara kerja dari arduino disesuaikan dengan algoritma perhitungan logika *fuzzy* Sugeno yang telah ditetapkan *rule base* nya. Sehingga diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan suatu alat pengendali suhu ruangan berbasis arduino menggunakan *fuzzy inference system* Sugeno.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah menggunakan studi literatur, yaitu penelitian yang dikerjakan di perpustakaan dengan cara mengumpulkan data dan informasi dari buku, jurnal, artikel juga disertai pengambilan data secara langsung melalui simulasi dan eksperimen program arduino yang telah dibuat.

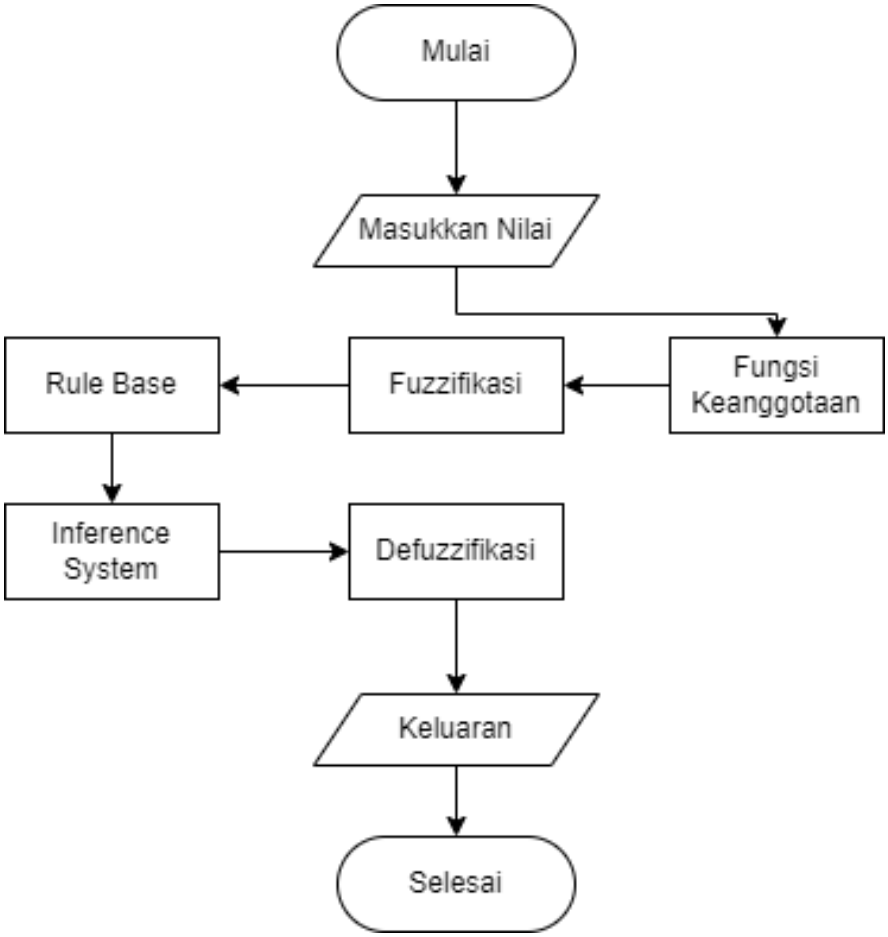
3.2 Data dan Sumber Data

Data dalam penelitian ini adalah data yang diperoleh dari eksperimen secara langsung berupa data jumlah orang, sedangkan untuk data suhu ruangan dan kelembaban relatif berasal dari pengukuran alat *hygrometer*. Penelitian ini dilakukan di dua tempat, yaitu Masjid Al-Ikhlas Merjosari, Lowokwaru, Kota Malang dan Musholla Al-Barokah, Kecamatan Mojo, Kabupaten Kediri.

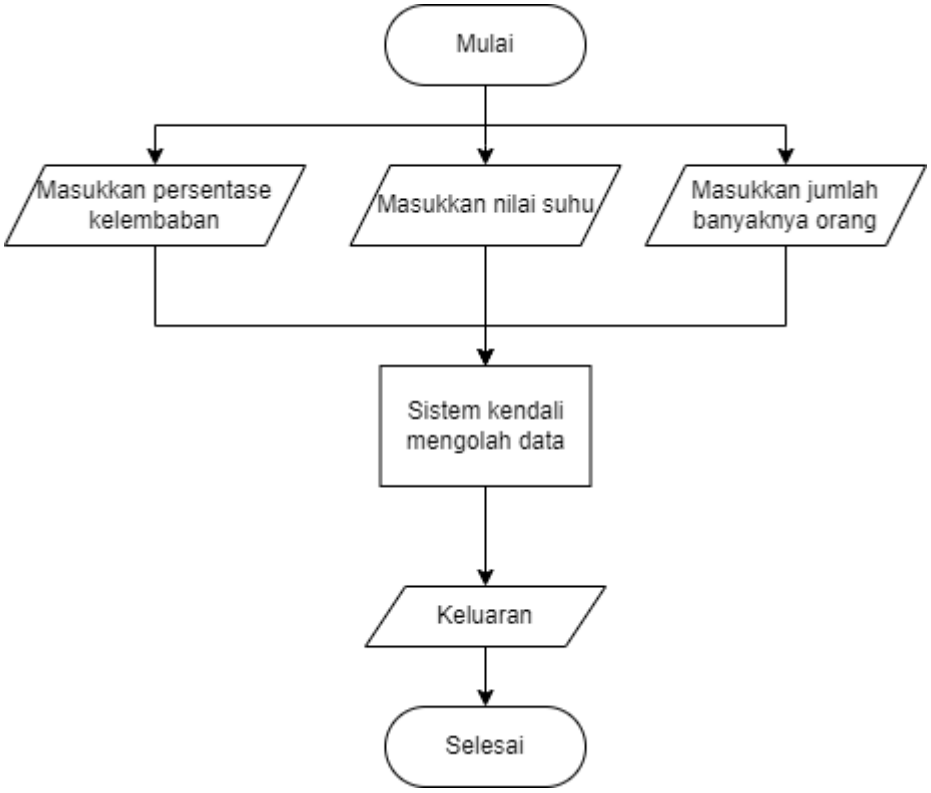
3.3 Langkah-langkah Analisis Data

Untuk mempermudah menganalisa, maka diberikan langkah-langkah proses penelitian sebagai berikut:

1. Perancangan Data Awal *Fuzzy*
2. Fuzzifikasi
3. Pendefinisian Aturan (*Rule Base*)
4. Perhitungan Manual *Fuzzy*
5. *Fuzzy Inference System* Sugeno
6. *Defuzzifikasi*
7. Automatisasi dan Perhitungan Simulasi Arduino Pada *Proteus Professional*
8. Perhitungan MAPE dari Hasil Manual dan Simulasi Arduino



Gambar 3.1 ***Flowchart Fuzzy Inference System*** **Sugeno**



Gambar 3.2 *Flowchart* Simulasi Arduino Pada *Proteus Professional*

BAB IV
PEMBAHASAN

4.1. Implementasi *Fuzzy Inference System* Sugeno Berbasis Arduino Untuk Pengendali Suhu Ruangan

4.1.1. Perancangan Data Awal *Fuzzy*

1. Penggunaan Variabel *Fuzzy*

   Dalam simulasi pengendalian suhu ruangan digunakan tiga variabel *input*, yaitu jumlah orang, suhu, dan kelembaban relatif. Sedangkan *output*-nya digunakan satu variabel, yaitu putaran kipas.

2. Penyusunan Nilai Linguistik

   Setelah menentukan variabel pada *input* dan *output*, masing-masing variabel ditentukan nilai *linguistik*-nya sebagai berikut:

   a. Variabel jumlah orang diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu: sedikit, cukup, dan banyak.
   b. Variabel suhu diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu: sejuk, ideal, dan hangat.
   c. Variabel kelembaban relatif diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu: rendah, sedang, dan tinggi.
   d. Variabel putaran kipas diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu: pelan, normal, dan kencang.

3. Proses Pengambilan Data

   Pengambilan data jumlah orang dilakukan dengan menghitung jamaah sholat taraweh berjamaah secara langsung (manual). Sedangkan data suhu ruangan dan kelembaban relatif diukur secara otomatis menggunakan

hygrometer yang diletakkan di sudut tengah ruangan masjid atau musholla. Pengambilan data dilakukan dengan mengabaikan faktor cuaca cerah maupun hujan. Berikut diperoleh data dari pengukuran yang dilakukan di dua lokasi berbeda, yaitu Masjid Al-Ikhlas, Merjosari, Kota Malang dan Musholla Al-Barokah, Kecamatan Mojo, Kabupaten Kediri yang disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Data Pengukuran di Kota Malang

Lokasi	Waktu	Pukul	Jumlah Orang	Suhu	Kelembaban Relatif
Masjid Al-Ikhlas, Merjosari, Kota Malang	02 April 2022	18.46	55	29.6℃	78 %
	03 April 2022	18.46	50	27.8℃	75 %
	04 April 2022	18.45	48	26.5℃	80 %
	05 April 2022	18.45	35	25.6℃	83 %
	06 April 2022	18.44	30	25.2℃	82 %

Tabel 4.2 Data Pengukuran di Kabupaten Kediri

Lokasi	Waktu	Pukul	Jumlah Orang	Suhu	Kelembaban Relatif
Mushola Al-Barokah, Kecamatan Mojo, Kabupaten Kediri	26 April 2022	18.48	38	27.6℃	78 %
	27 April 2022	18.48	45	29.8℃	75 %
	28 April 2022	18.47	46	30.5℃	72 %
	29 April 2022	18.47	55	30.2℃	70 %
	30 April 2022	18.46	58	31.6℃	68 %

4.1.2. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan sebuah pemetaan dari nilai tegas (*crisp*) ke dalam himpunan *fuzzy* serta menentukan fungsi keanggotaan di dalam himpunan *fuzzy* tersebut. Setiap variabel ditentukan domainnya sebagai berikut:

1. Variabel jumlah orang

   Variabel jumlah orang (j) memiliki domain dari 2 orang (syarat sah jamaah yaitu imam dan makmum) sampai dengan 58 orang (kapasitas masjid atau musholla) yang diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu sedikit (s), cukup (c), dan banyak (b), dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 4.3 Variabel Jumlah Orang

Nilai Linguistik	Domain
Sedikit	$2 \leq s \leq 20$
Cukup	$21 \leq c \leq 39$
Banyak	$40 \leq b \leq 58$

   Berikut perhitungan dari fungsi keanggotaan tersebut:

$$\mu[j] = \begin{cases} 0; j \leq 2 \\ \frac{j-2}{58-2}; 2 < j < 58 \\ 1; j \geq 58 \end{cases} \quad (2.12)$$

2. Variabel suhu

   Variabel suhu (t) memiliki domain antara 19.0℃ (batas dingin) sampai dengan 33.9℃ (batas hangat) yang diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu sejuk (s), ideal (i), dan hangat (h) dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 4.4 Variabel Suhu

Nilai Linguistik	Domain
Sejuk	$19.0 \leq s \leq 23.9$
Ideal	$24.0 \leq i \leq 28.9$
Hangat	$29.0 \leq h \leq 33.9$

   Berikut perhitungan dari masing-masing fungsi tersebut:

$$\mu[t] = \begin{cases} 0; t \leq 19.0 \\ \frac{t-19.0}{33.9-19.0}; 19.0 < t < 33.9 \\ 1; t \geq 33.9 \end{cases} \quad (2.13)$$

3. Variabel kelembaban

Variabel kelembaban (l) memiliki domain antara 60% (batas rendah) sampai dengan 89% (batas tinggi) yang diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu rendah (r), sedang (s), dan tinggi (t) dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 4.5 Variabel Kelembaban

Nilai Linguistik	Domain
Rendah	$60 \leq r \leq 69$
Sedang	$70 \leq s \leq 79$
Tinggi	$80 \leq t \leq 89$

Berikut perhitungan dari fungsi keanggotaan tersebut:

$$\mu[l] = \begin{cases} 0; l \leq 60 \\ \frac{l-60}{89-60}; 60 < l < 89 \\ 1; l \geq 89 \end{cases} \quad (2.14)$$

4. Variabel putaran kipas

Variabel putaran kipas (r) berdasarkan pada level kecepatan kipas angin diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu pelan (p), normal (n), dan kencang (k) dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 4.6 Variabel Putaran Kipas

Nilai Linguistik	Domain
Pelan	$0 < p \leq 1.0$
Normal	$1.0 < n \leq 2.0$
Kencang	$2.0 < k \leq 3.0$

4.1.3. Pendefinisian Aturan (*Rule Base*)

Aturan *fuzzy* atau *rule* yang digunakan berjumlah 81 *rules*. Aturan tersebut dijadikan penentuan tindakan yang akan diproses oleh sistem kendali *fuzzy* yang disajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.7 *Rule Base*

Rules	*Input*			*Output*
	Jumlah Orang	Suhu	Kelembaban Relatif	Putaran Kipas
R1	Sedikit	Sejuk	Rendah	Pelan
R2	Sedikit	Sejuk	Sedang	Pelan
R3	Sedikit	Sejuk	Tinggi	Pelan
R4	Sedikit	Ideal	Rendah	Pelan
R5	Sedikit	Ideal	Sedang	Pelan
R6	Sedikit	Ideal	Tinggi	Pelan
R7	Sedikit	Hangat	Rendah	Pelan
R8	Sedikit	Hangat	Sedang	Pelan
R9	Sedikit	Hangat	Tinggi	Pelan
R10	Cukup	Sejuk	Rendah	Pelan
R11	Cukup	Sejuk	Sedang	Pelan
R12	Cukup	Sejuk	Tinggi	Pelan
R13	Cukup	Ideal	Rendah	Pelan
R14	Cukup	Ideal	Sedang	Pelan
R15	Cukup	Ideal	Tinggi	Pelan
R16	Cukup	Hangat	Rendah	Pelan
R17	Cukup	Hangat	Sedang	Pelan
R18	Cukup	Hangat	Tinggi	Pelan
R19	Banyak	Sejuk	Rendah	Pelan
R20	Banyak	Sejuk	Sedang	Pelan
R21	Banyak	Sejuk	Tinggi	Pelan
R22	Banyak	Ideal	Rendah	Pelan
R23	Banyak	Ideal	Sedang	Pelan
R24	Banyak	Ideal	Tinggi	Pelan
R25	Banyak	Hangat	Rendah	Pelan
R26	Banyak	Hangat	Sedang	Pelan
R27	Banyak	Hangat	Tinggi	Pelan
R28	Sedikit	Sejuk	Rendah	Normal
R29	Sedikit	Sejuk	Sedang	Normal
R30	Sedikit	Sejuk	Tinggi	Normal
R31	Sedikit	Ideal	Rendah	Normal
R32	Sedikit	Ideal	Sedang	Normal
R33	Sedikit	Ideal	Tinggi	Normal
R34	Sedikit	Hangat	Rendah	Normal
R35	Sedikit	Hangat	Sedang	Normal
R36	Sedikit	Hangat	Tinggi	Normal
R37	Cukup	Sejuk	Rendah	Normal
R38	Cukup	Sejuk	Sedang	Normal
R39	Cukup	Sejuk	Tinggi	Normal
R40	Cukup	Ideal	Rendah	Normal
R41	Cukup	Ideal	Sedang	Normal
R42	Cukup	Ideal	Tinggi	Normal
R43	Cukup	Hangat	Rendah	Normal

Rules	*Input*			*Output*
	Jumlah Orang	Suhu	Kelembaban Relatif	Putaran Kipas
R44	Cukup	Hangat	Sedang	Normal
R45	Cukup	Hangat	Tinggi	Normal
R46	Banyak	Sejuk	Rendah	Normal
R47	Banyak	Sejuk	Sedang	Normal
R48	Banyak	Sejuk	Tinggi	Normal
R49	Banyak	Ideal	Rendah	Normal
R50	Banyak	Ideal	Sedang	Normal
R51	Banyak	Ideal	Tinggi	Normal
R52	Banyak	Hangat	Rendah	Normal
R53	Banyak	Hangat	Sedang	Normal
R54	Banyak	Hangat	Tinggi	Normal
R55	Sedikit	Sejuk	Rendah	Kencang
R56	Sedikit	Sejuk	Sedang	Kencang
R57	Sedikit	Sejuk	Tinggi	Kencang
R58	Sedikit	Ideal	Rendah	Kencang
R59	Sedikit	Ideal	Sedang	Kencang
R60	Sedikit	Ideal	Tinggi	Kencang
R61	Sedikit	Hangat	Rendah	Kencang
R62	Sedikit	Hangat	Sedang	Kencang
R63	Sedikit	Hangat	Tinggi	Kencang
R64	Cukup	Sejuk	Rendah	Kencang
R65	Cukup	Sejuk	Sedang	Kencang
R66	Cukup	Sejuk	Tinggi	Kencang
R67	Cukup	Ideal	Rendah	Kencang
R68	Cukup	Ideal	Sedang	Kencang
R69	Cukup	Ideal	Tinggi	Kencang
R70	Cukup	Hangat	Rendah	Kencang
R71	Cukup	Hangat	Sedang	Kencang
R72	Cukup	Hangat	Tinggi	Kencang
R73	Banyak	Sejuk	Rendah	Kencang
R74	Banyak	Sejuk	Sedang	Kencang
R75	Banyak	Sejuk	Tinggi	Kencang
R76	Banyak	Ideal	Rendah	Kencang
R77	Banyak	Ideal	Sedang	Kencang
R78	Banyak	Ideal	Tinggi	Kencang
R79	Banyak	Hangat	Rendah	Kencang
R80	Banyak	Hangat	Sedang	Kencang
R81	Banyak	Hangat	Tinggi	Kencang

4.1.4. Perhitungan Manual *Fuzzy*

Data yang digunakan adalah data hasil pengukuran secara langsung dengan menggunakan alat *hygrometer*. Percobaan pertama diambil di Masjid Al-Ikhlas, Merjosari, Kota Malang. Data pertama yaitu diperoleh data dari jumlah orang

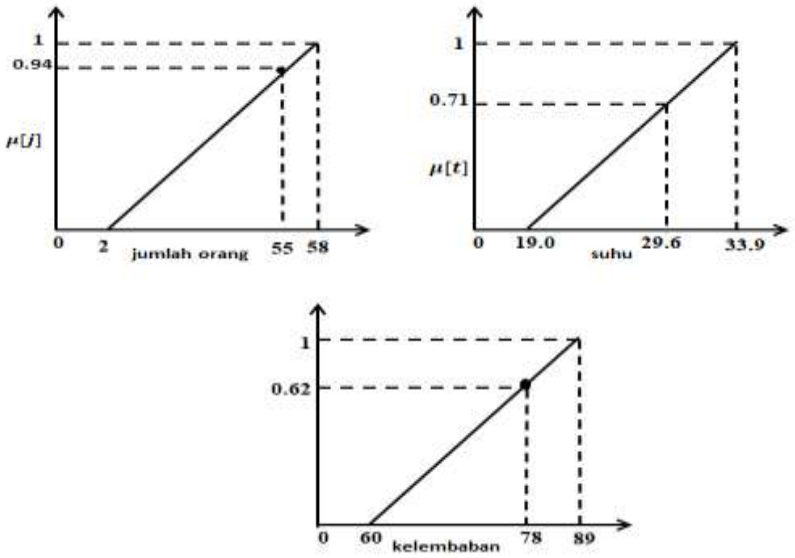
sebanyak 55 orang, suhu yang terukur adalah 29.6℃, dan kelembabannya adalah 78%, dengan menggunakan fungsi keanggotaan linier naik dan linier turun, maka berikut perhitungannya:

a. $\mu_j[55] = \frac{55-2}{58-2} = \frac{53}{56} = 0.94;\ 2 < jumlah\ orang < 58$

b. $\mu_t[29.6] = \frac{29.6-19.0}{33.9-19.0} = \frac{10.6}{14.9} = 0.71;\ 19.0 < suhu < 33.9$

c. $\mu_l[78] = \frac{78-60}{89-60} = \frac{18}{29} = 0.62;\ 60 < kelembaban < 89$

Dari perhitungan diatas diperoleh fungsi keanggotaan dari 55 orang sebesar 0.94, fungsi keanggotaan dari suhu 29.6℃ sebesar 0.71 dan fungsi keanggotaan dari kelembaban 78% sebesar 0.62 yang disajikan dalam grafik berikut:



Gambar 4.1 Fuzzifikasi Data Pertama

4.1.5. *Fuzzy Inference System* Sugeno

Metode *fuzzy inference system* Sugeno yang digunakan adalah fungsi implikasi minimum (AND), dengan rumus $\mu_{A\cap B\cap C} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y], \mu_C[z])$. Dari ketiga variabel *input* tersebut, dipilih satu nilai implikasi *fuzzy* dengan fungsi

keanggotaan terkecil sebagai α-predikat. Berikut ini disajikan fungsi implikasinya dalam bentuk tabel:

Tabel 4.8 Fungsi Implikasi

Data Ke-	*Input*			MIN
	Jumlah Orang	Suhu	Kelembaban Relatif	
1.	0.94	0.71	0.62	0.62
2.	0.85	0.59	0.51	0.51
3.	0.82	0.50	0.68	0.50
4.	0.58	0.44	0.79	0.44
5.	0.50	0.41	0.75	0.41
6.	0.64	0.57	0.62	0.57
7.	0.76	0.72	0.51	0.51
8.	0.78	0.77	0.41	0.41
9.	0.94	0.75	0.34	0.34
10.	1.00	0.84	0.27	0.27

4.1.6. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah langkah terakhir dari proses *fuzzy* yaitu menentukan variabel *linguistik* putaran kipas sebagai keputusan dari setiap *rules* yang dibuat dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Pelan, memiliki nilai $0 < r \leq 1.0$
2. Normal, memiliki nilai $1.0 < r \leq 2.0$
3. Kencang, memiliki nilai $2.0 < r \leq 3.0$

Kemudian dengan menggunakan rumus rerata terbobot $(\widetilde{A}) = \frac{\sum_{i=1}^{m} b_i x_i}{\sum_{i=1}^{m} b_i}$, dimana x_i adalah pusat dari himpunan *fuzzy* $\tilde{A}$, sedangkan b_i adalah tinggi dari $(\widetilde{A})$, diperoleh keputusan sebagai berikut:

Putaran kipas $= [(3 \times 0.62) + (3 \times 0.51) + (2 \times 0.50) + (1 \times 0.44) + (1 \times 0.41) + (2 \times 0.57) + (3 \times 0.51) + (3 \times 0.41) + (3 \times 0.34) + (3 \times 0.27)]/(0.62 + 0.51 + 0.50 + 0.44 + 0.41 + 0.57 + 0.51 + 0.41 + 0.34 + 0.27) = 1.86 + 1.53 + 1.00 + 0.44 + 0.41 + 1.14 + 1.53 + 1.23 + 1.02 + 0.89 = 11.05/4.58 = 2.41.$

Hasil dari perhitungan manual diatas, maka diperoleh putaran kipas sebesar 2.41 radian/detik, sehingga kecepatan putaran kipas yang dihasilkan adalah kencang. Berdasarkan dari perhitungan manual diatas, maka diperoleh hasil yang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. 9 Perhitungan Manual

Data Ke-	*Input*			*Output*	
	Jumlah Orang	Suhu	Kelembaban Relatif	Numerik	Putaran Kipas
1.	55	29.6	78	1.86	Normal
2.	50	27.8	75	1.53	Normal
3.	48	26.5	80	1.00	Pelan
4.	35	25.6	83	0.44	Pelan
5.	30	25.2	82	0.41	Pelan
6.	38	27.6	78	1.14	Normal
7.	45	29.8	75	1.53	Normal
8.	46	30.5	72	1.23	Normal
9.	55	30.2	70	1.02	Normal
10.	58	31.6	68	0.89	Pelan

4.1.7. Automatisasi dan Perhitungan Simulasi Arduino Pada Proteus *Professional*

1. Pembuatan kodingan *fuzzy* pada *sketch* arduino IDE

   a. Memasukkan *library* sensor suhu dan kelembaban

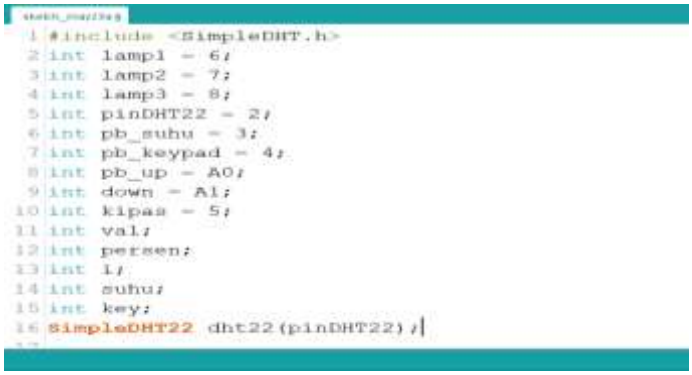
   Program *fuzzy* pada arduino IDE ditambahkan *library* sensor suhu dan kelembaban agar kodingan dapat dijalankan atau di-*running*. Sebelumnya, *library* dapat diunduh dari situs resmi arduino.cc ataupun dari situs *programmer* yang telah memiliki lisensi. *Library* ini dinamakan dengan “SimpleDHT.h” yang berisikan data-data koding terverifikasi pada *software* arduino IDE. Cara menambahkan library “SimpleDHT.h” yaitu dengan menuliskan “ #include ” sebelum *library* tersebut. Berikut ini tampilannya:

```
#include <SimpleDHT.h>



void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

}

void loop() {
```

Gambar 4.2 *Library* Sensor Suhu dan Kelembaban

b. Inisialisasi data *input* dan *output* pada pin arduino

Program *fuzzy* Sugeno ditambahkan *input* dan *output* sebagai objek yang akan dihitung inferesinya. Data *input* yang diinisialisasikan meliputi tiga objek, yaitu "i" sebagai jumlah orang yang disimulasikan oleh suatu saklar otomatis *push button*, sedangkan untuk objek "suhu" dan "kelembaban" disimulasikan dengan *hygrometer*. Dilain sisi, data *output* diinisialisasikan oleh satu objek, yaitu "putaran kipas" yang disimulasikan dengan kipas atau *fan*. Berikut ini tampilannya:



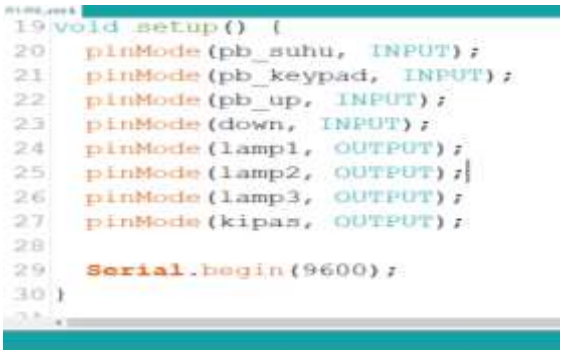
```
#include <SimpleDHT.h>
int lamp1 = 6;
int lamp2 = 7;
int lamp3 = 8;
int pinDHT22 = 2;
int pb_suhu = 3;
int pb_keypad = 4;
int pb_up = A0;
int down = A1;
int kipas = 5;
int val;
int persen;
int i;
int suhu;
int key;
SimpleDHT22 dht22(pinDHT22);
```

Gambar 4.3 Inisialisasi Data *Input* dan *Output*

c. Membuat program *void setup*

Berdasarkan fungsinya yang dijalankan hanya sekali, maka program *void setup* ditambahkan dua program, yaitu *input* dan *output.* Pada variabel

input meliputi “pb_suhu”, “pb_keypad” dan “pb_up” serta “pb_down”. Sedangkan di lain sisi, *output* meliputi “kipas”. Berikut ini tampilannya:



```
void setup() {
  pinMode(pb_suhu, INPUT);
  pinMode(pb_keypad, INPUT);
  pinMode(pb_up, INPUT);
  pinMode(down, INPUT);
  pinMode(lamp1, OUTPUT);
  pinMode(lamp2, OUTPUT);
  pinMode(lamp3, OUTPUT);
  pinMode(kipas, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);
}
```

Gambar 4.4 Program *Void Setup*

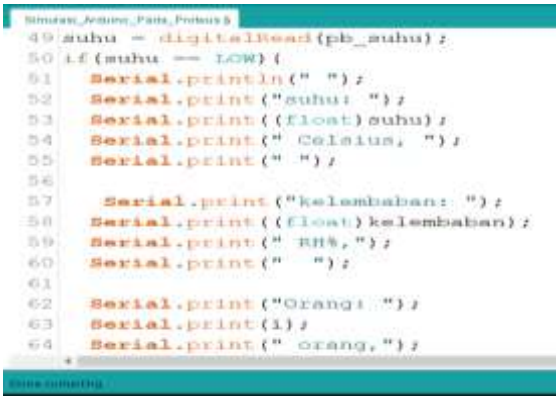
d. Membuat program *void loop*

Berdasarkan fungsinya yang dijalankan secara kontinu, maka program *void loop* ditambahkan beberapa program. Langkah pertama adalah pendefinisian kondisi “*High*” beserta *delay*-nya pada sensor DHT untuk suhu dan kelembaban. Berikut ini tampilannya:

```
void loop() {
  // start working...

//Serial.print ("---------- Read DHT22 Successfully ----------");
//Serial.println(" ");

 float suhu = 0;
  float kelembaban = 0;

  int err = SimpleDHTErrSuccess;
  if ((err = dht22.read2(&suhu, &kelembaban, NULL)) != SimpleDHTErrSuccess) {
     Serial.println(" ");
     Serial.print("Read DHT22 failed, error="); Serial.println(err); Serial.println(" ");
     delay(2000);
    return;
  }
```

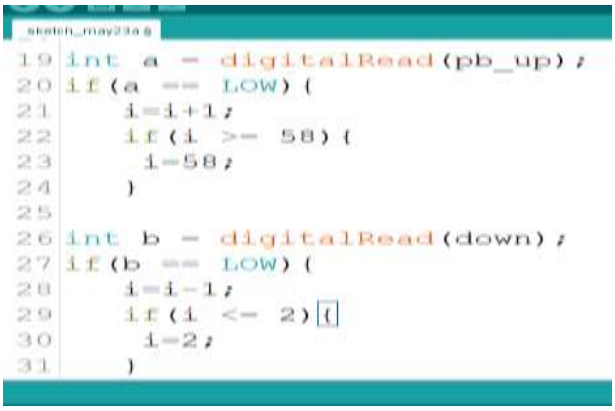
Gambar 4. 5 Kondisi “*High*” Pada Sensor DHT

Langkah kedua adalah pendefinisian kondisi “*Low*” beserta *delay*-nya pada sensor DHT untuk suhu dan kelembaban. Berikut ini tampilannya:



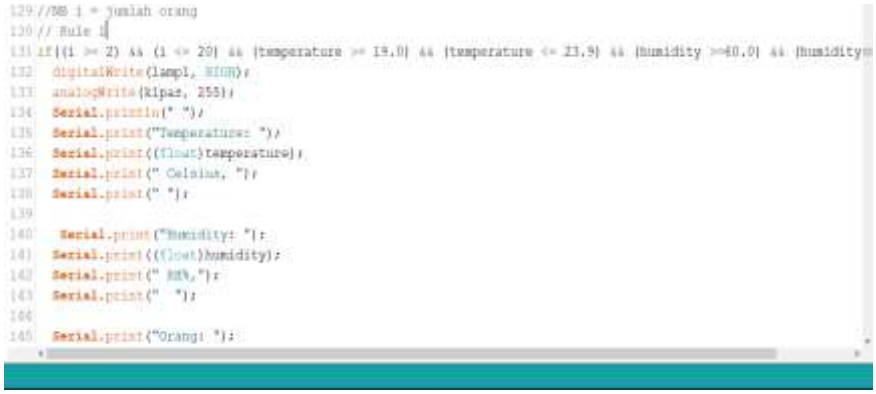
Gambar 4.6 Kondisi "*Low*" Pada Sensor DHT

Langkah ketiga, pendefinisian jumlah orang sesuai dengan *rule base* yaitu dalam kondisi minimal (*low*) yang berjumlah 2 orang dan maksimal (*high*) yaitu berjumlah 58 orang. Berikut ini tampilannya:



Gambar 4.7 Kondisi *Up* dan *Down* Pada Sensor *Push Button*

Langkah terakhir dalam pembuatan kodingan *fuzzy* pada *sketch* arduino IDE adalah pendefinisian *rule base*. Berdasarkan *rule base* dari perhitungan manual, *rule base fuzzy* berjumlah 27 *rules.* Pada kodingan ini terdiri dari pendefinisian "temperature" sebagai *input* dari suhu dan "humidity" sebagai *input* dari kelembaban. Berikut ini tampilannya:



Gambar 4.8 *Rule Base* Pada Arduino IDE

2. Mem*verify sketch* program arduino IDE yang telah selesai dikoding

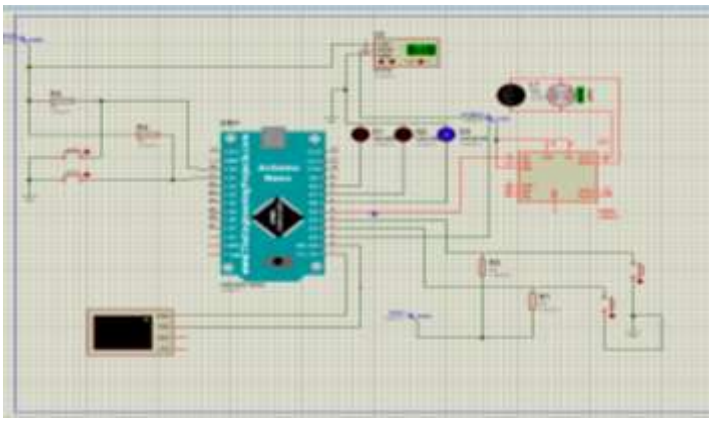
Sketch fuzzy yang telah selesai dikoding haruslah di-*save* terlebih dahulu dengan nama "Automatisasi *Fuzzy* Pada Arduino". Selanjutnya, *Sketch fuzzy* di-*verify* hingga menampilkan *file* .hex, berikut ini tampilannya:

Gambar 4.9 *Sketch Fuzzy* Telah Di-*verify*

3. Menggambar rangkaian simulasi *fuzzy* arduino pada proteus *professional*

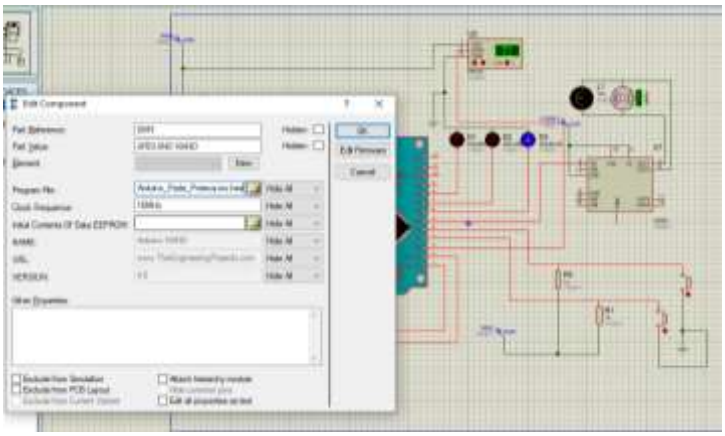
Simulasi rangkaian *fuzzy* pada *proteus professional* menggunakan beberapa komponen elektronika sebagai objeknya. Komponen *input* menggunakan saklar *push button* sebagai objek "jumlah orang", sensor DHT sebagai objek "suhu" dan "kelembaban". Sedangkan komponen *output* menggunakan *fan* sebagai objek dari "kipas". Agar rangkaian otomatis dapat berfungsi dengan baik, maka

ditambahkan beberapa komponen pendukung seperti *virtual terminal*, *lamp*, *LED*, *resistor*, VCC, *ground* dan L293D. Berikut ini tampilannya:



Gambar 4.10 Rangkaian *Fuzzy* Arduino Pada *Proteus Professional*

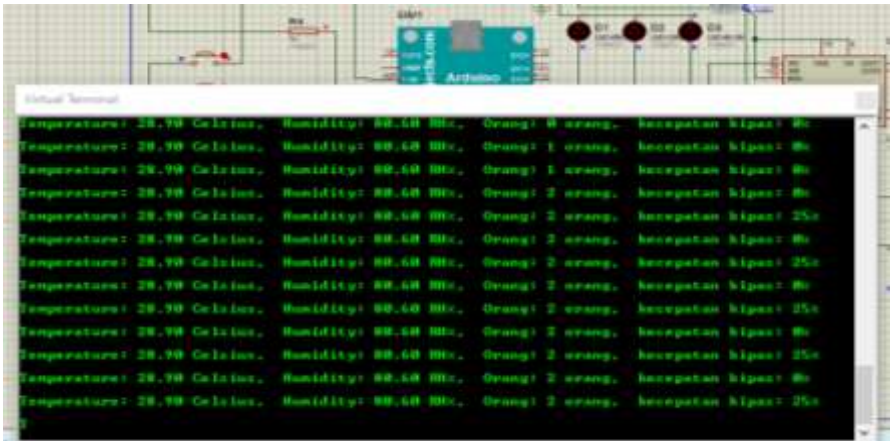
4. Salin *file* .hex kemudian masukkan ke dalam ruang penyimpanan komponen arduino pada rangkaian *proteus professional*



Gambar 4.11 *File* .hex dalam Rangkaian *Proteus Professional*

5. Me-*running sketch fuzzy* arduino pada *proteus professional*

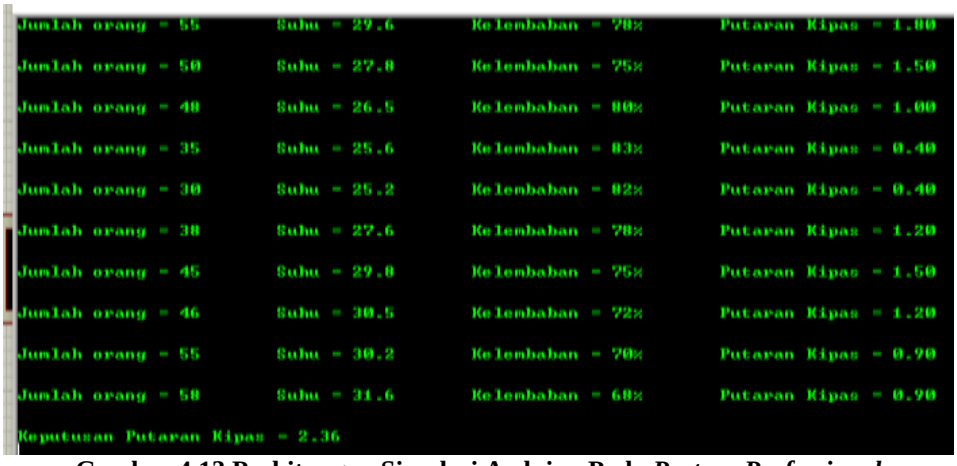
Rangkaian *fuzzy* arduino pada *proteus professional* yang telah dimasukkan *file* .hex selanjutnya di-*running* hingga muncul tampilan *input* dan *output* sesuai dengan nilai atau data yang dimasukkan. Berikut ini tampilannya:



Gambar 4.12 *Running Sketch Fuzzy* Arduino Pada *Proteus Professional*

6. Menghitung *fuzzy* Sugeno dengan menggunakan simulasi arduino pada *proteus professional*

Masukkan data yang diambil di dua tempat berbeda yaitu lima hari di Kota Malang pada tanggal 02-06 April 2022 dan lima hari di Kabupaten Kediri pada tanggal 26-30 April 2022. Agar kedua data tersebut lebih mudah disimulasikan, maka data digabung menjadi satu. Berikut hasil simulasinya:



Gambar 4.13 Perhitungan Simulasi Arduino Pada *Proteus Professional*

Berdasarkan dari simulasi *fuzzy* arduino pada *proteus professional* diatas, diperoleh hasil perhitungan secara otomatis yang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4.10 Hasil Simulasi Fuzzy Arduino Pada Proteus Professional

Data Ke-	*Input*			*Output*	
	Jumlah Orang	Suhu	Kelembaban	Numerik	Putaran Kipas
1.	55	29.6	78	1.80	Normal
2.	50	27.8	75	1.50	Normal
3.	48	26.5	80	1.00	Pelan
4.	35	25.6	83	0.40	Pelan
5.	30	25.2	82	0.40	Pelan
6.	38	27.6	78	1.20	Normal
7.	45	29.8	75	1.50	Normal
8.	46	30.5	72	1.20	Normal
9.	55	30.2	70	0.90	Pelan
10.	58	31.6	68	0.90	Pelan

4.1.8. Perhitungan MAPE dari Hasil Manual dan Simulasi Arduino

Dari tabel perhitungan fuzzy secara manual diperoleh nilai keputusan dari putaran kipas sebesar 2.41 radian/detik. Sedangkan nilai dari simulasi fuzzy arduino pada proteus professional menghasilkan keputusan putaran kipas sebesar 2.36 radian/detik. Sehingga untuk mengetahui keakuratan antara hasil manual dan simulasi arduino digunakan rumus MAPE untuk mengetahui besarnya error diantara keduanya yang disajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.11 MAPE dari Hasil Manual dan Hasil Simulasi Arduino

Data ke-	Putaran Kipas		Presentase *Error*
	Manual	Simulasi Pada Arduino	
1.	1.86	1.80	3.22
2.	1.53	1.50	1.96
3.	1.00	1.00	0.00
4.	0.44	0.40	9.09
5.	0.41	0.40	2.43
6.	1.14	1.20	5.26
7.	1.53	1.50	1.96
8.	1.23	1.20	2.43
9.	1.02	0.90	11.76
10.	0.89	0.90	1.12
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)			3.92

Berdasarkan perhitungan MAPE diatas, dari hasil perhitungan manual dan hasil simulasi pada arduino diperoleh *error* sebesar 3.92%. Hal ini dapat dijadikan indikator bahwa simulasi yang digunakan memiliki keakuratan yang sangat baik.

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan manual *fuzzy* diperoleh keputusan putaran kipas sebesar 2.41 radian/detik, sedangkan hasil dari simulasi *fuzzy* arduino IDE pada *software proteus professional* diperoleh keputusan putaran kipas sebesar 2.36 radian/detik. Dari kedua hasil perhitungan tersebut telah diuji keakuratannya menggunakan MAPE dan diperoleh *error* sebesar 3.92%. Sehingga hasil dari implementasi *fuzzy inference system* Sugeno berbasis arduino untuk pengendali suhu ruangan dikategorikan sangat baik.

5.2. Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan metode *fuzzy* yang lain agar diperoleh hasil yang berbeda dan dapat dijadikan bahan perbandingan dengan *fuzzy infernce system* Sugeno yang telah digunakan oleh penulis.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Qur'an dan Terjemahannya. (2019). Jakarta: Kementerian Agama RI

Amalia, Sitti dkk. (2020). Studi Pemodelan Sistem Pengontrolan Suhu Ruangan Berbasis Logika *Fuzzy* Sugeno. *Jurnal Sains dan Teknologi Vol. 20 No. 2*.

Devianto & Dwiasniati. (2020). Kerangka Kerja Sistem Kecerdasan Buatan dalam Meningkatkan Kompetensi Sumber Daya Manusia Indonesia. *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer, Vol.10 , 2020*, 19.

Erintafifah. (2021, Oktober). *Mengenal Perangkat Lunak Arduino* IDE. Retrieved Maret Rabu, 2022, from https://www.kmtech.id/post/mengenal-perangkat-lunak-arduino-ide

Kusumadewi, S., & Purnomo, H. (2004). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan.* Yogyakarta: Graha Ilmu.

M. Abdul Ghoffar, E.M, dkk. (2004). *Tafsir Ibnu Katsir*. Bogor: Imam Syafi'i.

Maria, dkk. (2017). Peningkatan Kompetensi Guru Dengan Pemanfaatan ICT Melalui Aplikasi Proteus di SMK Setia Budi Balikpapan. *Jurnal ADIMAS*.

Nasution, H. (2012). Implementasi Logika *Fuzzy* pada Sistem Kecerdasan Buatan. *Jurnal ELKHA Vol.4*, 1.

Pangaribowo, T. (2015). Perancangan Simulasi Kendali Valve Dengan Algoritma Logika *Fuzzy* Menggunakan Bahasa Visual Basic. *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana*.

Purnama, dkk. (2013). Keterkaitan Suhu dan Kelembaban Udara Ruang Penyimpanan Terhadap Kadar Air Jagung Pada Bangunan Penyimpanan (Studi Kasus Pada Gudang K.U.D di Desa Pringgasela Kecamatan Pringgasela).

Rahim, Ramli, dkk. (2016). Karakteristik Data Temperatur Udara dan Kenyamanan Termal di Makassar. *TEMU ILMIAH IPLBI*.

Sitio, S. M. (2018). Penerapan *Fuzzy* Inference System Sugeno untuk Menentukan Jumlah Pembelian Obat (Studi Kasus: Garuda Sentra Medika). *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, 104-106.

Susilo, F. (2006). *Himpunan dan Logika Kabur serta Aplikasinya* . Yogyakarta: Graha Ilmu.

Wati, D. (2011). *Sistem Kendali Cerdas.* Yogyakarta: Graha Ilmu.

Yulmaini. (2015). Penggunaan Metode *Fuzzy* Inference System (FIS) Mamdani dalam Pemilihan Peminatan Mahasiswa untuk Tugas Akhir. *Jurnal Informatika, Vol. 15*, 13-15.

LAMPIRAN

Lampiran 1. *Rule Base* simulasi arduino

```
// Rule 1
if((i >= 2) && (i <= 20) && (temperature >= 19.0) && (temperature <= 23.9)
&& (humidity >=60.0) && (humidity <=69.9)){
digitalWrite( lamp1, HIGH );
analogWrite( kipas, 255 );
Serial.println( " " );
Serial.print( "Temperature: " );
Serial.print((float)temperature);
Serial.print( " Celsius, " );
Serial.print( " " );
Serial.print( "Humidity: " );
Serial.print((float)humidity);
Serial.print( " RH%," );
Serial.print( "  " );

Serial.print( "Orang: " );
Serial.print(i);
Serial.print( "orang" );
Serial.print( "  " );

Serial.print( "kecepatan kipas: " );
Serial.println( "25%" );
delay(50);
}
else{
digitalWrite( lamp1, LOW );
analogWrite( kipas, 255 );
}
```

Lampiran 2. Program *Void Setup*

```
void setup{} {
  Serial.begin(9600);
  //Baris 1 tabel 1
  float data1 = 0.60*3;
  Serial.print( "Jumlah orang = 55" );
  Serial.print( "       " );
  Serial.print( "Suhu = 29.6" );
  Serial.print( "       " );
  Serial.print( "Kelembaban = 78%" );
  Serial.print( "       " );
  Serial.print( "Putaran Kipas = " );
  Serial.println( data1);
  Serial.println( " " );
  Serial.println( " " );
  }
```

Lampiran 3. Putusan Kipas

```
//Hitungan putusan kipas
float hitung = data1 + data2 + data3 + data4 + data5 + data6 + data7 + data8 +
data9 + data10;
float rata = hitung/4.58;
Serial.print( " Keputusan Putaran Kipas = " );
Serial.println(rata);
```

RIWAYAT HIDUP

Mochamad Rizal, biasa disapa Rizal, merupakan anak keempat dari enam bersaudara dari Ibu Siti Khotijah dan Bapak Mu'alim. Ia dilahirkan di Kabupaten Kediri pada tanggal 08 Februari 1998. Ia tinggal di Dusun Mondo Barat RT 009 / RW 003, Desa Mondo, Kecamatan Mojo, Kabupaten Kediri.

Penulis menempuh pendidikan mulai dari RA Kusuma Mulia dan lulus pada tahun 2004, selanjutnya menempuh pendidikan dasar di SD Negeri Mondo dan lulus pada tahun 2010 juga pada tahun yang sama melanjutkan pendidikan menengah pertama di MTs Negeri 1 Kota Kediri dan lulus pada tahun 2013. Ia melanjutkan pendidikan menengah atas di SMK Negeri 1 Kota Kediri dan lulus pada tahun 2016, pada tahun yang sama penulis melanjutkan jenjang pekerjaan di PT. Denso Indonesia hingga pada tahun 2017. Selanjutnya, pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang diterima pada Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi.

KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Mochamad Rizal
NIM : 18610090
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Matematika
Judul Skripsi :Implementasi Fuzzy Inference System Sugeno Berbasis Arduino Untuk Pengendali Suhu Ruangan
Pembimbing I : Evawati Alisah, M.Pd
Pembimbing II : Abdul Aziz, M.Pd

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	22 Februari 2022	Konsultasi Bab I, II dan III	1.
2	28 Februari 2022	Revisi I (Bab I, II dan III)	2.
3.	04 Maret 2022	Konsultasi Kajian Agama (Bab I)	3.
4.	08 Maret 2022	Revisi II (Bab I dan Bab II)	4.
5.	14 Maret 2022	Konsultasi Kajian Agama (Bab I dan Bab II)	5.
6.	23 Maret 2022	Konsultasi Kajian Agama (Bab I dan Bab II)	6.
7.	03 April 2022	ACC Bab I, II dan III	7.
8.	14 April 2022	ACC Kajian Agama (Bab I dan Bab II)	8.
9.	02 Mei 2022	Revisi III (Bab IV)	9.
10.	20 Mei 2022	Revisi IV (Bab IV & Konsultasi Bab V)	10.
11.	28 Mei 2022	ACC Bab IV dan Bab V	11.
12.	12 Juni 2022	ACC Seluruh Bab, Kajian agama dan Konsultasi Abstrak	12.
13.	22 Juni 2022	ACC Keseluruhan	13.

Malang, 20 Juni 2022
Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Elly Susanti, M.Sc
NIP.197411292000122005