

Sistem IoT Berbasis Fuzzy Inference Engine Untuk Penilaian Kualitas Udara Dalam Ruangan

Achmad Firman Choiri
Program Studi Teknologi Informasi,
Fakultas Sains dan Teknologi
(Institut Sains Dan Teknologi Terpadu
Surabaya)
Surabaya, Indonesia
mr.choiri55@gmail.com

Endang Setyati
Program Studi Teknologi Informasi,
Fakultas Sains dan Teknologi
(Institut Sains Dan Teknologi Terpadu
Surabaya)
Surabaya, Indonesia
endang@stts.edu

Francisca H. Chandra
Program Studi Teknologi Informasi,
Fakultas Sains dan Teknologi
(Institut Sains Dan Teknologi Terpadu
Surabaya)
Surabaya, Indonesia
fhc@stts.edu

Abstract— Decreased air quality is one of the factors that increase the likelihood of death from COVID-19 infection. There are many factors that affect air quality, this research carried out the development of an intelligent device of IoT-Fuzzy-based air quality measuring system. The device is equipped with various sensors that are able to monitor indoor air quality (IAQ). The device utilizes the Fuzzy Inference System as a breakthrough method that can determine conditions between 0 and 1. The Fuzzy Inference Engine in this study adopted the Mamdani method with specifications having 5 sensor input variables, namely the Ozon Sensor, PM2.5 Sensor, CO Sensor, CO2 Sensor, and VOC Sensor with each having 3 sets of fuzzy inputs except for the variable Ozon Sensor only has 2 fuzzy sets and 1 output variable by having 4 sets of fuzzy outputs according to the Air Purifier also has 4 output indicators. 20 rules are applied as decision-making rules in the AQI output. Testing was carried out by utilizing the Air Purifier as the Ground Truth. The test results show that the IoT-Fuzzy device can measure AQI with an error of 0.5 in the first test and an error of 0.2667 in the second test using MAE (Mean Absolute Error) calculations. (*Abstract*)

Keywords— *Fuzzy Inference Engine, IoT, Indoor Air Quality (IAQ)* (*key words*)

Abstrak— Penurunan kualitas udara merupakan salah satu faktor yang meningkatkan kemungkinan kematian akibat infeksi COVID-19. Ada banyak faktor yang mempengaruhi kualitas udara, penelitian ini melakukan pengembangan perangkat cerdas sistem pengukur kualitas udara berbasis IoT-Fuzzy. Perangkat dilengkapi dengan berbagai sensor yang mampu melakukan pemantauan kualitas udara dalam suatu ruangan. Perangkat memanfaatkan Fuzzy Inference System sebagai metode terobosan yang dapat menentukan kondisi diantara 0 dan 1. Fuzzy Inference Engine pada penelitian ini mengadopsi metode Mamdani dengan spesifikasi memiliki 5 variabel input sensor yaitu Sensor Ozon, Sensor PM2.5, Sensor CO, Sensor CO2 dan Sensor VOC dengan masing-masing memiliki 3 himpunan fuzzy input kecuali untuk variabel Sensor Ozon hanya memiliki 2 himpunan fuzzy dan 1 variabel output dengan memiliki 4 himpunan fuzzy output sesuai dengan Air Purifier juga memiliki 4 indikator output. Terdapat 20 rule yang diterapkan sebagai aturan pengambil keputusan pada output AQI. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan Air Purifier sebagai Ground Truth. Hasil pengujian menunjukkan perangkat IoT-Fuzzy dapat mengukur AQI dengan error sebesar 0.5 pada pengujian pertama dan error 0.2667 pada

pengujian kedua menggunakan perhitungan MAE (Mean Absolute Error). (*Abstrak*)

Keywords— *Fuzzy Inference Engine, IoT, kualitas udara dalam ruangan.*

PENDAHULUAN

Dalam dunia kesehatan kualitas udara menjadi peran penting dalam kedupan manusia di bumi, penurunan kualitas udara dalam suatu daerah yang padat transportasi maupun industri serta tidak sebanding dengan pertumbuhan ruang terbuka hijau / kawasan taman hijau khususnya pada wilayah perkotaan adalah menjadi salah satu penyebab yang dapat mempengaruhi kesehatan pernapasan manusia. Sehingga dapat menimbulkan beberapa penyakit salah satunya seperti serangan jantung, stroke, diabetes, dan tekanan darah tinggi [1]. Dalam hasil penelitian studi dari Harvard TH Chan School of Public Health, menemukan bahwa menghirup lebih banyak udara yang tercemar selama bertahun-tahun dapat memperburuk efek COVID-19 [2].

Indeks Kualitas Udara di Indonesia dikenal dengan Index Standar Pencemaran udara (ISPU) digunakan secara resmi sesuai dengan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : NOMOR P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara. [3] Dengan kondisi masa pandemi COVID-19 banyak sekali orang yang harusnya sadar dengan udara yang segar akan tetapi terkadang mengabaikan kualitas udara yang ada [3] dalam ruangan apakah masih layak untuk pernapasan manusia. Saat ini kualitas udara adalah sangat penting untuk dimonitoring maka dari itu masyarakat perlu untuk tetap menjaga kualitas kesehatannya untuk menurunkan tingkat resiko kematian akibat COVID-19 maupun dari penyakit lainnya yang berhubungan dengan gangguan pernapasan. [1]

Oleh karena itu, lingkungan hidup harus menggabungkan sistem pemantauan otomatis untuk memonitoring skenario kualitas udara yang tidak menguntungkan bagi kesehatan pernapasan. Dalam penelitian ini, kami telah mengembangkan kecerdasan Perangkat berbasis Sistem pengukur kualitas udara berbasis Internet of Things IoT-fuzzy dilengkapi beberapa sensor yang mampu untuk melakukan pemantauan kualitas udara dalam ruangan [4], [5], [6], [7], serta harga terjangkau. Logika fuzzy adalah metode

yang tepat untuk dapat memetakan nilai-nilai yang bersifat samar atau kabur diantara nilai 0 dan 1 yang dikenal dengan keanggotaan fuzzy. Berbeda dengan himpunan tegas yang hanya memiliki nilai 0 dan 1) dengan menggunakan metode Fuzzy model mamdani merupakan salah satu metode yang dapat digunakan pada proses pengambilan keputusan dan pada metode fuzzy inference ini memiliki kemampuan dalam menangani masalah yang dianggap sulit sekali untuk dapat didefinisikan dan mampu memodelkan fungsi non-linier. Sehingga dalam penelitian ini, aplikasi fuzzy model Mamdani diharapkan dapat membantu mengolah beberapa input dari sensor sehingga memberikan keputusan yang sesuai dan akurat.. Ada beberapa faktor fuzzy sering dipilih untuk digunakan yaitu, (1) Konsep logika fuzzy mudah dimengerti, dasar penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti. (2). sangat fleksibel. (3). memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat. (4). mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks. (5). Dapat dikombinasikan dengan teknik - teknik kendali secara konvensional.

Sebelumnya terdapat penelitian yang dilakukan dengan bidang yang sama. Penelitian pada jurnal [4], menjelaskan sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT menggunakan metode fuzzy set tipe-1 (T1FLS) dan kosenstrasi yang di ukur hanya kandungan CO, PM10 dan temperature & humidity menggunakan modul NodeMCU dan data pengukuran dikirimkan menggunakan google sheet dengan metode pengujian yang dipakai hanya melakukan pengukuran pada ruangan tertentu dengan membandingkan perbedaan data hasil pengukuran kandungan polusi pada masing masing ruangan.

Pada penelitian jurnal [5], menjelaskan sistem pengukuran kualitas udara didalam ruangan berbasis IoT menggunakan fuzzy inference dan konsentrasi yang di ukur adalah CO2, Partikel Udara dan suhu & Kelembaban dengan pengambilan data menggunakan smartphone kemudian data di kirim ke IoT Cloud AWS. kemudian data divisualisasikan secara grafik untuk di tampilkan kepada user.

Pada penelitian jurnal [6], menjelaskan sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan menggunakan metode fuzzy inference system dan kosenstrasi yang di ukur adalah kandungan CO, CO2, NO2, O3, PM 2.5, temperature dan humidity, menggunakan mikrokontroller sebagai kontrol dan data pengukuran dikirimkan melalui mikrokontroller dengan proses fuzzifikasi dan dapat mengeluarkan output berupa buzzer, LED, outlet, inlet exhaust dan fan berdasarkan kondisi tingkat polusi yang

diukur. pengujian yang dipakai melakukan pengukuran pada ruangan dan melakukan pembersihan udara atau membuang polusi disaat kondisi udara dalam ruangan dalam kategori buruk.

Pada penelitian jurnal [7], menjelaskan sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT menggunakan metode fuzzy inference system dan kosenstrasi yang di ukur adalah kandungan CO2, dan PM10, menggunakan Raspberry Pi3 dan Arduino Uno sebagai kontrol. dan data pengukuran dikirimkan melalui arduino uno kemudian diteruskan ke Raspberry Pi3. Setelah proses fuzzifikasi data dibandingkan dengan rule yang dibuat sehingga dapat mengeluarkan output berupa fan berdasarkan kondisi tingkat polusi yang diukur. pengujian yang dipakai melakukan pengukuran pada ruangan dan melakukan aktivasi fan untuk membuang polusi disaat kondisi udara dalam ruangan dalam kategori buruk kemudian data dikirimkan ke Cloud Server.

Pada penelitian jurnal [8], menjelaskan sistem pengukuran kualitas udara diluar ruangan berbasis IoT menggunakan metode fuzzy inference system dan kosenstrasi yang di ukur adalah Oksigen, Asap, Sensor Partikel Debu, Gas dan Suhu & Kelembaban, menggunakan Arduino Uno sebagai kontrol proses fuzzifikasi. pengujian yang dilakukan berupa pengukuran konsentrasi dibandingkan dengan alat ukur konvensional untuk mendapatkan hasil yang akurat kemudian data dikirimkan ke Cloud Server.

Pada penelitian jurnal [9], menjelaskan sistem pengukuran detak jantung dengan memanfaatkan pengukuran kualitas udara berbasis IoT menggunakan metode fuzzy inference dan kosenstrasi yang di ukur adalah Air Quality, Detak Jantung, dan Suhu, menggunakan NodeMCU sebagai kontrol proses fuzzifikasi dan koneksi ke internet. ThingSpeak sebagai Cloud Server yang digunakan untuk menampung data yang dikirimkan oleh NodeMCU. Pengujian hanya dilakukan dengan menampilkan nilai yang ada pada website thingspeak sebagai hasil pengukuran yang dilakukan.

Pada penelitian jurnal [10], sistem pengukuran kualitas udara menggunakan arduino Uno. Sensor yang digunakan adalah MQ135, MQ7, MQ3 sebagai sensor gas dan pengujian dilakukan jika pengukuran di LCD menunjukkan nilai diatas 1000 maka buzzer akan berbunyi sekali dan LCD menampilkan “Udara Jelek”. Sedangkan jika nilai menunjukkan diatas 2000 maka buzzer akan terus berbunyi dan LCD menampilkan “Berbahaya”

TABEL I. PERBANDINGAN HASIL PENELITIAN SEBELUMNYA

Nama Peneliti / Tahun	Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
M. Zareb, B. Bakhti, Y. Bouzid, C. E. Batista, I. Ternifi, and M. Abdenour/2021	An Intelligent IoT Fuzzy Based Approach for Automated Indoor Air Quality Monitoring	Membuat perangkat IoT-Based AQM (Air Quality Monitoring) dan upload data pengukuran kualitas udara dalam ruangan ke google sheet.	Sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT, yang di ukur CO (MQ7), PM10 dan temperature & humidity, NodeMcu	Penelitian tersebut menggunakan metode fuzzy set tipe-1 (T1FLS) dan pada penelitian ini menggunakan metode Fuzzy Inference model Mamdani dan cloud server yang digunakan juga berbeda.

TABEL I. (LANJUTAN)

Nama Peneliti / Tahun	Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
B. W. Dionova, M. N. Mohammed, S. Al-Zubaidi, and E. Yusuf /2020	Environment indoor air quality assessment using fuzzy inference system	Sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan menggunakan metode fuzzy inference system, mikrokontroler sebagai kontrol dan data pengukuran dikirimkan melalui mikrokontroler dengan proses fuzzifikasi dan dapat mengeluarkan output berupa buzzer, LED, outlet, inlet exhaust dan fan berdasarkan kondisi tingkat polusi yang diukur	Sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan, menggunakan metode fuzzy inference system dan konsentrasi yang diukur adalah kandungan CO, CO ₂ , O ₃ , PM 2.5, temperature dan humidity	Penelitian tersebut memiliki tambahan kandungan konsentrasi yang diukur yaitu NO ₂ , dan dapat mengeluarkan output berupa buzzer, LED, outlet, inlet exhaust dan fan, Sedangkan pada penelitian ini hanya mengeluarkan output buzzer saja sebagai penanda dan menggunakan Internet of Things
F. Pradityo and N. Surantha	Indoor air quality monitoring system with fuzzy logic control based on IOT	Sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT menggunakan metode fuzzy inference system, menggunakan Raspberry Pi3 dan Arduino Uno sebagai kontrol. dan data pengukuran dikirimkan melalui arduino uno kemudian diteruskan ke Raspberry Pi3, fuzzifikasi data dibandingkan dengan rule yang dibuat sehingga dapat mengeluarkan output berupa fan.	Sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT menggunakan metode fuzzy inference system dan konsentrasi yang diukur adalah kandungan CO ₂ , dan PM10	Penelitian tersebut menggunakan Raspberry Pi3 dan Arduino Uno sebagai kontrol, dengan memiliki output berupa fan. Sedangkan pada penelitian ini hanya mengeluarkan output buzzer saja sebagai penanda dan menggunakan Internet of Things
J. Prayudha, A. Pranata, and A. Al Hafiz	Implementasi Metode Fuzzy Logic Untuk Sistem Pengukuran Kualitas Udara Di Kota Medan Berbasis Internet of Things (IoT).	Sistem pengukuran kualitas udara diluar ruangan berbasis IoT menggunakan metode fuzzy inference system, menggunakan Arduino Uno sebagai kontrol proses fuzzifikasi dan ESP untuk koneksi ke jaringan internet untuk pengiriman data ke webserver.	Sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT, menggunakan metode fuzzy inference system, konsentrasi yang diukur adalah Oksigen, Asap, Sensor Partikel Debu, Gas dan Suhu & Kelembaban, kemudian data dikirimkan ke Cloud Server.	Penelitian tersebut menggunakan arduino uno dan ESP, serta konsentrasi nilai yang diukur tidak diketahui jenis gas dan sensor apa saja. Sedangkan pada penelitian ini dapat diketahui jenis sensor dan apa saja kandungan yang diukur dalam udara. dan Cloud server yang digunakan juga berbeda.
V. K. S and R. Rayappa Neeralagi	IoT based Health Monitoring using Fuzzy logic	Sistem pengukuran detak jantung dengan memanfaatkan pengukuran kualitas udara berbasis IoT menggunakan metode fuzzy inference dengan menggunakan NodeMCU sebagai kontrol proses fuzzifikasi dan koneksi ke internet	Terdapat sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT, menggunakan metode fuzzy inference system, dan menggunakan NodeMCU 8266 sebagai controller	Penelitian tersebut terfokus terhadap monitoring kesehatan. Dan hanya 1 sensor gas yang digunakan sebagai pengukuran kualitas udara sedangkan pada penelitian ini menggunakan multi sensor dan Cloud server yang digunakan juga berbeda.
A. S. Patil, N. D. Chougale, and G. A. Mule	Air Quality Monitoring System Using Arduino	Sistem pengukuran kualitas udara menggunakan arduino Uno, pengujian dilakukan menghasilkan output berupa buzzer dan data pengukuran di tampilkan ke LCD	Sistem pengukuran kualitas udara, menggunakan sensor MQ135, MQ3 dan MQ7. Dan menggunakan platform arduino sebagai kontrollemnya.	Penelitian tersebut tidak menggunakan metode fuzzy dan tidak menggunakan Internet of Things hanya menampilkan data yang diukur ke LCD.
J. Jo, B. Jo, J. Kim, S. Kim, and W. Han	Development of an IoT-Based indoor air quality monitoring platform	Sistem pengukuran kualitas udara berbasis IoT, memiliki 3 kondisi yaitu <i>Good</i> , <i>Moderate</i> , dan <i>Poor</i> .	Sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT, dan konsentrasi kandungan udara yang diukur yaitu Dust, Smoke, CO, CO ₂ dan Temperatur & Humidity.	Penelitian tersebut tidak menggunakan metode seperti pada penelitian ini, data pengukuran langsung dikirim ke cloud karena tidak ada LCD untuk menampilkannya dan perangkat yang digunakan tidak dijelaskan menggunakan modul apa dan Cloud server yang digunakan juga berbeda.
X. Lai, T. Yang, Z. Wang, and P. Chen	IoT implementation of Kalman Filter to improve accuracy of air quality monitoring and prediction	Sistem Pengukuran kualitas udara berbasis IoT dengan melakukan implementasi algoritma Kalman Filter untuk mengetahui tingkat error terhadap MSE, RMSE dan MAE	Sistem pengukuran kualitas udara berbasis IoT, MAE digunakan sebagai salah satu perhitungan untuk mencari nilai error dan sensor yang digunakan adalah laser Dust Sensor dan Gas Sensor.	Pernelitian tersebut menggunakan metode Kalman Filter dan modul & sensor yang digunakan tidak sama dengan penelitian ini dan Cloud server yang digunakan juga berbeda.

Pada penelitian ini mengacu pada referensi dengan membuat sistem pengukuran kualitas udara berbasis IoT dalam ruangan dengan memilih Sensor Ozon, PM2.5, CO, CO₂ dan VOC dan DHT-22 sebagai sensor suhu & kelembaban. Dengan fuzzy inference model Mamdani yang digunakan sebagai metode pengambil keputusan. Perangkat yang digunakan adalah Arduino Due sebagai processing

sensor input dan proses fuzzifikasi, sedangkan modul Node MCU8266 digunakan untuk mengirimkan data ke cloud IoT thingger.io dengan koneksi jaringan wifi. Proses pengujian dilakukan didalam ruangan untuk mengukur konsentrasi kandungan udara dengan melakukan perbandingan berdasarkan ground truth yaitu air purifier. Air purifier dapat mendeteksi udara sangat baik sampai sangat buruk dan dapat

membersihkan udara dalam ruangan dalam waktu tertentu berdasarkan banyaknya polusi yang tercemar. Hasil nilai pengujian perangkat IoT-Fuzzy akan dibandingkan dengan output Air Purifier apakah tingkat akurasi masih dalam kategori akurat atau tidak. Oleh karena itu dengan menggunakan perhitungan MAE hasil pengujian IoT-Fuzzy yang dibandingkan dengan hasil Output data Air Purifier untuk mencari tingkat error akan dapat diketahui. Dan data monitoring kualitas udara dalam ruangan dapat di lihat secara realtime melauai cloud Thingger.io dan dapat diakses oleh user dari berbagai device seperti pada “ Fig.12”. Dengan memonitoring kualitas udara dalam ruangan perangkat ini dapat digunakan dalam skala rumah, kantor, industri, serta ruangan ruangan yang perlu monitoring udara segar.

Air Quality Index (AQI) US adalah indeks EPA untuk melaporkan kualitas udara. AQI sebagai tolak ukur dengan rentang nilai mulai 0 hingga 500. Jika nilai AQI semakin tinggi, maka sebanding dengan tingkat polusi udara dan tingkat masalah pada kesehatan manusia juga akan semakin tinggi. Misalnya, nilai AQI 50 atau di bawahnya menunjukkan kualitas udara yang baik, sedangkan nilai AQI di atas 300 menunjukkan kualitas udara berbahaya.[13]

TUJUAN & MANFAAT

Beberapa tujuan dalam penelitian ini diantaranya apakah Metode Fuzzy dengan model mamdani dapat dipakai sebagai suatu metode pendukung keputusan untuk memilih suatu rule dengan tepat dan akurat. Membuat suatu sistem pengukur kualitas udara berbasis Internet of Things IoT-fuzzy dengan beberapa input variabel dari sensor. Sebagai informasi dan monitoring data secara realtime. Menbandingkan perangkat IoT-Fuzzy dengan Air Purifier.

Sedangkan manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini mendapatkan hasil pengukuran yang lebih akurat, pengukuran kualitas udara dalam ruangan dan monitoring kualitas udara dapat dilakukan secara online dan real-time Sebagai media informasi dan edukasi terhadap masyarakat dalam membedakan kualitas udara yang baik sampai berbahaya. Sehingga dapat bermanfaat untuk menambah wawasan bahwa pentingnya menjaga kesehatan dan dapat meningkatkan kesadaran terhadap bahaya polusi yang membahayakan tubuh. Dapat dijadikan sebagai warning sistem sehingga penanganan polusi dalam ruangan bisa tetap terpantau dan terjaga setiap waktu.

METODE PENELITIAN

Pada metode ini adalah sebagai tahapan dalam proses penelitian sebagai berikut:

A. Perumusan Masalah

Masalah-masalah yang sudah didefinisikan kemudian mencari beberapa argumen dari berbagai sumber yang relevan dan dapat digunakan sebagai acuan dengan tujuan mencari keterkaitan tentang masalah yang satu dengan lainnya. Sehingga dapat ditemukan titik terang dari solusi yang akan diambil.

B. Pengumpulan Data Observasi

Mengumpulkan datasheet – datasheet setiap komponen yang mendukung dalam proses kerja sistem. Hal ini dimaksudkan untuk mencari standart nilai yang dimiliki setiap variable sehingga dengan dasar acuan tersebut dapat memudahkan pengambilan data data selanjutnya. Serta mencari berbagai sumber penelitian dan sumber lain sebagai pendukung penelitian sebagai tinjauan pustaka dan teori.

C. Analisa Sistem Fuzzy

Melakukan analisa dan simulasi sistem fuzzy terhadap beberapa paper atau sumber rujukan yang akan digunakan sebagai pendukung keputusan dalam penelitian ini dengan membandingkan dengan setiap ujicoba sebelumnya. apakah sistem sudah siap diterapkan kepada sistem atau tidak sehingga hasilnya dapat diaplikasikan seperti yang sudah diharapkan.

D. Perancangan Sistem Fuzzy

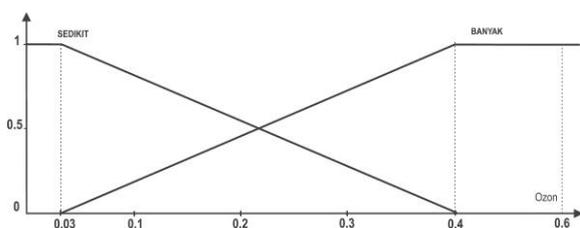
Melakukan perancangan komponen fuzzifikasi pada pembentukan variabel dan himpunan fuzzy setiap variabe seperti pada tabel II.

TABEL II. VARIABEL DAN HIMPUNAN FUZZY

Variabel	Himpunan	Domain
Sensor Ozon	Sedikit	[0, 0, 0.03, 0.4]
	Banyak	[0.03, 0.4, 0.63, 0.87]
Sensor PM2.5	Sedikit	[-60, -30, 3, 7]
	Sedang	[3, 7, 15, 21]
Sensor CO	Banyak	[16.5, 21, 30, 75]
	Sedikit	[0, 0, 10, 15]
	Sedang	[12, 15, 18]
Sensor CO2	Banyak	[15, 20, 100, 150]
	Sedikit	[0, 0, 45, 55]
	Sedang	[45, 55, 65]
Sensor VOC	Banyak	[55, 70, 150, 150]
	Sedikit	[0, 0, 44, 55]
	Sedang	[45, 55, 65]
Output AQI	Banyak	[55, 70, 100, 136]
	Sangat Baik	[0, 0, 5, 20]
	Baik	[13, 20, 30]
	Buruk	[20, 30, 40]
	Sangat Buruk	[30, 50, 101, 128]

Langkah selanjutnya adalah pembentukan fungsi keanggotaan input pada masing-masing variabel memiliki 3 himpunan fuzzy input yaitu SEDIKIT, SEDANG dan BANYAK kecuali untuk variabel Sensor Ozon hanya memiliki 2 himpunan fuzzy yaitu SEDIKIT dan BANYAK dan 1 variabel output dengan memiliki 4 himpunan fuzzy output yaitu SANGAT BAIK, BAIK, BURUK, dan SANGAT BURUK sesuai dengan Air Purifier juga memiliki 4 indikator output. Berikut ini adalah bentuk dari variabel input dan output fuzzy:

- Sensor Ozon



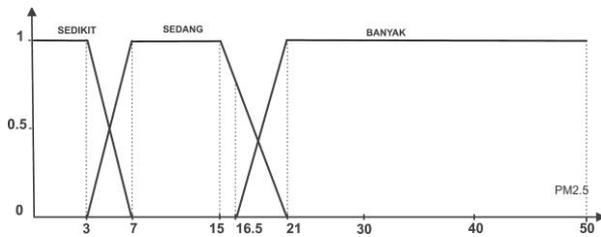
Gambar. 1. Fungsi Keanggotaan Sensor Ozon

Maka pembentukan fungsi keanggotaan Sensor Ozon adalah seperti pada tabel III berikut :

Tabel III. FUNGSI KEANGGOTAAN SENSOR OZON

Himpunan	Fungsi Keanggotaan
$\mu_{aSedikit}(x)$	$\{(1; (0.4 - x) / (0.4 - 0.03); 0); x \leq 0.03, 0.03 \leq x \leq 0.4, x \geq 0.4\}$ (1)
$\mu_{aBanyak}(x)$	$\{(0; (x - 0.03) / (0.4 - 0.03); 1); x \leq 0.4, 0.03 \leq x \leq 0.4, x \geq 0.4\}$ (2)

- Sensor PM2.5



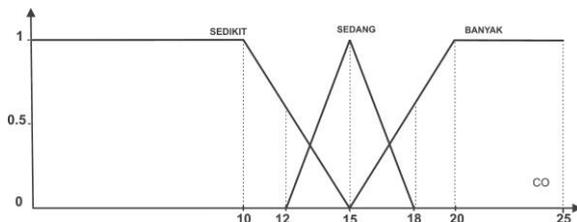
Gambar. 2. Fungsi Keanggotaan Sensor PM2.5

Maka pembentukan fungsi keanggotaan Sensor PM2.5 adalah seperti pada tabel IV berikut :

Tabel IV. FUNGSI KEANGGOTAAN SENSOR PM2.5

Himpunan	Fungsi Keanggotaan
$\mu_{bSedikit}(x)$	$\{(1; (7 - x)/(7 - 3); 0); x \leq 3, 3 \leq x \leq 7, x \geq 7\}$ (3)
$\mu_{bSedang}(x)$	$\{(0; (x-3)/(7 - 3); 1; (21-x)/(21 - 15)); x \leq 3 \text{ atau } x \geq 21, 3 \leq x \leq 7, 7 \leq x \leq 15, 15 \leq x \leq 21\}$ (4)
$\mu_{bBanyak}(x)$	$\{(0; (x-16.5)/(21 - 16.5); 1); x \leq 16.5, 16.5 \leq x \leq 21, x \geq 21\}$ (5)

• Sensor CO



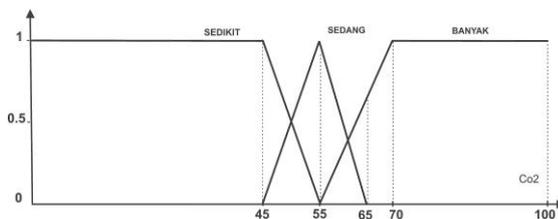
Gambar. 3. Fungsi Keanggotaan Sensor CO

Maka pembentukan fungsi keanggotaan Sensor CO adalah seperti pada tabel V berikut :

Tabel V. FUNGSI KEANGGOTAAN SENSOR CO

Himpunan	Fungsi Keanggotaan
$\mu_{cSedikit}(x)$	$\{(1; @ (15 - x)/(15 - 10); 0); x \leq 10, 10 \leq x \leq 15, x \geq 15\}$ (6)
$\mu_{cSedang}(x)$	$\{(0; (x-12)/(15 - 12); (18-x)/(18 - 15)); x \leq 12 \text{ atau } x \geq 18, 12 \leq x \leq 15, 15 \leq x \leq 18\}$ (7)
$\mu_{cBanyak}(x)$	$\{(0; (x-15)/(20 - 15); 1); x \leq 15, 15 \leq x \leq 20, x \geq 20\}$ (8)

• Sensor CO2



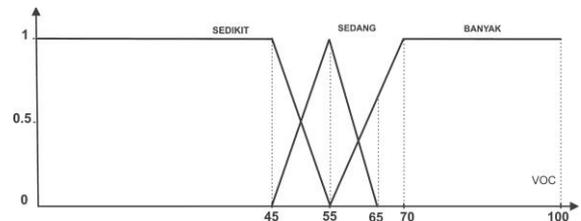
Gambar. 4. Fungsi Keanggotaan Sensor CO2

Maka pembentukan fungsi keanggotaan Sensor CO2 adalah seperti pada tabel VI berikut :

Tabel VI. FUNGSI KEANGGOTAAN SENSOR CO2

Himpunan	Fungsi Keanggotaan
$\mu_{dSedikit}(x)$	$\{(1; (55 - x)/(55 - 45); 0); x \leq 45, 45 \leq x \leq 55, x \geq 55\}$ (9)
$\mu_{dSedang}(x)$	$\{(0; (x-45)/(55 - 45); (65-x)/(65 - 55)); x \leq 45 \text{ atau } x \geq 65, 45 \leq x \leq 55, 55 \leq x \leq 65\}$ (10)
$\mu_{dBanyak}(x)$	$\{(0; (x-55)/(70 - 55); 1); x \leq 55, 55 \leq x \leq 70, x \geq 70\}$ (11)

• Sensor VOC



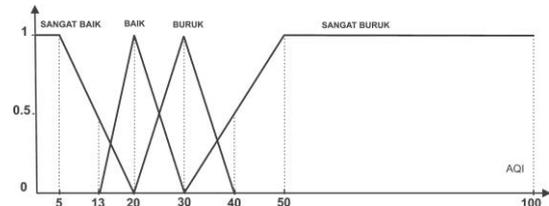
Gambar. 5. Fungsi Keanggotaan Sensor VOC

Maka pembentukan fungsi keanggotaan Sensor VOC adalah seperti pada tabel VII berikut :

Tabel VII. FUNGSI KEANGGOTAAN SENSOR VOC

Himpunan	Fungsi Keanggotaan
$\mu_{eSedikit}(x)$	$\{(1; (55 - x)/(55 - 45); 0); x \leq 45, 45 \leq x \leq 55, x \geq 55\}$ (12)
$\mu_{eSedang}(x)$	$\{(0; (x-45)/(55 - 45); (65-x)/(65 - 55)); x \leq 45 \text{ atau } x \geq 65, 45 \leq x \leq 55, 55 \leq x \leq 65\}$ (13)
$\mu_{eBanyak}(x)$	$\{(0; (x-55)/(70 - 55); 1); x \leq 55, 55 \leq x \leq 70, x \geq 70\}$ (14)

• Output AQI



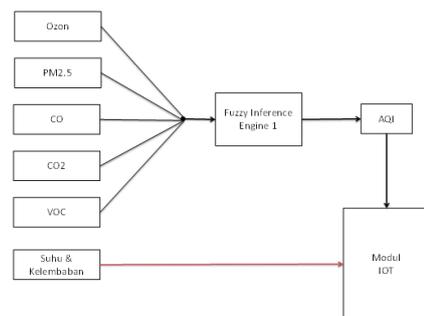
Gambar. 6. Fungsi Keanggotaan Output AQI

Maka pembentukan fungsi keanggotaan Output AQI adalah seperti pada tabel VIII berikut :

Tabel VIII. FUNGSI KEANGGOTAAN OUTPUT AQI

Himpunan	Fungsi Keanggotaan
$\mu_{aSangatBaik}(x)$	$\{(1; (20 - x)/(20 - 5); 0); x \leq 5, 5 \leq x \leq 20, x \geq 20\}$ (15)
$\mu_{aBaik}(x)$	$\{(0; (x-13)/(20 - 13); (30 - x)/(30 - 20)); x \leq 13 \text{ atau } x \geq 30, 13 \leq x \leq 20, 20 \leq x \leq 30\}$ (16)
$\mu_{aBuruk}(x)$	$\{(0; (x-20)/(30 - 20); (40-x)/(40 - 30)); x \leq 20 \text{ atau } x \geq 40, 20 \leq x \leq 30, 30 \leq x \leq 40\}$ (17)
$\mu_{aSangatBuruk}(x)$	$\{(0; (x-30)/(50 - 30); 1); x \leq 30, 30 \leq x \leq 50, x \geq 50\}$ (18)

Proses selanjutnya adalah pembentukan desain fuzzy seperti pada "Fig. 3" sesuai dengan spesifikasi yang dijelaskan pada tabel I. Desain rancangan Fuzzy terdiri dari 6 input, 5 input Fuzzy yaitu Sensor Ozon, PM2.5, CO, CO2 dan VOC dan 1 input non-Fuzzy DHT-22 serta AQI Sebagai Outputnya, Modul IOT adalah modul yang digunakan untuk menjalankan program program yang mengadopsi sistem fuzzy Inference.



Gambar. 7. Desain Fuzzy Inference Engine

Maka berdasarkan beberapa kategori yang mengacu pada Air Quality Index (AQI) [13] dapat dibentuk aturan berupa rule yang akan diaplikasikan pada Sistem IoT-Fuzzy terdiri dari 20 rule sebagai berikut:

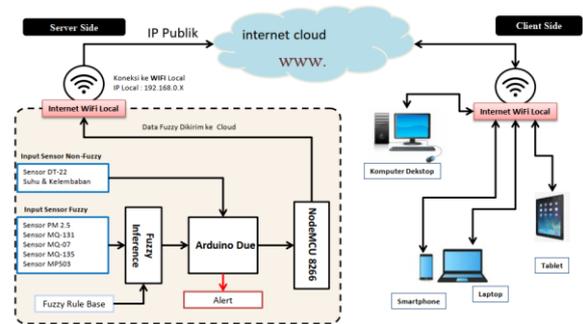
- R[1] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedikit) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Sedikit) AND (VOC is Sedikit) THEN (AQI is Sangat Baik)
- R[2] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedikit) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Sedikit) AND (VOC is Sedang) THEN (AQI is Sangat Baik)
- R[3] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedikit) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Sedang) THEN (AQI is Sangat Baik)
- R[4] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedikit) AND (CO is Sedang) AND (CO2 is Sedikit) AND (VOC is Sedang) THEN (AQI is Baik)
- R[5] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedikit) AND (CO is Sedang) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Sedikit) THEN (AQI is Baik)
- R[6] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedikit) AND (CO is Sedang) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Sedang) THEN (AQI is Buruk)
- R[7] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedikit) AND (CO is Sedang) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Banyak) THEN (AQI is Buruk)
- R[8] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedang) AND (CO is Sedang) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Sedang) THEN (AQI is Buruk)
- R[9] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedang) AND (CO is Banyak) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Sedang) THEN (AQI is Sangat Buruk)
- R[10] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Banyak) AND (CO is Banyak) AND (CO2 is Banyak) AND (VOC is Banyak) THEN (AQI is Sangat Buruk)
- R[11] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedang) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Sedang) THEN (AQI is Baik)
- R[12] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedikit) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Banyak) THEN (AQI is Baik)
- R[13] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedikit) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Sedikit) AND (VOC is Banyak) THEN (AQI is Sangat Baik)
- R[14] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedikit) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Banyak) THEN (AQI is Baik)
- R[15] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedang) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Banyak) AND (VOC is Banyak) THEN (AQI is Baik)
- R[16] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedang) AND (CO is Sedang) AND (CO2 is Banyak) AND (VOC is Banyak) THEN (AQI is Sangat Buruk)
- R[17] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedikit) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Sedikit) THEN (AQI is Sangat Baik)
- R[18] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Banyak) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Sedang) THEN (AQI is Buruk)
- R[19] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedang) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Sedikit) AND (VOC is Sedikit) THEN (AQI is Sangat Baik)
- R[20] IF (Ozon is Banyak) AND (PM2.5 is Banyak) AND (CO is Banyak) AND (CO2 is Banyak) AND (VOC is Banyak) THEN (AQI is Sangat Buruk)

E. Perancangan Hardware dan Software

Melakukan perancangan pada modul IoT mulai dari perancangan hardware dan software, pada “Fig. 8” berikut ini adalah gambaran secara umum yang dapat diterapkan dengan metode Fuzzy Inference Engine.

Daerah didalam garis putus-putus adalah Perancangan sistem IoT terdapat 5 sensor input fuzzy dan 1 sensor input non-fuzzy. dan menggunakan Arduino due [14] sebagai pengolahan data dan proses fuzzifikasi didalamnya.

Kemudian di koneksikan dengan NodeMCU8266 sebagai modul IoT untuk dapat terkoneksi ke internet melalui jaringan wifi[8][9][4][10].



Gambar. 8. Gambaran Sistem IoT-Fuzzy

Selanjutnya, data dikirimkan melalui jaringan internet wifi ke server cloud agar dapat diakses oleh user untuk monitoring kualitas udara dalam ruangan.

F. Pengujian

Rencana pengujian yang akan dilakukan terhadap beberapa ruangan untuk mencari kosentrasi kandungan udara yang terkandung. Dengan menggunakan Air purifier sebagai Ground Truth atau pembanding. Proses pengukuran dilakukan dengan cara mengamati kondisi awal udara Sangat Baik sampai kondisi udara mengalami peningkatan polusi dan pengukuran akan di anggap selesai jika sistem IoT-Fuzzy dan Air Purifier kembali menunjukkan indikator Sangat Baik sehingga pengujian dapat memperoleh data tingkat perbedaan indikator terhadap perbedaan kandungan udara yang ada dalam ruangan tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan proses fuzzifikasi dari beberapa variabel input dan output yang sudah ditentukan sebagai monitoring Air Quality Index pada udara didalam ruangan. Contoh data yang pilih diambil dari data random pada tabel IX yang digunakan dalam contoh pembahasan kasus pembacaan sensor pada ruangan.

Tabel IX. DATA KASUS NILAI INPUT FUZZY

Ozon	PM2.5	CO	CO2	VOC	AQI
0.02	7.00	8.03	61.73	60.00	21.26 Baik

A. Menghitung Himpunan pada Variabel Input

Proses perhitungan secara matematis dilakukan dengan menggunakan rumus pada tabel III untuk mencari derajat keanggotaan pada masing-masing himpunan terhadap variabel input sensor fuzzy. Maka hasilnya seperti pada tabel X berikut ini.

Tabel X. DERAJAT KEANGGOTAAN NILAI INPUT FUZZY

Variabel	Himpunan Fuzzy	Derajat Keanggotaan $\mu(x)$
Ozon	$\mu_{aSedikit}(0.01)$	1
	$\mu_{bSedikit}(7.00)$	0
PM2.5	$\mu_{bSedang}(7.00)$	1
	$\mu_{cSedikit}(8.03)$	1
CO2	$\mu_{dSedang}(61.73)$	0.327
	$\mu_{dBanyak}(61.73)$	0.448
VOC	$\mu_{eSedang}(60.00)$	0.5
	$\mu_{eBanyak}(60.00)$	0.33

B. Penerapan Operator Fuzzy

Kemudian menerapkan perhitungan metode MAX fungsi dengan implikasi pada rule menggunakan fungsi MIN.

R[11] IF (Ozon is Sedikit) AND (PM2.5 is Sedang) AND (CO is Sedikit) AND (CO2 is Sedang) AND (VOC is Sedang) THEN (AQI is Baik)

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= \min(\mu_{\text{Sedikit}}(0.01), \mu_{\text{Sedang}}(7.00), \\ &\quad \mu_{\text{Sedikit}}(8.03), \mu_{\text{Sedang}}(61.73), \\ &\quad \mu_{\text{Sedang}}(60.00)) \\ &= \min(1, 1, 1, 0.327, 0.5) \\ &= 0.327 \end{aligned}$$

C. Fungsi Implikasi

Pada bagian representasi linier naik dan turun harus dihitung untuk mencari nilai x dari nilai *Baik* dari keanggotaan output AQI dari rumus pada tabel III kategori sedang.

Perhitungan aturan ke-11:

$$\alpha_{11} = 0.327$$

Representasi Linier Naik

$$0.327 = (x-13)/(20-13)$$

$$0.327 = (x-13)/7$$

$$0.327 = (x/7) - (13/7)$$

$$x = 15.289$$

Representasi Linier Turun

$$0.327 = (30-x)/(30-20)$$

$$0.327 = (30-x)/10$$

$$0.327 = 3 - (x/10)$$

$$x = 26.73$$

C. Mengkomposisikan Semua Output AQI

Hasil dari perhitungan aturan ke-11 sudah ditentukan bahwa x dari representasi linier naik = 15.289 dan representasi linier turun = 26.289. maka perhitungan selanjutnya dapat menentukan fungsi keanggotaan pada himpunan *Baik* dari persamaan (16). kemudian dapat mencari luas dan momen dari daerah implikasi untuk proses defuzzifikasi .

Tabel XI. FUNGSI KEANGGOTAAN OUTPUT HIMPUNAN SEDANG

Himpunan	Fungsi Keanggotaan	
$\mu_{\text{SFAQI}}(x)$	$\{(0; (x-13)/(20-13); 0.327; (30-x)/(30-20))$ $\{(0; 0.1428x-1.857; 0.327; 3-0.1x;)$ $x \leq 13 \text{ atau } x \geq 30, 13 \leq x \leq 15.26, 15.26$ $\leq x \leq 26.73, 26.73 \leq x \leq 30$	(19)

D. Defuzzifikasi

Langkah selanjutnya menghitung momen dan luas sebagai berikut;

1. Menghitung Luas

$$A1 = ((15.289-13) \times 0.327)/2$$

$$= 0.748503/2$$

$$= 0.3742$$

$$A2 = ((26.73-15.289) \times 0.327)/2 = 3.7412$$

$$A3 = ((30-26.73) \times 0.327)/2$$

$$= 1.06929/2$$

$$= 0.5346$$

2. Menghitung Momen

Melakukan perhitungan integral untuk mencari momen sebagai berikut :

$$M1 = \int_{13}^{15.26} (0.1428x - 1.857)z \, dz = \frac{3294480761}{625000000} = 5.271$$

$$M2 = \int_{15.26}^{26.73} (0.327)z \, dz = \frac{1574914731}{20000000} = 78.745$$

$$M3 = \int_{26.73}^{30} (3 - 0.1x)z \, dz = \frac{148738239}{10000000} = 14.873$$

3. Fungsi Centroid

Kemudian setelah luas dan momen sudah dihitung selanjutnya dapat menghitung titik pusat (Centroid) dapat diperoleh dari :

$$Z^* = (M1+M2+M3)/(A1+A2+A3)$$

$$= (5.271 + 78.745 + 14.873) / (0.3742 + 3.7412 + 0.5346)$$

$$= 98.889/4.65$$

$$= 21.2664$$

Jadi hasil dari R[11] = IF (Ozon is **Sedikit**) AND (PM2.5 is **Sedang**) AND (CO is **Sedikit**) AND (CO2 is **Sedang**) AND (VOC is **Sedang**) THEN (AQI is **Baik**) adalah dengan nilai **21.2664**.

E. Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sistem fuzzy inference dan untuk mengetahui apakah sudah sesuai dengan perencanaan atau belum. dan proses pengujian ini dilakukan sesuai rule AQI apakah sesuai dengan kondisi udara yang di baca sensor dengan rule AQI.

1. Ground Truth

Air Purifier sebagai Ground Truth akan di uji untuk mengetahui tingkat indikator yang ada pada Air Purifier dengan cara melakukan atau membuat polusi udara berupa asap yang dapat ditimbulkan dari pembakaran atau lainnya. Dalam penelitian ini polusi yang digunakan adalah asap dari pembakaran obat nyamuk bakar dimana asap yang ditimbulkan dapat mempengaruhi indikator pada air purifier. Pada tabel 5.1 berikut ini adalah pengaruh polusi asap terhadap indikator pada ground truth.

Tabel XII. DATA PENGUJIAN AIR PURIFIER

Data	Waktu	Kecepatan Kipas	Indikator	
			Warna	Keterangan
1	8:50:30	Pelan	Biru	Sangat Baik
2	8:53:30	Pelan	Biru	Sangat Baik
3	8:54:14	Sedang	Hijau	Baik
4	8:54:43	Cepat	Orange	Buruk
5	8:54:53	Cepat	Merah	Sangat Buruk
6	8:55:01	Cepat	Merah	Sangat Buruk
7	8:55:52	Cepat	Merah	Sangat Buruk
8	8:56:24	Cepat	Orange	Buruk
9	8:57:33	Cepat	Orange	Buruk
10	8:58:10	Cepat	Orange	Buruk
11	8:58:36	Cepat	Orange	Buruk
12	9:00:30	Cepat	Orange	Buruk
13	9:01:11	Cepat	Orange	Buruk
14	9:02:43	Sedang	Hijau	Baik
15	9:04:50	Sedang	Hijau	Baik
16	9:05:44	Sedang	Hijau	Baik
17	9:12:16	Sedang	Hijau	Baik
18	9:14:47	Pelan	Biru	Sangat Baik
19	9:20:11	Pelan	Biru	Sangat Baik
20	9:22:31	Pelan	Biru	Sangat Baik

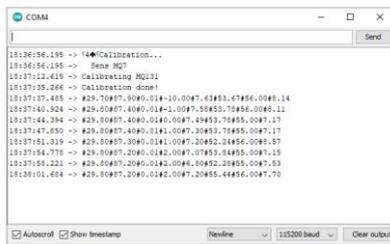
Keterangan kondisi ruangan pada setiap data mengacu pada tabel XII adalah sebagai berikut:

Tabel XIII. DATA KONDISI RUANGAN

Data Ke-	Kondisi Ruangan Saat Pengujian Air Purifier
1-2	Sangat Nyaman untuk bernapas
3	Mulai ada asap
4	Ada asap
5-7	Asap sangat banyak, sangat tidak nyaman untuk bernapas
8-13	Masih ada asap banyak, tidak nyaman untuk bernapas
14-17	Tidak ada asap (hampir habis), nyaman untuk bernapas
18-20	Tidak ada asap dan nyaman untuk bernapas

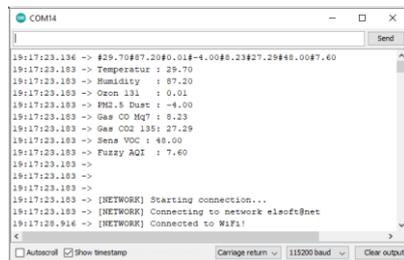
2. Komunikasi Data Serial Arduino ke modul IoT

Pada pengujian ini dilakukan untuk menuji komunikasi data yang dikirim oleh Arduino Due ke modul IoT yaitu NodeMCU ESP8266. Arduino due bertugas sebagai pengolah input sensor dan kemudian dilakukan fuzzifikasi dan hasil output akan ditampilkan dan dikirimkan melalui Komunikasi Serial.



Gambar. 9. Pengujian Output Sensor Arduino Due

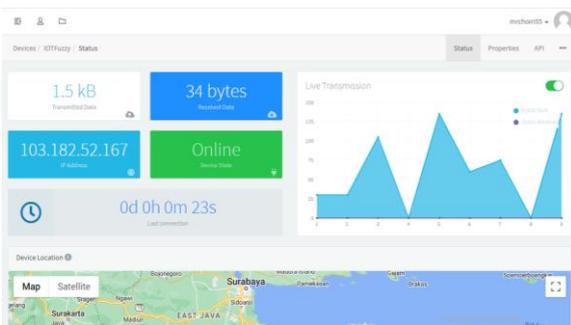
Kemudian hasil pengujian komunikasi data dari arduino due ke modul NodeMCU 8266 dapat diamati pada “Fig.10”.



Gambar. 10. Komunikasi data Arduino Due – NodeMCU 8266

2. Pengujian Modul IoT ke Thinger.io

Setelah data di terima oleh modul NodeMCU ESP8266, maka selanjutnya data dikirim ke website Thinger.io dengan koneksi internet melalui jaringan wifi. Jika status terkoneksi maka pada dashboard device akan tampil status “Online” seperti pada “Fig. 11”.



Gambar. 11. Koneksi Modul IoT ke Thinger.io

3. Pengujian IoT-Fuzzy

Proses pengujian dilakukan dengan membandingkan perangkat IoT-Fuzzy dengan ground truth untuk menguji tingkat keakurasian perangkat pada penelitian ini. Pengujian dilakukan sama dengan pengujian ground truth sebelumnya dengan cara melakukan atau membuat polusi udara berupa asap yang dapat ditimbulkan dari pembakaran atau lainnya dan polusi yang digunakan berupa asap dari pembakaran obat nyamuk bakar dimana asap yang ditimbulkan dapat mempengaruhi indikator pada air purifier maupun perangkat IoT-Fuzzy.

Hasil pengujian akan di catat setiap ada perubahan dari ground truth maupun perangkat IoT-Fuzzy dan kemudian hasil pengujian akan dihitung error dari hasil pengukuran perangkat IoT-Fuzzy dengan menggunakan perhitungan MAE (Mean Absolute Error) yaitu rata-rata selisih mutlak nilai sebenarnya (aktual) dengan nilai prediksi (peramalan). MAE digunakan untuk mengukur keakuratan suatu model statistik dalam melakukan prediksi atau peramalan. Perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_i - F_i| \tag{5.1}$$

dimana:

- nn adalah ukuran sampel
- A_i adalah nilai data aktual ke- i
- F_i adalah nilai data peramalan ke- i

a. Pengujian Pertama

TABEL XIV. DATA PENGUJIAN IOT-FUZZY DENGAN GROUND TRUTH 1

No	IoT- Fuzzy		Ground Truth		Kesalahan Absolut (Ai - Fi)
	Indikator	Nilai (Fi)	Indikator	Nilai (Ai)	
1	Sangat Baik	1	Biru	1	0
2	Sangat Baik	1	Biru	1	0
3	Sangat Baik	1	Biru	1	0
4	Baik	2	Orange	3	1
5	Baik	2	Merah	4	2
6	Buruk	3	Merah	4	1
7	Sangat Buruk	4	Merah	4	0
8	Sangat Buruk	4	Merah	4	0
9	Sangat Buruk	4	Merah	4	0
10	Sangat Buruk	4	Merah	4	0
11	Sangat Buruk	4	Merah	4	0
12	Sangat Buruk	4	Merah	4	0
13	Buruk	3	Merah	4	1
14	Buruk	3	Orange	3	0
15	Baik	2	Orange	3	1
16	Baik	2	Orange	3	1
17	Baik	2	Orange	3	1
18	Baik	2	Orange	3	1
19	Sangat Baik	1	Hijau	2	1
20	Sangat Baik	1	Hijau	2	1
21	Sangat Baik	1	Hijau	2	1
22	Sangat Baik	1	Hijau	2	1
23	Sangat Baik	1	Hijau	2	1
24	Sangat Baik	1	Biru	1	0
25	Sangat Baik	1	Biru	1	0
26	Sangat Baik	1	Biru	1	0
27	Sangat Baik	1	Biru	1	0
28	Sangat Baik	1	Biru	1	0
Nilai MAE					0.5

Hasil dari pengujian pertama memiliki nilai MAE 0.5 hal ini menunjukkan kesalahan dari sistem perangkat IoT-Fuzzy dalam pembacaan sensor yang kurang akurat.

b. Pengujian Kedua

Pengujian kedua dilakukan untuk mencari perbedaan dari hasil pengujian sebelumnya pada tingkat error dari beberapa rule yang disempurnakan dan hasil pengujian yang dilakukan seperti pada tabel XV sebagai berikut:

TABEL XV. DATA PENGUJIAN IOT-FUZZY DENGAN GROUND TRUTH 2

No	IoT- Fuzzy		Ground Truth		Kesalahan Absolut (Ai - Fi)
	Indikator	Nilai (Fi)	Indikator	Nilai (Ai)	
1	Sangat Baik	1	Biru	1	0
2	Sangat Baik	1	Biru	1	0
3	Sangat Buruk	4	Merah	4	0
4	Sangat Buruk	4	Merah	4	0
5	Sangat Buruk	4	Merah	4	0
6	Sangat Buruk	4	Merah	4	0
7	Sangat Buruk	4	Merah	4	0
8	Sangat Buruk	4	Orange	3	1
9	Buruk	3	Orange	3	0
10	Buruk	3	Orange	3	0
11	Sangat Buruk	4	Orange	3	1
12	Buruk	3	Orange	3	0
13	Buruk	3	Orange	3	0
14	Buruk	3	Orange	3	0
10	Buruk	3	Orange	3	0
11	Sangat Buruk	4	Orange	3	1
12	Buruk	3	Orange	3	0
13	Buruk	3	Orange	3	0
14	Buruk	3	Orange	3	0
15	Buruk	3	Hijau	2	1
16	Buruk	3	Hijau	2	1
17	Buruk	3	Hijau	2	1
18	Sangat Buruk	4	Hijau	2	2
19	Baik	2	Hijau	2	0
20	Baik	2	Hijau	2	0
21	Baik	2	Hijau	2	0
22	Baik	2	Hijau	2	0
23	Baik	2	Hijau	2	0
24	Sangat Baik	1	Hijau	2	1
25	Baik	2	Hijau	2	0
26	Baik	2	Hijau	2	0
27	Baik	2	Hijau	2	0
28	Baik	2	Hijau	2	0
29	Sangat Baik	1	Hijau	2	1
30	Baik	2	Hijau	2	0
31	Baik	2	Hijau	2	0
32	Baik	2	Hijau	2	0
33	Baik	2	Hijau	2	0
34	Sangat Baik	1	Hijau	2	1
35	Baik	2	Hijau	2	0
36	Baik	2	Hijau	2	0
37	Baik	2	Hijau	2	0
38	Baik	2	Hijau	2	0
39	Sangat Baik	1	Hijau	2	1
40	Sangat Baik	1	Hijau	2	1
41	Sangat Baik	1	Biru	1	0
42	Sangat Baik	1	Biru	1	0
43	Sangat Baik	1	Biru	1	0
44	Sangat Baik	1	Biru	1	0
45	Sangat Baik	1	Biru	1	0
Nilai MAE					0.2666667

Hasil dari pengujian kedua memiliki nilai MAE 0.2667 hal ini menunjukkan kesalahan dari sistem perangkat IoT-Fuzzy dalam pembacaan sensor yang kurang akurat. Akan

tetapi hal ini menunjukkan tingkat error pada sistem IoT-Fuzzy mengalami penurunan.

Dapat disimpulkan bahwa pada pengujian kedua tingkat error menunjukkan penurunan dibanding pengujian pertama. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi pada pengujian kedua lebih tinggi dari pada hasil pengujian pertama.

4. Monitoring Aplikasi Thingger.io

Pada website thingger.io terdapat fitur berbagi link agar dapat di akses oleh user agar dapat diakses dengan berbagai macam device untuk pemantauan kualitas udara dalam ruangan secara realtime. Ketika user mengakses link akan menampilkan data berupa nilai dan grafik dari beberapa sensor dan output AQI berupa hasil fuzzifikasi dari perangkat IoT-Fuzzy seperti yang ditunjukkan pada gambar 12. Setiap Sensor yang dikirim akan ditampilkan pada tampilan dashboard data diatas berupa grafik analisa dan alarm status yang menunjukkan penentuan polusi baik dan buruknya sesuai dengan Ground Truth (Air Purifier).



Gambar. 12. Dashboard Thinger.io

Berikut ini adalah penjelasan pada setiap bagian yang ditampilkan pada dashboard AQI :

- Kiri Atas, adalah nilai realtime dari sensor Temperatur dan Kelembaban
- Kiri Bawah, adalah nilai realtime dari hasil fuzzifikasi dengan menunjukkan alarm berupa warna sebagai indikator sesuai warna yang dimiliki oleh Air Purifier dimana, Biru adalah Sangat Baik, Hijau adalah Baik, dan Orange adalah Buruk dan Merah adalah Sangat Buruk. Dengan rentang nilai 0 -100.
- Kanan, adalah informasi dari nilai sensor yang digunakan yaitu mulai dari atas Sensor Ozon, Sensor PM2.5, Sensor CO, Sensor CO2 dan Sensor VOC. Dilengkapi dengan grafik dan nilai yang terupdate secara realtime
- Bawah, adalah grafik dari seluruh nilai sensor yang digunakan sebagai analisa dan pembandingan dengan sensor lainnya jika diperlukan.

KESIMPULAN

Perangkat yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki sensor yang lebih banyak dalam pengukuran kualitas udara dalam ruangan dengan harga yang ekonomis. Penerapan metode fuzzy dapat dipakai sebagai metode pendukung dan dapat mengikuti dan menyesuaikan indikator yang ada pada Ground Truth akan tetapi masih terdapat error pada IoT-Fuzzy terhadap indikator Air Purifier. Dalam pengujian perangkat

IoT-Fuzzy kesalahan dari indikator perangkat IoT-Fuzzy terhadap Ground Truth dapat diketahui untuk mencari tingkat error dengan mencari selisih pada hasil perhitungan nilai Kesalahan Absolut ($|A_i - F_i|$) yaitu terdapat 13 data dari total 28 data pada pengujian pertama dan terdapat 11 data dari total 45 data pada pengujian kedua. Hasil pengujian menunjukkan perangkat IoT-Fuzzy dapat mengukur AQI dengan error sebesar 0.5 pada pengujian pertama dan error 0.2667 pada pengujian kedua menggunakan perhitungan MAE (Mean Absolute Error) Perangkat dapat digunakan sebagai media monitoring kesehatan dalam meningkatkan kesadaran dalam menjaga kesehatan pernapasan.

PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada lembaga Jurnal Teknologi Informasi dan Terapan (J-TIT) sebagai media publikasi ilmiah di bidang Teknologi Informasi Terapan yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknologi Informasi Politeknik Negeri Jember yang telah memberikan sponsor atau support terhadap berlangsungnya penelitian pada paper ini.

REFERENSI

- [1] M. Kesehatan and R. Indonesia, "Peraturan Menteri Kesehatan Indonesia No 1077/Menkes/PER/2011," 2011.
- [2] Harvard T.H. Chan School of Public Health, "Coronavirus and Air Pollution – C-CHANGE | Harvard T.H. Chan School of Public Health."
- [3] M. Lingkungan, H. Dan, and K. Republik, "Peraturan Menteri Lingkungan," pp. 1–16, 2020.
- [4] M. Zareb, B. Bakhti, Y. Bouzid, C. E. Batista, I. Ternifi, and M. Abdenour, "An Intelligent IoT Fuzzy Based Approach for Automated Indoor Air Quality Monitoring," pp. 770–775, 2021.
- [5] K. Rastogi, A. Barthwal, and D. Lohani, "AQCI: An IoT Based Air Quality and Thermal Comfort Model using Fuzzy Inference," *Int. Symp. Adv. Networks Telecommun. Syst. ANTS*, vol. 2019- Decem, pp. 1–6, 2019.
- [6] B. W. Dionova, M. N. Mohammed, S. Al-Zubaidi, and E. Yusuf, "Environment indoor air quality assessment using fuzzy inference system," *ICT Express*, vol. 6, no. 3, pp. 185–194, 2020.
- [7] F. Pradityo and N. Surantha, "Indoor air quality monitoring system with fuzzy logic control based on IOT," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 8, no. 8, pp. 1824–1829, 2019.
- [8] J. Prayudha, A. Pranata, and A. Al Hafiz, "Implementasi Metode Fuzzy Logic Untuk Sistem Pengukuran Kualitas Udara Di Kota Medan Berbasis Internet of Things (Iot)," *Jurteksi*, vol. 4, no. 2, pp. 141–148, 2018.
- [9] V. K. S and R. Rayappa Neeralagi, "IoT based Health Monitoring using Fuzzy logic," *Int. J. Comput. Intell. Res.*, vol. 13, no. 10, pp. 2419–2429, 2017.
- [10] A. S. Patil, N. D. Chougale, and G. A. Mule, "AIR QUALITY MONITORING SYSTEM USING ARDUINO," pp. 2280–2281, 2020.
- [11] J. Jo, B. Jo, J. Kim, S. Kim, and W. Han, "Development of an IoT-Based indoor air quality monitoring platform," *J. Sensors*, vol. 2020, pp. 13–15, 2020.
- [12] X. Lai, T. Yang, Z. Wang, and P. Chen, "IoT implementation of Kalman Filter to improve accuracy of air quality monitoring and prediction," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 9, 2019.
- [13] A. U. S. A. is E. Index, "AQI Basics | AirNow.gov."
- [14] "Due | Arduino Documentation | Arduino Documentation."