

**SISTEM SORTIR APEL MALANG BERBASIS IOT MENGGUNAKAN
METODE *FUZZY SUGENO***

SKRIPSI

**Oleh :
RIZQY ALFAJRI
NIM. 210605110041**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**SISTEM SORTIR APEL MALANG BERBASIS IOT MENGGUNAKAN
METODE *FUZZY SUGENO***

SKRIPSI

Diajukan kepada:

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :

**RIZQY ALFAJRI
NIM. 210605110041**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

**SISTEM SORTIR APEL MALANG BERBASIS IOT MENGGUNAKAN
METODE FUZZY SUGENO**

SKRIPSI

Oleh :
RIZQY ALFAJRI
NIM. 210605110041

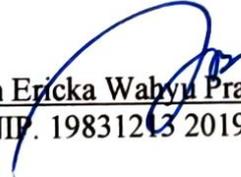
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 5 Juni 2025

Pembimbing I,



Ajib Hanani, S.Kom, M.T
NIP. 19840731 202321 1 013

Pembimbing II,



Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom
NIP. 19831213 201903 1 004

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Dr. Iqbal Kurniawan, M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

SISTEM SORTIR APEL MALANG BERBASIS IOT MENGGUNAKAN METODE *FUZZY SUGENO*

SKRIPSI

Oleh :
RIZQY ALFAJRI
NIM. 210605110041

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 16 Juni 2025

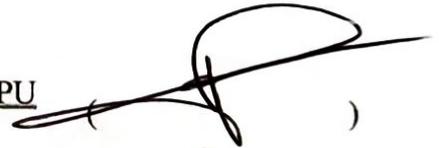
Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji : Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

Anggota Penguji I : Shoffin Nahwa Utama, M.T
NIP. 1986070 3202012 1 003

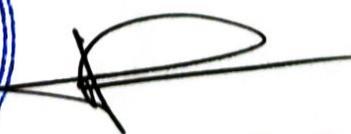
Anggota Penguji II : Ajib Hanani, S.Kom, M.T
NIP. 19840731 202321 1 013

Anggota Penguji III : Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom
NIP. 19831213 201903 1 004

()
()
()
()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



()
Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizqy Alfajri
NIM : 210605110041
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Sistem Sortir Apel Malang Berbasis IoT
Menggunakan Metode *Fuzzy Sugeno*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan 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 dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 16 Juni 2025

Yang membuat pernyataan,



Rizqy Alfajri
NIM. 210605110041

MOTTO

“The journey of a thousand miles begins with a single step.”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala keterbatasan, saya panjatkan rasa syukur yang tak terhingga kepada Allah SWT atas limpahan nikmat dan karunia-Nya, khususnya kesehatan, kekuatan, dan keberkahan yang senantiasa menyertai hingga karya ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan umat yang mulia.

Karya ini saya persembahkan sebagai bentuk penghargaan dan ucapan terima kasih yang mendalam kepada seluruh pribadi yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan ini. Kepada diri saya sendiri, terima kasih telah bertahan melewati lelah, tekanan, dan keraguan. Terima kasih telah terus belajar dan melangkah hingga sampai pada titik ini. Karya ini menjadi bukti bahwa harapan, doa, dan usaha tidak pernah sia-sia.

Setiap kata dalam karya ini saya tuliskan dengan penuh cinta dan doa yang selalu saya panjatkan untuk kedua orang tua tercinta, Papa Yusmaizar Zainir dan Mama Ely Agustin, atas segala kasih sayang, doa, serta pengorbanan yang tiada henti. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada kakak saya, Cindy Yoselia Putri, yang selalu menjadi garda terdepan dalam memberi dukungan moral maupun emosional. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi dan sumber kekuatan sepanjang perjalanan ini.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah Wasyukurillah segala puji bagi Allah SWT. atas segala rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat diberikan kesehatan dan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem Sortir Buah Apel Malang Berbasis IoT Menggunakan Metode *Fuzzy Sugeno*”. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Semoga kita sekalian mendapatkan syafaatnya di hari akhir kelak, Aamiin.

Rasa syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada semua pihak-pihak yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis untuk dapat berproses dalam mengerjakan skripsi ini. Ucapan ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Hariani, M.Si., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Fachrul Kurniawan, ST., M.MT., IPU, selaku ketua program studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Ajib Hanani, M. T selaku Dosen pembimbing I dan Bapak Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom selaku Dosen pembimbing II yang dengan segala arahan, saran serta masukan yang diberikan sangat berarti dalam setiap langkah dalam proses pengerjaan skripsi ini.

5. Bapak Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT, IPU selaku dosen penguji I dan Bapak Shoffin Nahwa Utama, M.T dosen penguji II yang telah memberikan masukan dan saran yang membangun sehingga skripsi ini dapat dipertanggunghkan dengan lebih baik.
6. Segenap dosen, tenaga kependidikan, laboran, serta seluruh jajaran di Program Studi Teknik Informatika yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan dukungan selama masa studi di Fakultas Sains dan Teknologi.
7. Kepada Mama, Papa, Kakak, dan seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan cinta, semangat, serta untaian doa yang tulus di setiap langkah, terima kasih atas segalanya hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar.
8. Sahabat-sahabat penulis: Sere, Ahya, Gadis, Cawa, Abil, Nizam, Tasya, Arum, dan Pipit, yang telah setia membersamai dan memberikan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita, semangat, serta teman dalam menghadapi dinamika suka dan duka selama perjalanan ini.
9. Seluruh pihak dan elemen kehidupan yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang kehadirannya telah memberikan warna, makna, serta dukungan moral dalam perjalanan hidup dan proses penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna dan memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Malang, 5 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II STUDI PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 Buah Apel Malang	13
2.3 <i>Internet of Thing (IOT)</i>	14
2.4 NodeMCU ESP32	14
2.5 <i>Mini Conveyor</i>	16
2.6 Sensor.....	17
2.6.1 TCS3200	17
2.6.2 SGP30	18
2.7 <i>Fuzzy Logic</i>	19
2.7.1 Metode Fuzzy Sugeno	21
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Studi Literatur	24
3.2 Pengumpulan Data	25
3.3 Perancangan Sistem	26
3.4 Analisis Kebutuhan	28
3.5 Desain Implementasi Sistem.....	29
3.5.1 Fuzzifikasi.....	30
3.5.2 Mesin Inferensi Fuzzy.....	34
3.5.3 Defuzzifikasi (<i>Defuzzification</i>).....	36
3.5.4 Implementasi Kontrol dengan ESP32.....	39
3.6 Rancangan Eksperimen.....	40
3.7 Pengujian dan Perhitungan <i>Error</i>	41
3.8 Rancangan <i>Dashbord Monitoring</i>	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45

4.1 Implementasi Sistem.....	45
4.1.1 Implementasi Sistem Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	46
4.1.2 Implementasi Sistem Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	52
4.2 Eksperimen Kalibrasi Dan Validasi Sensor	55
4.3 Pengujian Sistem.....	58
4.4 Analisis Perhitungan <i>Error</i>	60
4.5 Integrasi Islam.....	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Metode Penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Desain Sistem.....	27
Gambar 3. 3 Derajat Keanggotaan Hijau	31
Gambar 3. 4 Derajat Keanggotaan CO ₂	33
Gambar 3. 5 Rancangan <i>Dashbord Monitoring</i>	43
Gambar 4. 1 Rangkaian Tampak Samping	48
Gambar 4. 2 Rangkaian Tampak Atas	49
Gambar 4. 3 Rangkaian Tampak Depan	50
Gambar 4. 4 Rangkaian Tampak Belakang.....	51
Gambar 4. 5 Tampilan <i>Dashbord Monitoring</i>	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	11
Tabel 3. 1 Rancangan <i>Experimen</i>	41
Tabel 4. 1 Hasil Uji Coba Sampel.....	56
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sistem	58

ABSTRAK

Alfajri, Rizqy. 2025. **Sistem Sortir Apel Malang Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno**. Skripsi. Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Ajib Hanani, M.T (II) Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom.

Kata Kunci: Apel Malang, Fuzzy Sugeno, IoT, Sistem Sortir.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem sortir buah apel Malang berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan metode fuzzy Sugeno untuk mengkategorikan kualitas buah secara otomatis. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan sensor warna TCS3200 dan sensor gas SGP30 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 untuk mendeteksi intensitas warna hijau dan kadar karbon dioksida (CO_2) secara *real-time*. Data dari kedua sensor tersebut diolah menggunakan logika fuzzy Sugeno guna menentukan status kualitas buah, yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam pengendalian motor servo untuk proses penyortiran. Selain itu, sistem dilengkapi dengan *dashboard* pemantauan berbasis web menggunakan *Firestore Realtime Database*, sehingga memungkinkan pengguna untuk memantau proses sortir dan data sensor secara langsung dari jarak jauh. Pengujian dilakukan terhadap lima belas sampel buah apel. Hasil menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat *error* sebesar 6,67%, yang disebabkan oleh satu kasus pengelompokan yang tidak sesuai akibat nilai sensor berada di area transisi antar himpunan fuzzy (*fuzzy overlap*). Berdasarkan hasil tersebut, sistem sortir berbasis *IoT* dengan metode fuzzy Sugeno ini telah mampu memenuhi tujuan penelitian sebagai solusi sortir otomatis yang efektif dan efisien, serta memiliki potensi pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan ketepatan pengelompokan kualitas buah. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap inovasi dalam otomatisasi pertanian berbasis *IoT* dan logika komputasional cerdas, khususnya dalam mendukung proses pengolahan pascapanen yang presisi dan berkelanjutan.

ABSTRACT

Alfajri, Rizqy. 2025. **IoT-based Malang Apple Fruit Sorting System Using Sugeno Fuzzy Method**. Thesis. Informatics Engineering Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor: (I) Ajib Hanani, M.T (II) Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom.

Keywords: Fuzzy Sugeno, IoT, Malang apples, Sorting System.

This study aims to design and implement a Malang apple sorting system based on the Internet of Things (IoT) using the fuzzy Sugeno method to automatically categorize fruit quality. The developed system utilizes a TCS3200 color sensor and an SGP30 gas sensor connected to an ESP32 microcontroller to detect green color intensity and carbon dioxide (CO₂) levels in real-time. Data from both sensors are processed using fuzzy Sugeno logic to determine the quality status of the fruit, which is then used as the basis for controlling a servo motor to perform the sorting mechanism. In addition, the system is equipped with a web-based monitoring dashboard using Firebase Realtime Database, enabling users to monitor the sorting process and sensor data remotely in real time. The system was tested using fifteen apple samples. The results showed that the system produced an error rate of 6.67%, which was caused by one misgrouping case due to sensor readings falling within the transition area between fuzzy membership sets (fuzzy overlap). Based on these results, the IoT-based sorting system with the fuzzy Sugeno method has successfully achieved the research objectives as an effective and efficient automatic sorting solution and has further potential for development to improve the accuracy of fruit quality grouping. This research contributes to innovation in IoT-based agricultural automation and intelligent computational logic, particularly in supporting precise and sustainable post-harvest fruit processing.

مستخلص البحث

الفجر, رزقي. 2025. نظام التفريق فاكهة تفاحة في مالانج على سبيل IoT على منهج فوزي سوغينو. البحث لقسم الهندسة المعلوماتية في كلية العلوم و تكنولوجيا في الجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. املشرف ألؤل: عاجب حناني, الماجستير. املشرف الثاي : خوهان إيريكيا وحيو فركاسا, الماجستير.

الكلمات الرئيسية: نظام التفريق, IoT, فوزي سوغينو, التفاحة في مالانج

يهدف هذا البحث للتصميم و التطبيق على نظام التفريق فاكهة تفاحة في مالانج على سبيل IoT على منهج فوزي سوغينو لتفريق جودة فاكهة التفاحة أوتوماتيكي. يستخدم هذا النظام رقيب اللون TCS3200 و رقيب الغاز SGP30 المتسلة بالتحكيم الدقيق ESP32 لقراءة دقيق لون الأخضر و مقدار اوكسيد الكربون (CO₂) مباشرة. بعد ذلك, تشكل بيانات الرقيب بنظام فوزي سوغينو لتخريج درجة جودة فاكهة التفاحة, ثم يحرك موتور سيرفو كألة التفريق. يكمل النظام بلوحة النظر على سبيل الأنترنت با استعمال الألة البيانات المباشرة لرفقة حال التفريق مرافقة مباشرة. نتيجة التجربة تتم بخمسة عشر بيانات من فاكهة تفاحة, تظهر النتيجة الفشيلة على تقدير 6,67% بسبب عدم التطبيق على التفريق على الرقيب القريبة في حد القريبة من الجنس. مستندا على النتيجة, تم النظام على تمام احتياج التفريق المباشر باحتمال الأرشاد لإرتفار الإتقان و فعالية تفريق الفاكهة. يعطي هذا البحث اشتراك تام على إرشاد التكنولوجيا IoT و التفكير الفوزي لتشجيع فعالية الزراعة العصرية.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor pertanian memiliki peran strategis dalam mendukung pertumbuhan ekonomi global sekaligus menjaga ketahanan pangan. Sebagai salah satu pilar utama pembangunan ekonomi, sektor ini tidak hanya menyediakan kebutuhan pangan bagi miliaran penduduk dunia, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) di berbagai negara, termasuk Indonesia. Di Indonesia sendiri, sektor pertanian menyumbang lebih dari 13% terhadap PDB pada tahun 2021, menjadikannya salah satu penopang utama perekonomian nasional (BPS, 2021).

Indonesia merupakan salah satu produsen utama buah-buahan tropis dengan potensi sumber daya agrikultur yang melimpah, termasuk apel Malang (*Malus sylvestris Mill.*), yang menjadi komoditas hortikultura unggulan di wilayah Jawa Timur (BPS, 2016). Sebagai salah satu produk hortikultura bernilai ekonomi tinggi, apel Malang memiliki permintaan besar di pasar domestik maupun internasional berkat cita rasa khas dan karakteristik fisik yang menarik.

Meskipun memiliki kontribusi besar, sektor pertanian masih menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam tahap pasca-panen seperti proses penyortiran hasil. Di Indonesia, aktivitas penyortiran komoditas pertanian, termasuk buah-buahan, sebagian besar masih dilakukan secara manual. Proses manual ini cenderung kurang efisien secara waktu, menghasilkan ketidakkonsistenan kualitas,

serta meningkatkan risiko kesalahan manusia. Kondisi tersebut berdampak negatif terhadap daya saing produk, khususnya dalam memenuhi standar mutu tinggi yang semakin diminati di pasar global. Selain itu, inefisiensi dalam proses penyortiran turut berkontribusi pada meningkatnya *food loss and waste*, yang menjadi isu penting dalam upaya mewujudkan keberlanjutan sektor agribisnis (Brosnan & Sun, 2004).

Proses manual ini, selain memerlukan waktu yang lebih lama, juga menurunkan kualitas penyortiran, yang pada akhirnya berpotensi mengurangi daya tarik produk di pasar. Dengan demikian, penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)* muncul sebagai solusi inovatif yang mampu mengatasi berbagai keterbatasan tersebut.

Internet of Things (IoT) memungkinkan integrasi berbagai sensor untuk mengukur parameter kualitas apel secara *real-time* dan mengirimkan data secara langsung ke perangkat pemantauan yang dapat diakses dari jarak jauh. Teknologi ini telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi operasional di berbagai sektor, termasuk pertanian, melalui otomatisasi dan pengambilan keputusan berbasis data (Anggraeni and Desyani, 2023). Dalam konteks penyortiran apel, IoT memungkinkan pemantauan berkelanjutan terhadap parameter seperti kadar gas dan intensitas warna, sehingga mendukung pengambilan tindakan korektif secara cepat dan tepat apabila terdeteksi penurunan mutu atau kondisi abnormal pada buah.

Meski teknologi IoT memungkinkan pengumpulan data dari berbagai sensor secara simultan, hal ini juga menimbulkan tantangan baru, yakni bagaimana data

multivariabel tersebut dapat diinterpretasikan secara akurat dan tepat waktu. Untuk mengatasi tantangan ini, pendekatan *fuzzy logic* menjadi metode yang relevan. *Fuzzy logic*, pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965, merupakan pendekatan komputasi yang meniru cara berpikir manusia dalam menangani ketidakpastian dan data yang bersifat ambigu. Dalam konteks sistem sortir buah apel, logika fuzzy dapat digunakan untuk mengolah data sensor IoT dan menghasilkan keputusan sortir berdasarkan analisis kondisi buah secara menyeluruh.

Studi oleh Moch Rafli et al. (2023) menunjukkan bahwa penerapan *fuzzy logic* dalam sistem sortir buah tomat dapat meningkatkan akurasi pengambilan keputusan, terutama ketika data yang diperoleh bersifat ambigu atau memiliki tingkat variasi yang tinggi. Melalui pendekatan ini, sistem dapat menghasilkan prediksi atau rekomendasi yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan dibandingkan dengan metode konvensional.

Dengan demikian, hubungan antara *Internet of Things (IoT)* dan *fuzzy Sugeno* dalam sistem ini sangat erat; *IoT* berperan dalam akuisisi data secara langsung dari lingkungan melalui sensor, sedangkan *fuzzy Sugeno* memproses data tersebut untuk menghasilkan keputusan yang cerdas dan otomatis. Integrasi kedua teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi proses penyortiran apel, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan *food loss*, peningkatan kualitas hasil panen, serta mendukung keberlanjutan agribisnis apel Malang secara lebih modern dan adaptif terhadap perkembangan teknologi pertanian.

Dalam Islam, proses pemilihan atau penyortiran terhadap sesuatu yang baik merupakan prinsip penting yang mencerminkan akhlak mulia dan ketakwaan. Hal ini sejalan dengan firman Allah dalam QS. *Al-Baqarah* ayat 267:

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا أَنْفِقُوا مِنْ طَيِّبَاتِ مَا كَسَبْتُمْ وَمِمَّا أَخْرَجْنَا لَكُمْ مِنَ الْأَرْضِ ۖ وَلَا تَيَمَّمُوا الْخَبِيثَ مِنْهُ تُنْفِقُونَ
وَلَسْتُمْ بِبَاخِحِينَ إِلَّا أَنْ تُعْمِضُوا فِيهِ ۗ وَاعْلَمُوا أَنَّ اللَّهَ غَنِيٌّ حَمِيدٌ

“Hai orang-orang yang beriman, nafkahkanlah (di jalan Allah) sebagian dari hasil usahamu yang baik-baik dan sebagian dari apa yang Kami keluarkan dari bumi untuk kamu. Dan janganlah kamu memilih yang buruk-buruk lalu kamu menafkahkan daripadanya, padahal kamu sendiri tidak mau mengambilnya melainkan dengan memincingkan mata terhadapnya. Dan ketahuilah, bahwa Allah Maha Kaya lagi Maha Terpuji. .” (Q.S Al-Baqarah 267:2)

Menurut tafsir Kementerian Agama Republik Indonesia, Surah *Al-Baqarah* ayat 267 memberikan perintah kepada orang-orang beriman agar menginfakkan sebagian dari harta yang baik, diperoleh dengan cara yang halal, dan berkualitas. Allah melarang seseorang untuk menginfakkan harta yang buruk atau tidak layak, yakni sesuatu yang bahkan dirinya sendiri enggan untuk menerimanya kecuali dalam keadaan terpaksa. Ayat ini menekankan prinsip empati dan kesadaran dalam memberi: sebagaimana seseorang tidak ingin menerima sesuatu yang rendah kualitasnya, maka ia pun tidak seharusnya memberikan hal semacam itu kepada orang lain (Kementerian Agama Republik Indonesia, 2025).

Dalam konteks penelitian ini, proses penyortiran buah apel secara otomatis merupakan wujud implementasi dari nilai *ihsan* dalam bekerja, yaitu melakukan pekerjaan secara optimal dan penuh tanggung jawab. Sistem yang dirancang bertujuan untuk memisahkan buah yang layak konsumsi (matang dan berkualitas) dari yang tidak layak (busuk atau rusak), sehingga hasil panen yang sampai ke

tangan konsumen adalah buah terbaik dan tidak menimbulkan risiko kerugian maupun ketidaknyamanan. Lebih dari sekadar proses teknis, sistem sortir ini mencerminkan komitmen terhadap kejujuran dan kualitas, serta penghormatan terhadap hak konsumen. Hal ini sekaligus menunjukkan tanggung jawab moral dalam menjaga keberkahan hasil bumi, sebagaimana diperintahkan oleh Allah dalam ajaran Islam. Oleh karena itu, penerapan teknologi sortir otomatis berbasis *IoT* dan *fuzzy Sugeno* tidak hanya mendukung efisiensi pertanian, tetapi juga sejalan dengan nilai-nilai Islam dalam hal amanah, kualitas, dan kepedulian terhadap kesejahteraan masyarakat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana mengembangkan sistem sortir berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan metode *fuzzy sugeno*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini berfokus, maka dibuatlah batasan-batasan sebagai berikut:

1. Sistem sortir ini berfokus pada penilaian *real-time* kualitas apel matang dan busuk dengan mengukur kadar warna dan Gas karbon dioksida.
2. Penelitian ini hanya berfokus pada buah apel Malang, khususnya varietas yang umum diproduksi di wilayah Kota Batu, Kabupaten Malang, yaitu buah apel manalagi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengembangkan sistem sortir buah apel malang menggunakan metode *fuzzy sugeno* berbasis *Internet of Things* (IoT).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan agar dapat membantu dalam menyortir kualitas buah apel dengan otomatis dan meningkatkan konsistensi kualitas produk.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian oleh Harahap (2021) yang berjudul “Implementasi Logika Fuzzy Sugeno pada Alat Penyortir Buah Tomat Berbasis Mikrokontroler” bertujuan untuk mengembangkan sistem sortir otomatis berbasis sensor guna mengelompokkan tingkat kematangan buah tomat. Sensor warna TCS3200 digunakan untuk mendeteksi nilai RGB dari permukaan tomat, yang kemudian diproses menggunakan metode logika *fuzzy Sugeno*. Sistem ini membedakan tingkat kematangan tomat menjadi tiga kategori, yaitu mentah, setengah matang, dan matang. Mikrokontroler Arduino Uno berperan sebagai unit kendali utama yang membaca data dari sensor, memproses informasi menggunakan logika fuzzy, dan menggerakkan motor servo untuk mengarahkan tomat ke wadah sesuai dengan tingkat kematangannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem sortir ini mampu meningkatkan efisiensi waktu dan mengurangi tingkat kesalahan yang umum terjadi pada proses penyortiran manual.

Penelitian oleh Alzahari et al. (2023) berjudul “Alat Penghitung Buah Menggunakan Sensor Obstacle Berbasis IoT dan Sortir Buah Berdasarkan Warna dengan Sensor TCS3200” berfokus pada pengembangan sistem otomatis yang mampu menghitung jumlah buah serta menyortir buah jeruk berdasarkan tingkat kematangan (matang dan mentah). Sistem ini menggunakan sensor *obstacle* untuk mendeteksi jumlah buah yang melintas, sedangkan sensor warna TCS3200

digunakan untuk menentukan tingkat kematangan berdasarkan variasi warna kulit buah. Data hasil pembacaan ditampilkan secara real-time melalui aplikasi *Blynk* dan ditayangkan pada layar LCD. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu meningkatkan efisiensi penyortiran, meskipun masih terdapat kendala teknis seperti deteksi ganda oleh sensor *obstacle* dan keterlambatan dalam proses pembacaan warna oleh sensor TCS3200.

Penelitian oleh Amin et al. (2017) yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Sortir Buah Apel Menggunakan Sensor Warna dan Sensor Suhu” mengembangkan sistem sortir otomatis yang mampu mengelompokkan buah apel berdasarkan tingkat kematangan. Sistem ini memanfaatkan sensor RGB LDR untuk mendeteksi warna buah sebagai parameter utama, serta sensor suhu DHT11 untuk membaca suhu dan kelembaban di sekitar objek. Data yang diperoleh dari kedua sensor diproses oleh *Arduino Nano*, kemudian dikirimkan secara nirkabel menggunakan modul NRF24L01 dari node pengirim ke node penerima, sehingga memungkinkan komunikasi jarak jauh antar perangkat. Sistem juga dilengkapi dengan modul RTC1307 untuk pengaturan waktu pengiriman data dan aktivasi mode hemat daya (*sleep mode*) guna meningkatkan efisiensi energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menyortir apel ke dalam kategori matang dan tidak matang berdasarkan kombinasi nilai warna, suhu, dan kelembaban. Meski demikian, sistem memerlukan proses kalibrasi yang cukup intensif, khususnya pada parameter warna RGB, agar dapat mencapai tingkat akurasi optimal.

Haris et al. (2019) mengembangkan sistem penyortiran otomatis buah apel Manalagi berdasarkan parameter warna dan berat. Sistem ini menggunakan sensor TCS3200 untuk mendeteksi warna kulit apel melalui nilai RGB, serta sensor loadcell untuk mengukur berat buah dalam satuan gram. Data dari kedua sensor diproses oleh *Arduino Uno* dan dikirimkan ke aplikasi melalui modul *Ethernet Shield*, memungkinkan hasil sortir ditampilkan secara digital dan dicetak. Keluaran sistem dibedakan ke dalam kategori kematangan seperti matang dan mengkal, berdasarkan kombinasi nilai RGB dan berat. Penelitian ini menggunakan metode Adaline dalam proses pengambilan keputusan, dengan tingkat akurasi yang dicapai sebesar 62,5%. Hasil menunjukkan bahwa pendekatan berbasis teknologi ini lebih efisien dibandingkan metode sortir manual, terutama dalam meningkatkan konsistensi dan objektivitas penilaian kualitas apel sebelum distribusi.

Rafli dan Andika (2023) mengembangkan sistem sortir otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk mengelompokkan buah tomat berdasarkan tingkat kematangan (mentah, setengah matang, dan matang) serta berat. Sistem ini memanfaatkan sensor TCS3200 untuk mendeteksi warna buah tomat dan sensor *load cell* untuk mengukur beratnya. Data dari kedua sensor diproses menggunakan metode *Fuzzy Logic Sugeno*, yang meniru proses pengambilan keputusan manusia dalam menghadapi data yang bersifat tidak pasti. Proses penyortiran dilakukan secara otomatis melalui motor servo yang menggerakkan jalur konveyor, sementara hasil penentuan kualitas buah dapat dipantau secara real-time melalui antarmuka web yang terhubung dengan modul *ESP8266*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengelompokkan buah tomat ke dalam tiga kategori dengan

tingkat akurasi yang tinggi. Penerapan logika fuzzy dalam sistem ini terbukti efektif dalam membantu pengambilan keputusan berbasis data sensor secara fleksibel dan adaptif.

Syawalia et al. (2020) mengembangkan sistem sortir otomatis berbasis *Fuzzy Logic* untuk memisahkan buah apel berdasarkan parameter berat dan warna. Sistem ini menggunakan sensor *load cell* untuk mendeteksi berat buah, serta sensor warna TCS3200 untuk membaca karakteristik warna permukaan apel. Pengambilan keputusan sortir dilakukan menggunakan metode *Fuzzy Logic* berbasis aturan *If-Then* yang dirancang berdasarkan nilai-nilai masukan dari kedua sensor. Pengolahan data dan kontrol sistem dilakukan oleh Arduino Mega 2560, sementara motor servo berfungsi sebagai aktuator untuk mengarahkan apel ke wadah sortir sesuai hasil penilaian kualitas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mencapai tingkat keberhasilan sebesar 90% dalam proses penyortiran berdasarkan aturan fuzzy yang diterapkan. Kendala utama yang diidentifikasi adalah sensitivitas sensor TCS3200 terhadap cahaya sekitar dan jarak objek, yang dapat memengaruhi akurasi pembacaan warna. Meski demikian, sistem terbukti mampu meningkatkan efisiensi penyortiran dibandingkan metode manual.

Afrianto et al. (2023) mengembangkan alat sortir otomatis buah tomat menggunakan metode *Fuzzy Logic Sugeno*, dengan memanfaatkan energi surya sebagai sumber daya utama sistem. Sistem ini dirancang untuk mengelompokkan buah tomat ke dalam tiga kategori tingkat kematangan, yaitu mentah, setengah matang, dan matang, berdasarkan nilai warna yang dibaca oleh sensor TCS3200. Proses penentuan kualitas dilakukan melalui tiga tahapan utama dalam logika

fuzzy, yakni fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi, menggunakan metode Sugeno sebagai pendekatan pengambilan keputusan. Pengendalian sistem dilakukan oleh mikrokontroler *Arduino Uno*, yang memproses data dari sensor dan menggerakkan aktuator sortir secara otomatis. Inovasi utama dari penelitian ini terletak pada pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi, yang menjadikan sistem lebih ramah lingkungan dan efisien secara energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu melakukan sortir dengan akurasi yang baik, meskipun terdapat kendala pada sensitivitas sensor TCS3200 terhadap variasi intensitas cahaya lingkungan, yang dapat memengaruhi keakuratan deteksi warna. Secara keseluruhan, sistem ini berhasil menghadirkan solusi efisien dalam penyortiran buah tomat, sekaligus mengurangi ketergantungan pada proses manual.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Referensi	Judul	Metode	Hasil
1.	(Harahap, 2021)	Implementasi Metode Logika <i>Fuzzy</i> Sugeno pada Alat Penyortir Buah Tomat Berbasis Mikrokontroler	<i>Fuzzy Sugeno</i>	Berhasil menyortir buah tomat ke dalam kategori matang, setengah matang, dan mentah menggunakan <i>Fuzzy Sugeno</i> dengan akurasi yang cukup tinggi.
2.	(Alzahari et al., 2023)	Alat Penghitung Buah Menggunakan Sensor Obstacle Berbasis IoT dan Sortir Buah Berdasarkan Warna dengan Sensor TCS3200	<i>Prototype</i>	Sistem mampu menghitung jumlah buah dan menyortir buah jeruk berdasarkan warna dengan hasil yang ditampilkan secara real-time menggunakan aplikasi Blynk.
3.	(Amin et al., 2017)	Rancang Bangun Sistem Sortir Buah Apel Menggunakan Sensor Warna dan Sensor Suhu	-	Berhasil menyortir buah apel berdasarkan warna dan suhu ke dalam kategori matang dan tidak matang, dengan efisiensi tinggi.
4.	(Haris et al., 2019)	Sistem Penyortiran Buah Apel Manalagi Menggunakan Sensor Loadcell dan TCS3200 Berbasis <i>Arduino Uno</i>	<i>Prototype</i>	Berhasil menyortir apel Malang berdasarkan berat dan warna menggunakan <i>fuzzy logic</i> dengan akurasi 62.5%.
5.	(Rafli & Andika 2023)	Perancangan Alat Sortir Buah Tomat Menggunakan <i>Fuzzy</i>	<i>Fuzzy Sugeno</i>	Sistem berhasil menyortir buah tomat berdasarkan tingkat kematangan menggunakan <i>fuzzy</i>

No.	Referensi	Judul	Metode	Hasil
		Logic Sugeno Berbasis IoT		Sugeno dengan integrasi IoT untuk monitoring real-time.
6.	(Syawalia et al., 2020)	Implementasi <i>Fuzzy Logic</i> pada Sistem Sortir Otomatis Alat Penghitung Jumlah Buah Apel	<i>Fuzzy Sugeno</i>	Sistem mampu menyortir apel berdasarkan berat dan warna menggunakan <i>fuzzy Sugeno</i> dengan tingkat keberhasilan 90%.
7.	(Afrianto et al., 2023)	Rancang Bangun Sortasi Buah Tomat Menggunakan Metode <i>Fuzzy Logic</i> dengan Memanfaatkan Energi Matahari Berbasis Mikrokontroler	<i>Fuzzy Sugeno</i>	Berhasil menyortir buah tomat berdasarkan warna kematangan menggunakan <i>fuzzy Sugeno</i> dan memanfaatkan energi surya sebagai sumber daya.

Berdasarkan tinjauan terhadap penelitian-penelitian terdahulu, sebagian besar sistem sortir buah hanya mengandalkan satu parameter sensor, seperti warna atau berat, dalam menentukan tingkat kematangan dan kualitas buah. Penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dengan mengintegrasikan dua parameter utama, yaitu intensitas warna hijau dan kadar gas karbon dioksida (CO₂), guna mengevaluasi kesegaran dan kematangan buah apel secara lebih holistik. Sistem yang dikembangkan mengimplementasikan metode *Fuzzy Sugeno* berbasis mikrokontroler *ESP32*, serta didukung oleh *Firestore Realtime Database* sebagai media pemantauan berbasis web secara *real-time*. Integrasi antara sensor warna TCS3200, sensor gas SGP30, logika fuzzy Sugeno, dan teknologi *Internet of Things (IoT)* menjadikan sistem ini lebih adaptif dan responsif terhadap variasi kondisi buah. Berbeda dari pendekatan sebelumnya, penelitian ini menghadirkan solusi sortir otomatis yang tidak hanya meningkatkan ketepatan dalam pengelompokan mutu buah, tetapi juga mendukung efisiensi operasional pertanian secara berkelanjutan melalui pemanfaatan teknologi terkini.

2.2 Buah Apel Malang

Apel Malang (*Malus sylvestris* Mill.) merupakan salah satu komoditas hortikultura unggulan yang menjadi ciri khas wilayah Kota Batu, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Varietas ini dikenal sebagai salah satu jenis apel khas Indonesia yang telah lama dibudidayakan dan menjadi ikon daerah. Kota Batu sendiri merupakan sentra utama produksi apel Malang di Indonesia, dengan kondisi tanah, iklim, dan ketinggian yang sangat mendukung pertumbuhan tanaman apel. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Batu (2018), produksi apel di Kota Batu mencapai angka 545.320 kwintal per tahun, yang menunjukkan potensi besar dalam pengembangan agribisnis hortikultura, khususnya buah apel.

Namun demikian, tingginya produksi apel Malang tidak selalu diimbangi dengan pengelolaan mutu yang optimal. Permasalahan terkait kualitas sering terjadi, antara lain pada aspek penanganan pascapanen, proses distribusi, serta sistem sortir manual yang cenderung tidak konsisten. Kondisi ini menyebabkan terjadinya ketidaksesuaian kualitas antara apel yang dipasarkan secara lokal dengan yang dipasarkan pada segmen premium. Apel dengan mutu rendah umumnya kurang diminati oleh konsumen dan memiliki nilai jual yang lebih rendah, sehingga berdampak langsung terhadap pendapatan petani.

Untuk menjaga mutu dan meningkatkan daya saing apel Malang, diperlukan inovasi dalam sistem sortir dan manajemen pascapanen. Penerapan teknologi sortir otomatis, seperti pemanfaatan sensor warna dan sensor kualitas lainnya, dapat membantu memastikan hanya buah dengan kriteria tertentu yang masuk ke pasar premium. Selain itu, pengelolaan terhadap parameter kesegaran, kandungan air, dan

karakteristik warna kulit buah perlu ditingkatkan guna memperkuat daya saing apel Malang di pasar domestik maupun global. Dengan strategi tersebut, apel Malang tidak hanya berperan sebagai simbol daerah, tetapi juga sebagai komoditas unggulan bernilai ekonomi tinggi di pasar internasional.

2.3 *Internet of Thing (IOT)*

Internet of Things (IoT) merupakan jaringan perangkat yang terhubung melalui internet, di mana setiap perangkat memiliki kemampuan untuk mengumpulkan, berbagi, dan menganalisis data secara *real-time* (Srikandina et al., 2024). IoT memungkinkan interkoneksi antar perangkat fisik dan sistem, sehingga mampu berkomunikasi secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung. Penerapan IoT di berbagai sektor industri, termasuk akuakultur, memberikan peluang untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pengawasan serta pengelolaan sistem secara menyeluruh.

2.4 *NodeMCU ESP32*

ESP32 adalah modul mikrokontroler yang kuat dan serbaguna yang dikembangkan oleh *Espressif Systems* (Dhaifullasyah et.al., 2024). Modul ini dikenal karena integrasi fitur *Wi-Fi* dan *Bluetooth*, yang menjadikannya pilihan populer untuk proyek-proyek *Internet of Things*(IoT). Dibandingkan dengan pendahulunya, ESP8266, ESP32 menawarkan performa yang lebih tinggi melalui dukungan prosesor *dual-core*, kapasitas memori yang lebih besar, dan fitur tambahan lainnya, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi yang memerlukan komunikasi nirkabel dan pemrosesan data yang kompleks.

ESP32 menggunakan prosesor *Tensilica Xtensa LX6*, yang tersedia dalam konfigurasi *dual-core* atau *single-core*. Prosesor ini memiliki kecepatan *clock* hingga 240 MHz, dan modulnya memiliki 520 KB SRAM, yang memungkinkan pengolahan data untuk aplikasi berskala besar dan kompleks (Rifai, 2023). Arsitektur *dual-core* memungkinkan pemrosesan paralel, seperti menjalankan komunikasi *Wi-Fi* atau *Bluetooth* pada satu inti, sementara inti lainnya digunakan untuk pemrosesan data atau pengendalian perangkat keras.

Modul ini mendukung protokol *Wi-Fi 802.11 b/g/n* dan *Bluetooth v4.2 (BR/EDR dan Bluetooth Low Energy/BLE)*, yang memungkinkan konektivitas dengan berbagai perangkat dan jaringan. Kemampuan *dual-mode Bluetooth* memberi fleksibilitas dalam pengembangan sistem yang perlu terhubung ke perangkat *BLE* dan *Bluetooth klasik*. Dalam konteks *IoT*, konektivitas ini sangat penting untuk komunikasi dengan *cloud server*, aplikasi seluler, atau perangkat pintar lainnya.

Dari sisi perangkat lunak, ESP32 didukung oleh berbagai lingkungan pengembangan seperti *Arduino IDE*, *PlatformIO*, dan *ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework)*. Selain itu, modul ini juga kompatibel dengan bahasa pemrograman *MicroPython*, yang memudahkan proses prototyping dan pengembangan aplikasi secara cepat dan efisien.

Secara keseluruhan, ESP32 merupakan solusi mikrokontroler yang andal, dengan kapabilitas pemrosesan tinggi, konektivitas nirkabel yang mumpuni, serta dukungan ekosistem perangkat lunak yang luas (Nugraha, 2023). Modul ini memungkinkan integrasi data dari berbagai sensor, pengiriman data ke *cloud* untuk

analisis lanjutan, serta pengambilan keputusan otomatis berdasarkan kondisi yang terpantau, sehingga sangat ideal untuk aplikasi *IoT* kompleks seperti sistem pemantauan kualitas air kolam ikan berbasis *IoT*.

2.5 Mini Conveyor

Mini conveyor merupakan perangkat *material handling* yang dirancang untuk memindahkan produk atau material dari satu titik ke titik lainnya dalam proses produksi. Sistem ini berfungsi untuk meningkatkan efisiensi transportasi material melalui kecepatan yang lebih tinggi serta mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual. Dalam penelitian yang dianalisis, *mini conveyor* mampu memindahkan material sejauh 0,8 meter dengan kecepatan 0,05 m/s, menggunakan komponen seperti *belt conveyor*, motor penggerak, serta sensor inframerah atau *photodiode*. Sistem ini dilengkapi dengan pemrosesan data berbasis mikrokontroler, yang memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui jaringan nirkabel. Integrasi sistem otomatis ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi manufaktur melalui pengurangan biaya operasional, minimisasi kesalahan manusia, serta peningkatan akurasi dalam pengangkutan produk. Dengan demikian, *mini conveyor* menjadi solusi penting dalam sistem *material handling* modern yang berbasis otomasi (Bassey & Bala, 2018).

2.6 Sensor

2.6.1 TCS3200

TCS3200 merupakan sebuah *Integrated Circuit* (IC) yang berfungsi mengonversi warna cahaya menjadi sinyal frekuensi. Komponen utama dari IC ini terdiri atas *photodiode* dan konverter arus ke frekuensi. *Photodiode* pada IC TCS3200 tersusun dalam bentuk *array* 8×8 , yang terdiri dari: 16 elemen untuk menyaring cahaya merah (*red*), 16 elemen untuk menyaring cahaya hijau (*green*), 16 elemen untuk menyaring cahaya biru (*blue*), dan 16 elemen tanpa filter (Zulkarnain et al., 2019).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Haris et al. (2019), sensor warna TCS3200 digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah apel manalagi dengan rentang nilai RGB, dengan kategori kematangan sebagai berikut:

1. Matang: R = 47.33, G = 33.33, B = 27.66
2. Mengkal: R = 33.33, G = 24.00, B = 21.66
3. Minimal Matang: R = 17.66, G = 13.00, B = 11.33
4. Minimal Mengkal: R = 17.66, G = 14.66, B = 12.66

Penggunaan pendekatan *fuzzy logic*, khususnya metode Sugeno, memungkinkan sistem untuk mengelompokkan kualitas buah secara lebih akurat, sekaligus mengatasi variabilitas nilai RGB akibat kondisi pencahayaan atau faktor lingkungan lainnya. Dalam penerapannya, nilai RGB ini dikombinasikan dengan data sensor lain, seperti kadar gas atau aroma, guna menentukan status kematangan buah secara *real-time*.

2.6.2 SGP30

Sensor SGP30 merupakan sensor gas digital multi-piksel yang dirancang untuk mendeteksi kualitas udara di dalam ruangan. Sensor ini mampu mengukur *Total Volatile Organic Compounds (TVOC)* dan memberikan estimasi konsentrasi ekuivalen karbon dioksida (eCO_2) dalam rentang 0 hingga 60.000 ppm untuk CO_2 dan 0 hingga 60.000 ppb untuk *TVOC*. SGP30 menggunakan teknologi *CMOSens®* dengan kompensasi kelembaban internal untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Selain itu, sensor ini memiliki stabilitas jangka panjang yang baik, sehingga sesuai untuk aplikasi pemantauan kualitas udara dalam ruangan maupun sistem sortir buah yang memerlukan analisis komposisi gas organik yang dilepaskan selama proses pematangan atau pembusukan.

Dalam penelitian oleh Kusumah et al., (2018), sensor SGP30 digunakan dalam sistem pemantauan kualitas udara untuk mendeteksi kadar eCO_2 dan *TVOC* secara *real-time*, yang menunjukkan potensi implementasinya dalam sistem pemantauan otomatis. Berdasarkan karakteristik tersebut, sensor SGP30 dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi senyawa organik volatil yang dihasilkan oleh buah apel selama proses pematangan, menjadikannya komponen penting dalam sistem sortir berbasis *Internet of Things (IoT)* dan logika *Fuzzy Sugeno*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Azis et al.(2023), terdapat 3 kategori nilai konsentrasi CO_2 berdasarkan nilai ppm, yaitu:

1. Rendah (Fresh) : 400 ppm - 750 ppm
2. Sedang(Cukup) : 750 - 1200 ppm
3. Tinggi (Buruk) : >1200

Nilai ini kemudian difuzzifikasi dan diimplementasikan dalam logika fuzzy Sugeno untuk mengelompokkan kondisi buah secara lebih akurat serta mengantisipasi variasi kadar CO₂ akibat pengaruh lingkungan.

2.7 *Fuzzy Logic*

Logika *fuzzy* merupakan metode pengambilan keputusan yang mampu menangani ketidakpastian dan ketidakjelasan data secara lebih fleksibel dibandingkan dengan logika biner (Arigo et al., 2024). Dalam logika biner tradisional, hanya dikenal dua nilai diskret, yaitu benar (1) dan salah (0). Sebaliknya, logika *fuzzy* bekerja berdasarkan derajat keanggotaan, yang memungkinkan suatu variabel memiliki nilai dalam rentang [0, 1]. Hal ini menjadikan logika *fuzzy* sangat efektif dalam menangani kondisi yang ambigu atau tidak pasti, sebagaimana sering dijumpai pada sistem di dunia nyata.

Konsep logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh *Lotfi A. Zadeh* pada tahun 1965 untuk memodelkan sistem yang kompleks dan tidak pasti, yang tidak dapat ditangani secara efektif oleh pendekatan matematis konvensional. Pendekatan ini banyak diterapkan dalam sistem kontrol, pengambilan keputusan, serta berbagai aplikasi lain yang memerlukan pengolahan informasi yang tidak pasti atau tidak lengkap.

Dalam konteks sistem sortir buah apel Malang, logika *fuzzy* digunakan untuk mengelola *input* dari dua jenis sensor, yaitu sensor warna dan sensor gas. Sistem ini menerapkan seperangkat aturan yang dibangun berdasarkan pengalaman atau pengetahuan ahli, sehingga mampu menghasilkan keputusan optimal meskipun terdapat variasi atau ketidakpastian pada data input. Misalnya, logika fuzzy dapat

digunakan untuk menentukan tingkat kematangan atau kualitas buah secara otomatis.

Logika *fuzzy* dapat diterapkan melalui beberapa metode, dengan dua di antaranya yang paling populer adalah metode Mamdani dan Sugeno. Dalam penelitian ini, digunakan metode *Sugeno* karena lebih sederhana dan efisien dari sisi komputasi, sehingga cocok untuk sistem *real-time* seperti sortir buah apel. Proses pengambilan keputusan dilakukan melalui tiga tahap utama, yaitu: *fuzzifikasi*, *inferensi* (penerapan aturan), dan *defuzzifikasi*. Pada tahap *fuzzifikasi*, nilai *input* dari sensor—seperti intensitas warna hijau dan kadar gas—dikonversi menjadi derajat keanggotaan pada himpunan *fuzzy*. Selanjutnya, aturan *fuzzy* dalam bentuk IF–THEN diterapkan, misalnya: “IF intensitas warna hijau tinggi AND kadar gas rendah THEN buah matang.” Aturan-aturan ini dievaluasi oleh mesin inferensi untuk menghasilkan *output*.

Tahap terakhir adalah *defuzzifikasi*, di mana hasil *fuzzy* dikonversi menjadi nilai numerik (*crisp*) yang dapat digunakan oleh sistem sortir. Menurut Muhammad Afdhal et al. (2021), dalam metode Sugeno, *defuzzifikasi* dilakukan dengan menggunakan rumus rata-rata berbobot (*weighted average*) pada rumus 2.1:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- w_i = Bobot atau derajat keanggotaan dari aturan *fuzzy* ke- i
- z_i = Nilai *output* dari aturan ke- i (biasanya berupa konstanta atau fungsi linier)
- n = Jumlah aturan *fuzzy* yang digunakan

Sebagai contoh, jika terdapat dua aturan *fuzzy* dengan derajat keanggotaan $w_1 = 0,7$ dan $w_2 = 0,4$, serta *output* masing-masing $z_1 = 10$ (pengisian cepat) dan $z_2 = 2$ (pengisian lambat), maka nilai *output* akhir dihitung dengan rumus 2.2:

$$Z = \frac{(0.7 \times 10) + (0.4 \times 2)}{0.7 + 0.4} = 7 \quad (2.2)$$

Dengan demikian, metode Sugeno memberikan solusi yang sederhana namun efektif dalam pengelolaan sistem sortir buah apel Malang, karena mampu beradaptasi terhadap kondisi *input* yang bervariasi dan tidak pasti.

2.7.1 Metode Fuzzy Sugeno

Metode Sugeno merupakan salah satu jenis metode inferensi *fuzzy* yang memiliki kemiripan dengan metode Mamdani, namun dengan perbedaan utama terletak pada bentuk *output*-nya. Jika pada metode Mamdani konsekuen berupa himpunan *fuzzy*, maka pada metode Sugeno, konsekuen diekspresikan dalam bentuk konstanta atau fungsi linear. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh *Michio Sugeno*, yang mengusulkan penggunaan *singleton* sebagai fungsi keanggotaan untuk konsekuen. *Singleton* sendiri merupakan himpunan *fuzzy* yang memiliki derajat keanggotaan 1 pada satu titik tertentu dan 0 di titik lainnya (Jafariet al., 2020).

Keunggulan utama metode Sugeno adalah kemampuannya untuk menghasilkan *output* numerik yang dapat langsung diterapkan dalam sistem kontrol, termasuk pada sistem *real-time* (Aji & Sutikno, 2023). Hal ini menjadikan metode Sugeno sangat cocok digunakan dalam pengaturan perangkat keras, seperti aktuator dalam sistem sortir buah berbasis logika fuzzy. Misalnya, dalam sistem

sortir buah apel, metode Sugeno dapat digunakan untuk menentukan tingkat kualitas buah (segar atau busuk) secara langsung berdasarkan kombinasi nilai sensor.

Pada metode ini, setiap aturan fuzzy menghasilkan fungsi output dalam bentuk konstanta atau fungsi linier. Untuk sistem sederhana, output dapat berupa nilai tetap (konstanta), sedangkan dalam sistem yang lebih kompleks, bentuk output-nya adalah fungsi linier dari variabel input. Secara umum, bentuk fungsi linier tersebut ditulis pada rumus 2.3 (Malona, 2020):

$$z = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + b \quad (2.3)$$

Keterangan:

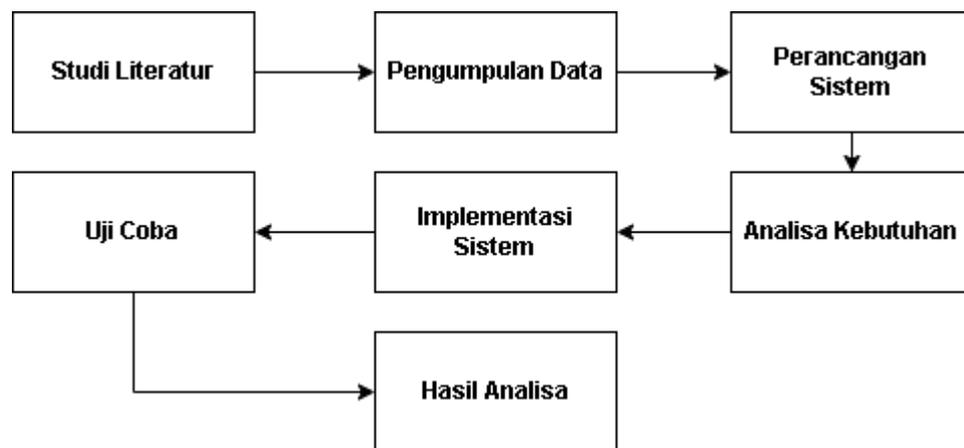
z = Output aturan Fuzzy
 x_1, x_2, \dots, x_n = Variabel Input
 a_1, a_2, \dots, a_n = Koevisien atau bobot untuk *inputnya*
 b = Konstanta

Pemilihan metode Sugeno dalam penelitian ini didasarkan pada efisiensi komputasi dan kemampuannya dalam menghasilkan keputusan yang presisi dengan respon yang cepat. Karakteristik tersebut menjadikan metode ini sangat sesuai untuk aplikasi pengendalian adaptif berbasis logika *fuzzy* yang diimplementasikan pada sistem sortir berbasis *Internet of Things (IoT)*, khususnya pada kondisi lingkungan yang berubah-ubah secara *real-time*.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dirancang secara sistematis dan runtut, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Metode Penelitian

Gambar 3.1 memperlihatkan alur metode penelitian yang digunakan dalam proses pengembangan sistem yang diusulkan. Proses ini disusun secara sistematis melalui sejumlah tahapan yang saling berkesinambungan, dengan tujuan menghasilkan solusi yang relevan dan sesuai dengan rumusan masalah serta tujuan penelitian. Setiap tahapan dilaksanakan secara berurutan, dimulai dari studi literatur hingga diperoleh hasil analisis akhir terhadap performa dari solusi yang dibangun.

Langkah pertama adalah studi literatur, yaitu kegiatan mencari, menelaah, dan mengkaji referensi dari berbagai sumber ilmiah guna memperkuat kerangka teori dan mendukung pemahaman terhadap topik penelitian. Tahapan berikutnya adalah pengumpulan data sekunder, yang dilakukan melalui penelaahan dokumen-dokumen relevan terkait perancangan sistem otomatisasi dan teknologi pendukung

yang digunakan. Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis dalam tahap analisis kebutuhan, untuk mengidentifikasi fitur, perangkat keras, dan perangkat lunak yang diperlukan dalam pengembangan sistem.

Selanjutnya, dilakukan perancangan sistem, yang mencakup pembuatan arsitektur fungsional, diagram alur kerja, serta penentuan komponen dan logika kontrol yang akan diimplementasikan. Setelah rancangan disusun, tahapan dilanjutkan pada implementasi, di mana seluruh rancangan direalisasikan secara teknis menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak yang telah ditentukan.

Tahap berikutnya adalah pengujian, yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan skenario uji tertentu. Terakhir, dilakukan analisis hasil, yaitu kegiatan menganalisis data dari hasil pengujian untuk menilai efektivitas dan ketepatan fungsionalitas sistem yang telah dikembangkan.

Dengan mengikuti tahapan ini, proses penelitian dilakukan secara terstruktur dan metodologis, sehingga diharapkan mampu menghasilkan solusi teknologi yang optimal serta sesuai dengan kebutuhan dan tujuan yang telah ditetapkan. Penjabaran lebih rinci mengenai masing-masing tahapan akan disampaikan pada subbab berikutnya.

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori, konsep, dan metode yang relevan dengan penelitian pengembangan sistem sortir buah apel berdasarkan parameter warna dan kadar gas CO_2 , menggunakan pendekatan logika *fuzzy Sugeno*. Penelitian ini memanfaatkan sensor warna *TCS3200* dan sensor gas *SGP30* sebagai input utama dalam proses mengkategorikan tingkat kematangan buah.

Sensor warna *TCS3200* digunakan untuk mendeteksi intensitas warna hijau pada permukaan buah apel, yang menurut penelitian Haris et al. (2019) dapat digunakan sebagai indikator tingkat kematangan. Berdasarkan hasil pengamatan dan pengolahan data, nilai intensitas warna hijau pada buah apel berada dalam rentang 0 hingga 60. Nilai ini merepresentasikan seberapa dominan komponen warna hijau yang terdeteksi oleh sensor, di mana semakin rendah nilai intensitas hijau menunjukkan bahwa apel berada pada tahap kematangan yang optimal. Sebaliknya, nilai intensitas yang terlalu tinggi dapat mengindikasikan bahwa buah masih mentah atau mengalami degradasi warna yang tidak sesuai, seperti pada kondisi busuk.

Sementara itu, sensor gas *SGP30* digunakan untuk mengukur kadar CO_2 yang dihasilkan melalui proses respirasi buah. Buah apel yang matang umumnya menghasilkan CO_2 dalam kisaran 400–450 ppm, sedangkan buah yang mulai membusuk menghasilkan kadar CO_2 lebih dari 500 ppm.

3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengukuran langsung oleh sensor-sensor yang terpasang pada sistem, sedangkan data sekunder merupakan hasil pengolahan dan analisis dari data primer yang dilakukan oleh sistem berbasis *Internet of Things (IoT)*. Seluruh data dikumpulkan secara *real-time* untuk memantau kualitas buah apel selama proses sortir berlangsung. Penjelasan masing-masing jenis data adalah sebagai berikut:

Data primer diperoleh dari pengukuran sensor warna *TCS3200* dan sensor gas *SGP30* yang terintegrasi dalam perangkat keras sistem. Sensor warna menghasilkan data berupa nilai intensitas warna hijau (*green*) yang diukur langsung dari permukaan buah apel saat melewati sensor. Sementara itu, sensor gas mengukur konsentrasi gas yang dihasilkan oleh buah dalam satuan ppm (*parts per million*). Data dari kedua sensor ini dikumpulkan secara *real-time* oleh mikrokontroler ESP32 dan disimpan untuk keperluan analisis lanjutan.

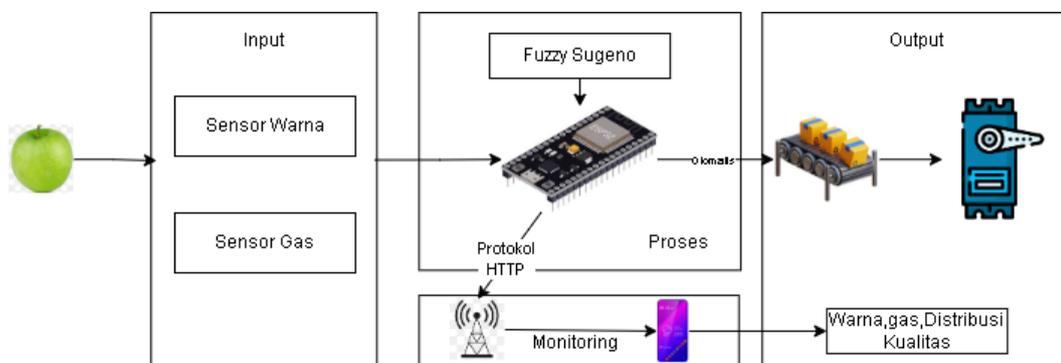
Data sekunder merupakan hasil pemrosesan data primer oleh sistem sortir yang tertanam dalam ESP32. Data ini mencakup hasil pengelompokan kematangan buah, seperti kategori matang atau busuk, yang dihasilkan setelah data primer dianalisis menggunakan metode logika fuzzy Sugeno. Berdasarkan hasil tersebut, sistem menggerakkan aktuator berupa motor servo untuk menyortir buah apel sesuai dengan kualitas yang telah ditentukan.

Dengan demikian, data primer dikumpulkan secara otomatis oleh sensor, sedangkan data sekunder dihasilkan melalui proses analisis dan pengambilan keputusan yang dilakukan oleh sistem sortir berbasis ESP32 dan *IoT*.

3.3 Perancangan Sistem

Untuk memahami alur kerja sistem sortir apel Malang berbasis teknologi *Internet of Things (IoT)*, diperlukan gambaran menyeluruh mengenai bagaimana data dikumpulkan, diproses, dan menghasilkan output yang sesuai. Sistem ini dirancang untuk mengintegrasikan komponen *hardware* dan *software* secara efisien guna meningkatkan akurasi dalam mekategorikan apel berdasarkan tingkat

kematangan dan kesegarannya. Gambar 3.2 menyajikan skema umum dari sistem, yang terdiri atas tiga bagian utama: *Input*, *Proses*, dan *Output*.



Gambar 3. 2 Desain Sistem

Pada tahap *Input*, data dikumpulkan melalui dua jenis sensor, yaitu sensor warna *TCS3200* dan sensor gas *SGP30*. Sensor warna digunakan untuk mendeteksi intensitas warna hijau pada permukaan buah sebagai indikator kematangan, sedangkan sensor gas mengukur konsentrasi karbon dioksida (CO_2) yang berkaitan dengan tingkat kesegaran buah.

Tahap *Proses* dijalankan oleh mikrokontroler ESP32, yang memproses data dari kedua sensor menggunakan pendekatan logika *fuzzy Sugeno*. Dalam sistem ini diterapkan seperangkat aturan (*rule-based system*) untuk mengategorikan apel ke dalam kategori kualitas, yaitu matang atau busuk. Data hasil pemrosesan dikirim melalui protokol *HTTP* dan disimpan di *Firestore Realtime Database*, sehingga dapat diakses secara *real-time* untuk keperluan *monitoring* maupun analisis performa sistem melalui antarmuka aplikasi berbasis web.

Pada tahap *Output*, sistem mengelola proses sortir secara otomatis berdasarkan hasil mengategorikan. Apel yang teridentifikasi sebagai matang diarahkan ke jalur penyimpanan atau distribusi premium, sementara apel dalam

kategori busuk diarahkan ke jalur lain untuk penanganan lanjutan. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dan akurasi proses penyortiran, tetapi juga berkontribusi terhadap keberlanjutan agribisnis dengan mengurangi limbah pangan dan mengoptimalkan hasil panen.

3.4 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komponen, perangkat keras (*hardware*), dan perangkat lunak (*software*) yang diperlukan dalam pengembangan sistem sortir buah apel Malang berbasis *Internet of Things (IoT)*.

3.4.1 *Hardware System*

Komponen *hardware* yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- 1) Mikrokontroler ESP32
- 2) *Mini Conveyor*
- 3) Sensor Warna (TCS3200)
- 4) Sensor Gas (SGP30)
- 5) Motor Servo
- 6) *Power Supply*
- 7) *Breadboard*
- 8) Kabel Dan Konektor
- 9) *Step-down DC to DC(LM2596)*

3.4.2 *Software System*

Perangka *Software* yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- 1) *Arduino IDE*.
- 2) *Firebase Realtime Database*
- 3) HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*)
- 4) VS Code (*Visual Studio Code*)

3.5 **Desain Implementasi Sistem**

Implementasi sistem dalam penelitian ini mencakup serangkaian tahapan mulai dari perancangan logika hingga operasional sistem sortir buah apel Malang berbasis logika *fuzzy Sugeno*. Desain implementasi ini dirancang agar dapat mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, serta platform *Internet of Things (IoT)* secara efisien dan terstruktur.

Tahapan pertama dalam implementasi adalah proses fuzzifikasi, yaitu konversi data mentah yang diperoleh dari sensor warna *TCS3200* dan sensor gas *SGP30* menjadi nilai derajat keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*. Nilai-nilai ini merepresentasikan parameter kualitas buah, seperti tingkat kematangan berdasarkan intensitas warna hijau dan tingkat kesegaran berdasarkan kadar CO_2 .

Selanjutnya, sistem melanjutkan ke tahap inferensi *fuzzy*, di mana aturan-aturan yang telah ditentukan dalam basis aturan *fuzzy Sugeno* diterapkan untuk mengevaluasi kombinasi kondisi *input*. Aturan ini dirancang dalam bentuk *if-then* dan menghasilkan *output* antara berdasarkan skenario logika yang telah didefinisikan.

Tahap terakhir adalah defuzzifikasi, yaitu proses konversi hasil *fuzzy* menjadi nilai numerik (*crisp value*) yang digunakan sebagai dasar keputusan penyortiran. *Output* ini menentukan perintah yang akan dijalankan oleh aktuator dalam sistem fisik.

Seluruh proses implementasi dijalankan pada mikrokontroler ESP32, yang berfungsi untuk memproses data sensor secara real-time, mengendalikan motor servo untuk proses sortir fisik, serta mengirimkan hasil penentuan kualitas buah ke Firebase Realtime Database melalui koneksi internet menggunakan protokol HTTP. Integrasi dengan platform IoT memungkinkan sistem untuk dipantau dan dikendalikan secara daring melalui antarmuka aplikasi berbasis web.

Dengan pendekatan ini, sistem sortir buah apel Malang tidak hanya mampu melakukan proses pengkategorian dan penyortiran secara otomatis dan efisien, tetapi juga menyediakan visibilitas data secara *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data yang lebih akurat.

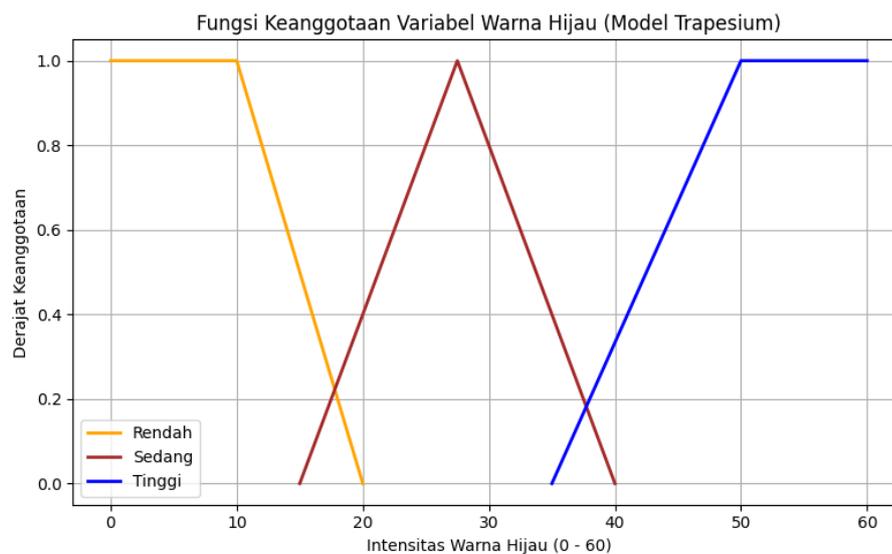
3.5.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan tahap awal dalam sistem logika *fuzzy* yang berfungsi untuk mengubah data *crisp*—yaitu data pasti yang diperoleh dari sensor—menjadi nilai derajat keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*. Pada sistem sortir apel Malang ini, data primer diperoleh dari dua sensor: sensor warna TCS3200, yang mendeteksi intensitas warna hijau, dan sensor gas SGP30, yang mengukur kadar gas karbon dioksida (CO_2). Kedua variabel ini merepresentasikan parameter kematangan dan kesegaran buah.

1. Variabel Warna (*Green Value*)

Data dari sensor TCS3200 diproses berdasarkan intensitas warna hijau (green), karena warna hijau merupakan indikator utama dalam perubahan visual selama proses pematangan apel. Berdasarkan pengamatan dan pengolahan data (Haris, 2019), nilai *green* dibagi ke dalam tiga himpunan fuzzy:

- Rendah : untuk nilai *Green* antara 0 hingga 20
- Sedang : untuk nilai *Green* antara 15 hingga 40
- Tinggi : untuk nilai *Green* antara 35 hingga 60



Gambar 3. 3 Derajat Keanggotaan Hijau

Gambar 3.3 menunjukkan fungsi keanggotaan untuk variabel warna hijau. Fungsi keanggotaan yang digunakan berbentuk segitiga (*triangular membership function*), yang memungkinkan representasi nilai yang lebih fleksibel dan mampu menangani data yang tidak pasti.

Fungsi Keanggotaan Warna dapat dilihat dari rumus:

a) Rendah ($G = 0 - 20$)

$$\mu_{rendah}(G) = \begin{cases} 1, & 0 \leq G \leq 0 \\ \frac{20 - G}{20}, & 0 < G < 20 \\ 0, & G \geq 20 \end{cases} \quad (3.1)$$

b) Sedang ($G = 15 - 40$)

$$\mu_{sedang}(G) = \begin{cases} 0, & G \leq 15 \text{ atau } G \geq 40 \\ \frac{G - 15}{10}, & 15 < G \leq 25 \\ \frac{40 - G}{15}, & 25 < G \leq 40 \end{cases} \quad (3.2)$$

c) Tinggi ($G = 35 - 60$)

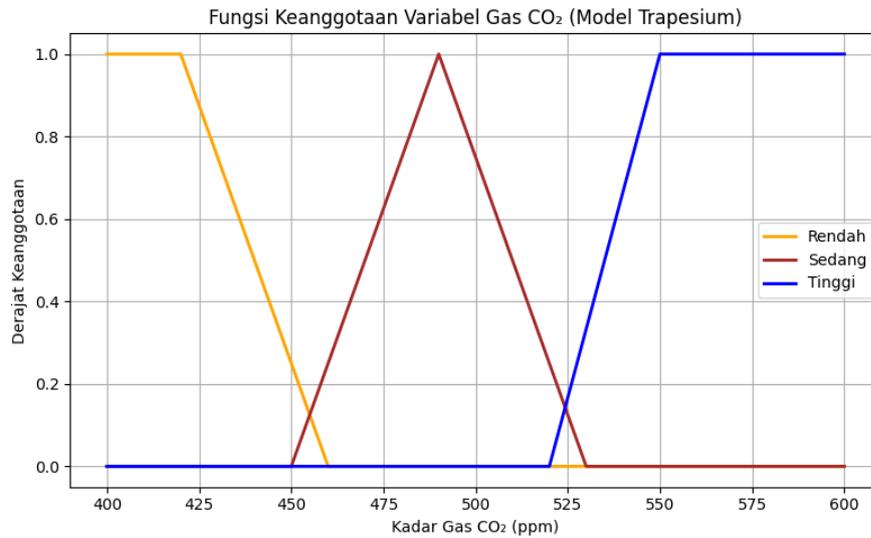
$$\mu_{tinggi}(G) = \begin{cases} 0, & G \leq 35 \\ \frac{G - 35}{25}, & 35 < G < 60 \\ 1, & G \geq 60 \end{cases} \quad (3.3)$$

2. Variabel Gas CO₂

Sensor *SGP30* digunakan untuk mengukur konsentrasi CO₂ (dalam satuan *parts per million* / ppm) yang dihasilkan oleh buah selama respirasi. Kadar gas ini digunakan sebagai indikator kesegaran buah, dengan asumsi bahwa semakin tinggi kadar CO₂, semakin rendah tingkat kesegarannya. Rentang nilai yang digunakan dalam sistem dibagi menjadi tiga himpunan *fuzzy* (Azis, 2023):

- a. Rendah : untuk nilai CO₂ antara 400 hingga 460 ppm
- b. Sedang : untuk nilai CO₂ antara 450 hingga 530
- c. Tinggi : untuk nilai CO₂ antara 520 hingga 600 ppm

Gambar 3.4 menunjukkan kurva derajat keanggotaan untuk variabel gas CO₂.



Gambar 3. 4 Derajat Keanggotaan CO₂

Fungsi Keanggotaan Co₂ dapat dilihat pada rumus:

- a) Rendah ($C = 400 - 460$)

$$\mu_{rendah}(C) = \begin{cases} 1, & C \leq 400 \\ \frac{460 - C}{460 - 400}, & 400 < C < 460 \\ 0, & C \geq 460 \end{cases} \quad (3.4)$$

- b) Sedang ($C = 450 - 530$)

$$\mu_{sedang}(C) = \begin{cases} 0, & C \leq 450 \text{ atau } C \geq 530 \\ \frac{C - 450}{40}, & 450 < C \leq 490 \\ \frac{530 - C}{40}, & 490 < C \leq 530 \end{cases} \quad (3.5)$$

- c) Tinggi ($C = 520 - 600$)

$$\mu_{tinggi}(C) = \begin{cases} 0, & C \leq 520 \\ \frac{C - 520}{80}, & 520 < C < 600 \\ 1, & C \geq 600 \end{cases} \quad (3.6)$$

Fuzzifikasi merupakan fondasi utama dalam sistem logika *fuzzy*, karena menentukan bagaimana data sensor dikonversi ke dalam bentuk representasi

linguistik yang dapat diproses lebih lanjut. Penggunaan tiga himpunan *fuzzy* untuk masing-masing variabel (rendah, sedang, tinggi) memberikan fleksibilitas dalam menangani ambiguitas data dan meningkatkan akurasi proses inferensi *fuzzy*. Hasil dari tahap ini akan digunakan sebagai *input* dalam tahap inferensi untuk menghasilkan keputusan sortir yang lebih tepat berdasarkan kondisi aktual buah di lapangan.

3.5.2 Mesin Inferensi Fuzzy

Setelah tahap *fuzzifikasi*, sistem melanjutkan ke tahap *inferensi fuzzy*, yaitu proses di mana data fuzzy diproses menggunakan seperangkat aturan logika untuk menghasilkan keputusan. Sistem ini menerapkan metode Fuzzy Sugeno, yang menghasilkan output berupa nilai *crisp* melalui pendekatan berbasis aturan (*rule-based system*) dengan konsekuen berupa konstanta atau fungsi linier sederhana.

Aturan *fuzzy* dirumuskan dalam bentuk pernyataan *IF-THEN*, dengan menggabungkan dua variabel *input* utama, yaitu intensitas warna hijau dan kadar gas CO_2 . Karena masing-masing variabel dibagi ke dalam tiga himpunan *fuzzy* (Rendah, Sedang, dan Tinggi), maka terdapat sembilan kombinasi aturan *fuzzy* yang digunakan dalam sistem, sebagaimana dirangkum berikut:

1. *IF* intensitas warna hijau Rendah *AND* kadar CO_2 Rendah, *THEN* Matang
2. *IF* intensitas warna hijau Rendah *AND* kadar CO_2 Sedang, *THEN* Matang
3. *IF* intensitas warna hijau Rendah *AND* kadar CO_2 Tinggi, *THEN* Matang
4. *IF* intensitas warna hijau Sedang *AND* kadar CO_2 Rendah, *THEN* Matang
5. *IF* intensitas warna hijau Sedang *AND* kadar CO_2 Sedang, *THEN* Matang
6. *IF* intensitas warna hijau Sedang *AND* kadar CO_2 Tinggi, *THEN* Busuk

7. *IF* intensitas warna hijau Tinggi *AND* kadar CO_2 Rendah, *THEN* Busuk
8. *IF* intensitas warna hijau Tinggi *AND* kadar CO_2 Sedang, *THEN* Busuk
9. *IF* intensitas warna hijau Tinggi *AND* kadar CO_2 Tinggi, *THEN* Busuk

Aturan 1 digunakan ketika intensitas warna hijau rendah dan kadar CO_2 rendah, yang menandakan bahwa buah apel berada dalam kondisi visual matang dan fisiologis segar. Kombinasi ini mengindikasikan kualitas buah yang optimal, sehingga sistem mengkategorikan sebagai Matang.

Aturan 2 berlaku saat intensitas warna hijau rendah dan kadar CO_2 sedang. Meskipun kadar gas mulai meningkat, nilai warna hijau yang rendah tetap menjadi indikator utama kematangan. Oleh karena itu, buah tetap dikategorikan sebagai Matang.

Aturan 3 menunjukkan situasi di mana warna hijau rendah namun kadar CO_2 tinggi, yang biasanya mengarah pada kondisi pembusukan. Namun, karena warna masih menunjukkan kematangan yang baik, sistem tetap menetapkan buah sebagai Matang. Dalam konteks ini, warna menjadi parameter dominan.

Aturan 4 diterapkan saat intensitas warna hijau sedang dan kadar CO_2 rendah. Buah dalam kondisi transisi kematangan, namun kadar gas yang masih rendah menunjukkan bahwa buah belum membusuk. Sistem menganggap kondisi ini masih layak dikategorikan sebagai Matang.

Aturan 5 mencerminkan kondisi warna hijau sedang dan kadar CO_2 sedang. Kombinasi ini menunjukkan kematangan menengah dan tingkat kesegaran yang cukup. Berdasarkan evaluasi fuzzy, sistem tetap memberikan keputusan bahwa buah termasuk dalam kategori Matang.

Aturan 6 berlaku ketika warna hijau sedang namun kadar CO_2 tinggi, yang menjadi sinyal kuat bahwa proses pembusukan telah dimulai, meskipun warna belum ekstrem. Oleh karena itu, sistem mengkategorikan buah sebagai Busuk.

Aturan 7 digunakan saat warna hijau tinggi dan kadar CO_2 rendah. Warna hijau yang tinggi menandakan bahwa buah belum matang atau tidak segar, meskipun gas belum terdeteksi dalam jumlah signifikan. Visual menjadi acuan kuat dalam sortir otomatis, sehingga buah dikategorikan sebagai Busuk.

Aturan 8 terjadi saat warna hijau tinggi dan kadar CO_2 sedang. Kedua indikator ini secara bersamaan mengarah pada kemungkinan buah tidak layak konsumsi, sehingga sistem menetapkan kategori Busuk.

Aturan 9 menunjukkan kondisi warna hijau tinggi dan kadar CO_2 tinggi, yang merupakan indikasi jelas bahwa buah telah kehilangan kesegarannya secara visual dan fisiologis. Maka dari itu, sistem secara tegas menetapkan buah sebagai Busuk.

Setiap aturan yang aktif akan menghasilkan nilai *crisp* sesuai dengan bobot (derajat kebenaran) input yang dikenali pada masing-masing aturan. Nilai-nilai ini dikombinasikan menggunakan metode rata-rata terbobot (*weighted average*), menghasilkan satu nilai akhir yang akan digunakan pada proses *defuzzifikasi*. Nilai ini kemudian dijadikan dasar dalam menentukan apakah buah akan masuk kategori sortir sebagai Segar (Matang) atau Busuk, sehingga sistem dapat bekerja secara otomatis dan efisien.

3.5.3 Defuzzifikasi (*Defuzzification*)

Dalam implementasi metode *Fuzzy Sugeno* pada sistem sortir buah apel Malang, tahap *defuzzifikasi* merupakan proses krusial untuk mengubah *output fuzzy*

menjadi nilai *crisp* (nilai pasti) yang dapat langsung digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan oleh sistem. Penelitian ini menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde-0 dengan teknik *defuzzifikasi* rata-rata terbobot (*weighted average*), yang dikenal karena kesederhanaan perhitungan serta efektivitasnya dalam menghasilkan keputusan yang tegas dan terukur. Metode Rata-rata Terbobot pada Fuzzy Sugeno orde-0 bekerja dengan prinsip sebagai berikut:

1. Setiap aturan *fuzzy* ini menghasilkan *output* berupa nilai konstanta.
2. Tingkat kebenaran dari setiap aturan dihitung berdasarkan *input* yang diterima.
3. *Output* akhir diperoleh dengan menghitung rata-rata tertimbang dari semua *output* aturan.

Pada metode Sugeno orde-0, setiap aturan fuzzy memiliki konsekuen berupa nilai konstan, dan hasil akhirnya diperoleh dengan menghitung rata-rata tertimbang dari seluruh output aturan yang aktif. Secara matematis, rumus *weighted average* dirumuskan pada rumus 3.7 berikut (Rochana et al., 2017):

$$Z = \frac{\sum(\alpha_i \times z_i)}{\sum \alpha_i} \quad (3.7)$$

Keterangan:

- z = *output* akhir (nilai *crisp*)
 α_i = tingkat kebenaran (*firing strength*) untuk aturan ke- i
 z_i = nilai *output* konstan untuk aturan ke- i

Dalam konteks ini atau dalam sistem sortir buah apel malang, implementasi dari *defuzzifikasi* ini bisa dijelaskan melalui contoh berikut:

1. Definisikan aturan *fuzzy*

Berikut adalah aturan *fuzzy* yang digunakan dalam sistem:

- a. Aturan 1: *IF* intensitas warna hijau rendah *AND* kadar CO_2 rendah, *THEN* buah Matang ($z_1 = 1$)
- b. Aturan 2: *IF* intensitas warna hijau tinggi *AND* kadar CO_2 sedang, *THEN* buah Matang ($z_2=1$)
- c. Aturan 3: *IF* intensitas warna hijau rendah *AND* kadar CO_2 tinggi, *THEN* buah Matang ($z_3=1$)
- d. Aturan 4: *IF* intensitas warna hijau sedang *AND* kadar CO_2 rendah, *THEN* buah Matang ($z_4=1$)
- e. Aturan 5: *IF* intensitas warna hijau sedang *AND* kadar CO_2 sedang, *THEN* buah Matang ($z_5=1$)
- f. Aturan 6: *IF* intensitas warna hijau sedang *AND* kadar CO_2 tinggi, *THEN* buah Busuk ($z_6=0$)
- g. Aturan 7: *IF* intensitas warna hijau tinggi *AND* kadar CO_2 rendah, *THEN* buah Busuk ($z_7=0$)
- h. Aturan 8: *IF* intensitas warna hijau tinggi *AND* kadar CO_2 sedang, *THEN* buah Busuk ($z_8=0$)
- i. Aturan 9: *IF* intensitas warna hijau tinggi *AND* kadar CO_2 tinggi, *THEN* buah Busuk ($z_9=0$)

2. Evaluasi Aturan

Misalnya, hasil dari proses *fuzzifikasi* menunjukkan bahwa hanya dua aturan yang aktif berdasarkan kondisi *input*:

- a. $\alpha_1 = 0.5$ aturan 1 aktif (Rendah - Rendah)
- b. $\alpha_3 = 0.5$ aturan 3 aktif (Rendah - Tinggi)

Aturan lainnya tidak aktif karena nilai keanggotaannya adalah nol.

3. Proses *Defuzzifikasi*

Nilai *crisp output* dihitung menggunakan rumus *weighted average* sebagai berikut:

$$z = \frac{(0.5 \times 1) + (0.5 \times 1)}{0.5 + 0.5}$$

$$z = \frac{1}{1}$$

$$z = 1$$

4. Interpretasi Hasil

Nilai *output* akhir $Z = 1$ menunjukkan bahwa sistem menyimpulkan buah dalam kondisi Matang. Nilai ini selanjutnya digunakan oleh unit kontrol berbasis ESP32 untuk mengaktifkan komponen aktuator, seperti motor servo, guna mengarahkan buah ke jalur sortir yang sesuai.

Dengan menggunakan metode *rata-rata terbobot (weighted average)* pada *Fuzzy Sugeno orde-0*, sistem dapat menghasilkan keputusan yang cepat, terukur, dan sesuai dengan kondisi nyata berdasarkan data sensor secara *real-time*. Pendekatan ini sangat efektif untuk sistem otomasi seperti sortir buah, di mana efisiensi dan akurasi sangat dibutuhkan.

3.5.4 Implementasi Kontrol dengan ESP32

Implementasi kontrol pada sistem sortir buah apel Malang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali utama. Perangkat ini terhubung langsung dengan sensor warna TCS3200 dan sensor gas SGP30 untuk mendeteksi intensitas warna hijau serta kadar gas CO_2 dari buah apel secara *real-time*. Data

yang diperoleh dari sensor kemudian diproses oleh ESP32 menggunakan algoritma logika *fuzzy Sugeno* untuk menentukan tingkat kematangan dan kesegaran buah.

Berdasarkan hasil inferensi, ESP32 mengirimkan sinyal kendali ke motor servo untuk menjalankan mekanisme penyortiran. Motor ini berfungsi mengarahkan buah ke jalur sortir yang sesuai: jalur untuk buah Matang atau jalur untuk buah Busuk, sesuai dengan nilai output *crisp* yang diperoleh dari proses *defuzzifikasi*.

Dengan konfigurasi ini, ESP32 tidak hanya berperan sebagai pengumpul dan pemroses data sensor, tetapi juga sebagai pengendali eksekusi keputusan sortir secara otomatis. Integrasi fungsi pengukuran, pengolahan logika fuzzy, dan aktuasi mekanik ini memastikan proses penyortiran berjalan dengan efisien, akurat, dan adaptif terhadap kondisi aktual buah di lapangan.

3.6 Rancangan Eksperimen

Bagian ini menjelaskan rancangan eksperimen yang dilakukan untuk menguji kinerja sistem logika fuzzy Sugeno dalam menentukan kualitas buah apel berdasarkan masukan dari sensor warna dan sensor gas. Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk mengevaluasi apakah sistem dapat menghasilkan output yang sesuai dengan harapan dan memberikan keputusan sortir yang akurat berdasarkan kondisi input.

Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa kombinasi nilai input berupa intensitas warna hijau dan kadar gas CO_2 , yang kemudian diproses oleh sistem untuk menghasilkan output *crisp*. Hasil dari proses tersebut akan

dibandingkan dengan nilai yang diharapkan berdasarkan aturan fuzzy yang telah dirancang sebelumnya.

Data dari hasil eksperimen disajikan dalam bentuk tabel 3.1, sebagaimana contoh berikut:

Tabel 3. 1 Rancangan *Experimen*

Aturan	Input		Diharapkan	Kenyataan	Keterangan
	Warna	Gas			

Dalam tabel tersebut, dicatat masukan yang diberikan ke sistem, hasil keluaran yang diharapkan (*expected output*), hasil keluaran aktual yang dihasilkan sistem, serta keterangan untuk menunjukkan apakah hasil tersebut sesuai dengan ekspektasi atau tidak. Setiap aturan fuzzy yang telah ditetapkan akan diuji secara sistematis dengan variasi input yang merepresentasikan kondisi nyata di lapangan.

3.7 Pengujian dan Perhitungan *Error*

Pengujian sistem sortir buah apel Malang berbasis Internet of Things (IoT) bertujuan untuk mengevaluasi akurasi dan efektivitas metode fuzzy dalam menentukan kualitas buah berdasarkan data dari sensor warna dan sensor gas CO₂. Pengujian dilakukan dalam lingkungan terkontrol dengan pemantauan kondisi buah secara real-time, yang datanya ditangkap oleh sensor warna TCS3200 dan sensor gas SGP30.

Data sensor yang diperoleh dikirim ke mikrokontroler ESP32 dan diolah melalui sistem logika fuzzy Sugeno. Berbagai kondisi buah diuji untuk memperoleh hasil pengukuran yang representatif. Output sistem kemudian dibandingkan dengan

nilai aktual dari kondisi buah untuk menilai keakuratan keputusan sortir. Seluruh hasil uji dicatat secara sistematis dalam tabel, yang memuat nilai prediksi sistem, nilai aktual, serta indikator kesesuaian.

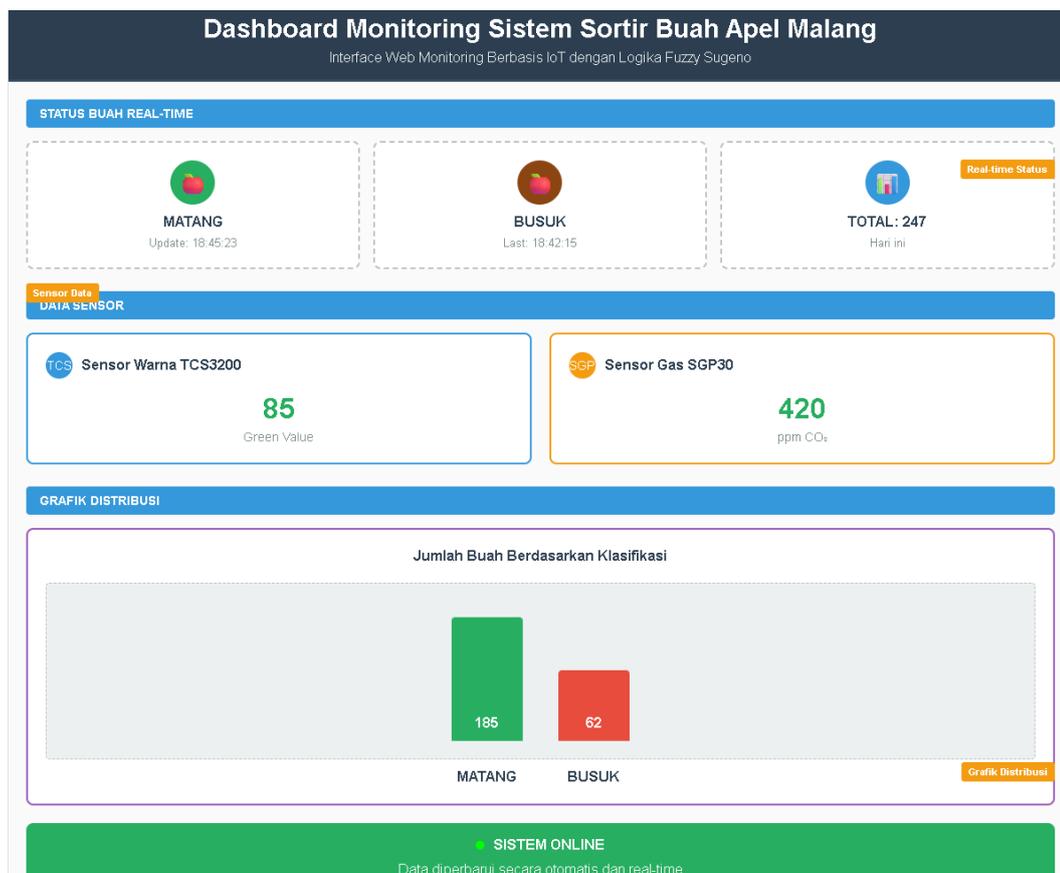
Untuk mengukur tingkat deviasi antara prediksi dan kenyataan, dilakukan perhitungan *error* menggunakan rumus persentase kesalahan sebagai berikut (Tarasovet al., 2020):

$$Error = \frac{Nilai Aktual - Nilai Prediksi}{Nilai Aktual} \times 100\% \quad (3.8)$$

Rumus ini menghitung selisih antara nilai aktual yang diamati dan nilai yang diprediksi oleh sistem, kemudian membaginya dengan nilai aktual dan mengalikannya dengan 100 untuk mendapatkan persentase *error*. Dengan metode ini, sistem dapat dievaluasi berdasarkan seberapa besar deviasi yang terjadi antara hasil sortir otomatis dan kondisi nyata, sehingga efektivitas sistem dapat dinilai secara kuantitatif.

3.8 Rancangan *Dashboard Monitoring*

Dalam penelitian ini, sebuah *dashboard* dirancang untuk memudahkan pengguna dalam memantau dan mengoperasikan sistem sortir buah apel Malang berbasis *Internet of Things (IoT)*. *Dashboard* ini menampilkan data variabel warna dan kadar gas CO_2 secara *real-time*, sehingga pengguna dapat dengan mudah memantau kondisi kualitas buah apel yang sedang diproses. Tampilan yang informatif dan responsif mendukung proses pengambilan keputusan serta pemantauan performa sistem secara langsung.



Gambar 3. 5 Rancangan *Dashboard Monitoring*

Gambar 3.5 memperlihatkan rancangan antarmuka web monitoring yang menampilkan status sortir secara real-time. Dashboard ini dirancang dengan antarmuka yang sederhana dan intuitif agar mudah dipahami oleh pengguna dari berbagai latar belakang teknis. Di bagian atas dashboard, terdapat indikator visual yang menyajikan status buah apel saat ini, ditampilkan dalam bentuk warna serta kategori kualitas (Matang atau Busuk), lengkap dengan informasi waktu pembaruan data terakhir.

Di sisi kanan atas, *dashboard* menyediakan panel data numerik yang menampilkan nilai intensitas warna hijau (*Green value*) dari sensor warna TCS3200 dan kadar gas CO₂ (dalam satuan ppm) dari sensor SGP30. Kedua nilai ini

merupakan parameter utama dalam menentukan kategori kualitas buah melalui sistem logika *fuzzy Sugeno*.

Bagian tengah dashboard dirancang untuk menampilkan grafik batang (*bar chart*) yang menyajikan jumlah buah berdasarkan kategori Matang dan Busuk. Visualisasi ini memungkinkan pengguna untuk melihat distribusi kondisi buah secara keseluruhan dan melakukan evaluasi performa sistem secara periodik.

Sementara itu, di bagian bawah dashboard ditampilkan status koneksi sistem dengan indikator “Sistem Online” serta notifikasi bahwa data diperbarui secara otomatis dan *real-time*. Dengan desain ini, dashboard tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai antarmuka pengambilan keputusan yang cepat, tepat, dan berbasis data.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi dan pengujian sistem sortir buah apel Malang berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dikembangkan dengan menerapkan metode *Fuzzy Sugeno*. Penjabaran dalam bab ini mencakup tahapan penerapan perangkat keras dan perangkat lunak, proses pengambilan data dari sensor, serta pengolahan data menggunakan logika fuzzy untuk menghasilkan keputusan sortir secara otomatis.

Selain itu, bab ini juga menjelaskan eksperimen kalibrasi dan validasi sensor yang dilakukan guna memperoleh rentang nilai akuisisi yang stabil sebagai dasar proses fuzzifikasi. Hasil pengujian sistem disajikan secara komprehensif untuk mengevaluasi tingkat ketepatan dan konsistensi sistem dalam membedakan kualitas buah ke dalam kategori matang atau busuk. Analisis performa sistem dilengkapi dengan perhitungan *error* guna mengetahui sejauh mana sistem mampu meminimalkan kesalahan dalam pengambilan keputusan secara otomatis. Dengan demikian, bab ini menjadi dasar utama dalam menilai keberhasilan sistem yang dirancang serta memberikan gambaran nyata terhadap pencapaian tujuan penelitian.

4.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem sortir buah apel Malang berbasis *Internet of Things (IoT)* pada penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Sugeno* untuk menentukan kualitas buah secara otomatis. Sistem ini dikembangkan dengan mengintegrasikan berbagai komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang dirancang untuk

mendeteksi kualitas apel berdasarkan dua parameter utama, yaitu intensitas warna hijau dan kadar gas CO_2 yang dihasilkan oleh buah.

Secara umum, sistem yang dibangun terdiri dari dua bagian utama, yaitu:

1. Sistem perangkat keras (*hardware system*), yang meliputi sensor warna, sensor gas, mikrokontroler, dan aktuator.
2. Sistem perangkat lunak (*software system*), yang mencakup pengolahan data sensor menggunakan logika fuzzy, pengambilan keputusan sortir, serta antarmuka web untuk monitoring secara *real-time*.

Kedua subsistem ini dirancang untuk saling terintegrasi dan mendukung proses penyortiran secara otomatis, efisien, dan adaptif terhadap kondisi aktual buah apel di lapangan.

4.1.1 Implementasi Sistem Perangkat Keras (*Hardware*)

Implementasi sistem sortir buah apel Malang berbasis *Internet of Things (IoT)* dalam penelitian ini direalisasikan melalui pengembangan prototipe perangkat keras (*hardware*) yang dirancang untuk bekerja secara otomatis dan terintegrasi. Sistem ini bertujuan untuk mengkategorikankan kualitas buah berdasarkan dua parameter utama, yaitu intensitas warna hijau pada permukaan buah dan kadar gas CO_2 yang dihasilkan oleh buah apel selama proses respirasi. Sistem *hardware* terdiri atas beberapa komponen utama yang bekerja secara sinergis, antara lain mikrokontroler ESP32, sensor warna TCS3200, sensor gas SGP30, motor servo, motor DC, *mini conveyor*, serta modul *step-down voltage regulator*.

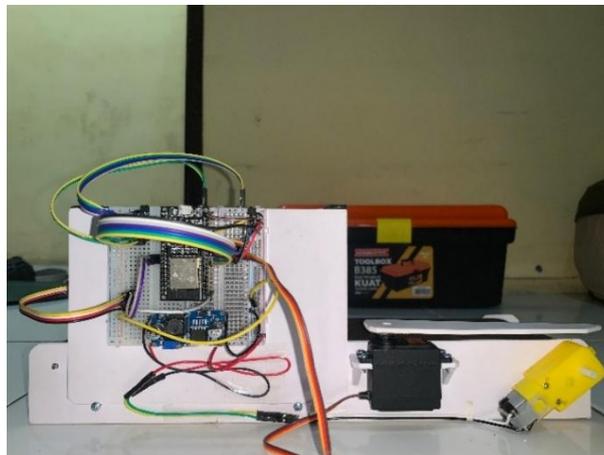
Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat kendali sistem, yang menerima input data dari sensor warna dan gas, lalu memprosesnya menggunakan logika

fuzzy Sugeno. Sensor TCS3200 digunakan untuk membaca intensitas warna hijau (*green value*) sebagai indikator kematangan buah, sedangkan sensor SGP30 mendeteksi kadar gas CO_2 sebagai indikator kesegaran. Mini conveyor berfungsi sebagai jalur pergerakan apel menuju area pendeteksian, sementara motor servo mengatur pergerakan lengan sortir untuk memisahkan buah berdasarkan hasil penilaian kualitas. Motor DC digunakan untuk menggerakkan conveyor secara berkelanjutan, dan semua komponen diberi pasokan daya dari sumber eksternal melalui regulator tegangan.

Proses perakitan sistem dilakukan secara bertahap dan sistematis. Pemasangan dimulai dengan menempatkan mikrokontroler ESP32 pada breadboard atau papan PCB sebagai pusat sistem. Sensor TCS3200 diposisikan secara vertikal di atas jalur conveyor dengan jarak optimal ± 3 cm untuk memastikan pembacaan warna yang akurat. Sensor SGP30 diletakkan di sisi conveyor yang memungkinkan pendeteksian gas secara maksimal. Mini conveyor dirakit menggunakan dua pulley dan belt, dengan motor DC sebagai penggerak utama, yang dayanya dikontrol menggunakan modul *step-down* dari tegangan input 12V menjadi 6V.

Motor servo dipasang pada ujung jalur sortir dan dikonfigurasi untuk bergerak pada sudut tertentu, yakni 135° untuk buah matang dan 180° untuk buah busuk. Seluruh komponen kemudian dihubungkan ke mikrokontroler dan diuji secara individual maupun integratif guna memastikan fungsi berjalan sesuai spesifikasi. Kalibrasi dilakukan untuk menyempurnakan jarak pembacaan sensor dan sudut gerak lengan sortir agar sesuai dengan dimensi dan karakteristik fisik buah apel.

Proses kerja sistem dimulai ketika buah diletakkan di atas *conveyor*. Saat buah bergerak, sensor warna akan membaca intensitas warna hijau dan sensor gas mengukur kadar CO_2 . Data dari kedua sensor dikirim secara *real-time* ke ESP32 dan diproses menggunakan metode *fuzzy Sugeno*. Hasil inferensi berupa nilai *crisp* digunakan untuk menentukan tindakan sortir. Jika buah terdeteksi sebagai matang, maka motor servo akan menggerakkan lengan ke jalur sortir pertama; jika terdeteksi sebagai busuk, lengan akan mengarah ke jalur kedua.



Gambar 4. 1 Rangkaian Tampak Samping

Gambar 4.1 memperlihatkan tampak samping dari keseluruhan sistem sortir buah apel berbasis IoT yang dikembangkan. Pada gambar tersebut, terlihat dengan jelas susunan komponen utama sistem, yaitu mikrokontroler ESP32, modul *step-down voltage regulator*, motor servo yang terhubung dengan lengan sortir, serta motor DC yang berfungsi sebagai penggerak konveyor atau pemindah posisi buah. Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat kendali sistem, yang menerima *input* dari sensor warna dan sensor gas, kemudian mengolah data tersebut menggunakan logika *fuzzy Sugeno*. Tegangan kerja konveyor diatur menggunakan modul *step-down*, yang menyesuaikan tegangan *input* dari sumber daya agar sesuai dengan

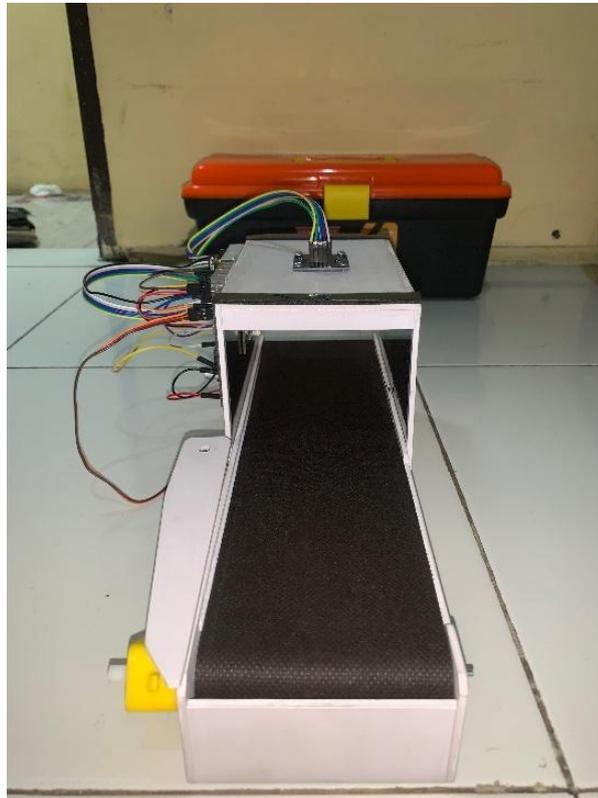
kebutuhan perangkat elektronik. Motor servo digunakan untuk menggerakkan lengan sortir secara presisi ke arah 135° dan 180° , berdasarkan hasil kategori buah (matang atau busuk) yang telah diproses oleh sistem. Sementara itu, motor DC berfungsi untuk menggerakkan media pemindahan buah (konveyor), sehingga buah dapat diposisikan dengan tepat sebelum diproses dan disortir.



Gambar 4. 2 Rangkaian Tampak Atas

Gambar 4.2 menampilkan tampak atas dari sistem sortir buah apel, yang secara khusus memperlihatkan penempatan strategis komponen sensor, terutama sensor warna TCS3200. Sensor ini diposisikan secara presisi tepat di atas jalur konveyor, dengan tujuan untuk mendeteksi warna permukaan apel secara optimal saat buah bergerak melalui sistem. Penempatan sensor di bagian atas konveyor dirancang agar sudut deteksi dan jarak terhadap objek (apel) berada dalam rentang ideal pembacaan sensor TCS3200, sehingga akurasi pengambilan data warna, khususnya intensitas warna hijau (G), dapat dimaksimalkan. Posisi ini juga

meminimalkan gangguan dari cahaya sekitar dan memungkinkan proses pengambilan data berlangsung secara konsisten.



Gambar 4. 3 Rangkaian Tampak Depan

Gambar 4.3 memperlihatkan tampak depan dari sistem sortir buah apel, yang menampilkan konveyor sebagai komponen utama dalam proses transportasi otomatis buah. Konveyor ini berfungsi sebagai jalur pergerakan apel dari titik awal menuju area deteksi sensor, dan selanjutnya ke lokasi sortir berdasarkan hasil penentuan kualitas oleh sistem. Desain konveyor dirancang secara kompak dan proporsional dengan ukuran buah apel, sehingga mampu memastikan posisi buah tetap stabil saat bergerak. Stabilitas ini penting untuk menjamin keakuratan pembacaan sensor, baik sensor warna TCS3200 yang mendeteksi intensitas warna kulit apel, maupun sensor gas SGP30 yang mengukur kadar gas yang dihasilkan.



Gambar 4. 4 Rangkaian Tampak Belakang

Gambar 4.4 menunjukkan tampak belakang sistem, memperlihatkan koneksi antar komponen *hardware* yang terintegrasi dan melihatkan posisi sensor gas SGP30.

Kombinasi komponen-komponen ini menciptakan sistem yang efektif dalam mendeteksi, menganalisis, dan menyortir apel secara otomatis berdasarkan parameter kualitas yang telah ditentukan. Implementasi hardware ini telah diuji coba dan mampu bekerja dengan akurat serta konsisten dalam mengidentifikasi kualitas apel, sehingga mendukung peningkatan efisiensi operasional dalam proses pasca panen apel Malang.

4.1.2 Implementasi Sistem Perangkat Lunak (*Software*)

Sistem perangkat lunak (*software*) pada alat sortir buah apel Malang ini dikembangkan dengan menggunakan *Arduino IDE* sebagai lingkungan pemrograman utama untuk mikrokontroler ESP32. ESP32 bertindak sebagai pusat kendali sistem yang melakukan pembacaan data sensor, pengolahan logika fuzzy, pengambilan keputusan, serta komunikasi data ke server berbasis *cloud*. Perangkat lunak dirancang secara modular agar dapat menangani pengolahan data sensor secara efisien dan *real-time*, sekaligus mendukung sistem monitoring berbasis web.

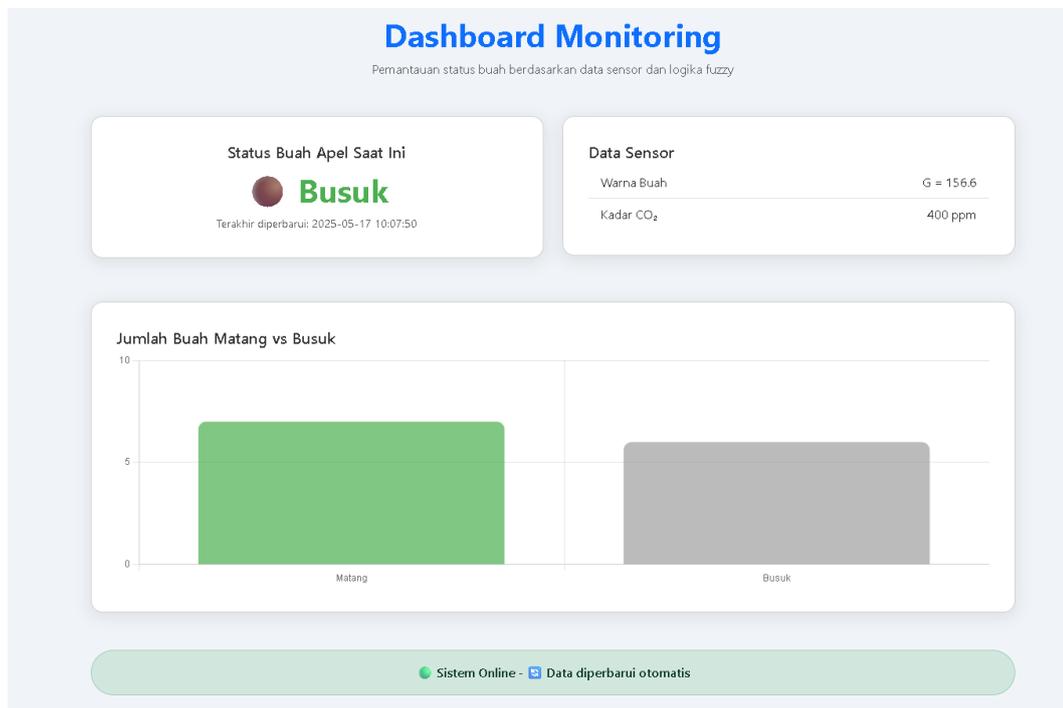
Implementasi dimulai dengan tahap inisialisasi, di mana pin-pin I/O pada ESP32 dikonfigurasi untuk menerima input dari sensor warna TCS3200 dan sensor gas SGP30. Setelah konfigurasi awal dilakukan, sistem masuk ke dalam proses loop utama yang akan terus berjalan selama perangkat aktif. Dalam proses ini, ESP32 secara berkala melakukan pembacaan nilai intensitas warna hijau (*green value*) dari TCS3200 dan kadar gas CO_2 dalam satuan ppm dari sensor SGP30.

Nilai-nilai mentah yang diperoleh kemudian masuk ke dalam tahap *fuzzifikasi*, di mana nilai numerik dari masing-masing sensor dikonversi menjadi nilai linguistik seperti rendah, sedang, atau tinggi, berdasarkan fungsi keanggotaan fuzzy yang telah didefinisikan sebelumnya. Hasil *fuzzifikasi* ini kemudian diproses menggunakan metode logika *fuzzy Sugeno*, dengan aturan *IF-THEN* yang menggabungkan input warna dan gas untuk menghasilkan keputusan sortir. Sistem ini menggunakan metode Sugeno orde-0, di mana output dari setiap aturan fuzzy berupa nilai konstan (misalnya 1 untuk matang dan 0 untuk busuk). Proses inferensi

menghasilkan nilai akhir yang kemudian di-*defuzzifikasi* menggunakan metode *weighted average* untuk memperoleh hasil kategori secara numerik.

Hasil akhir berupa status buah (Matang atau Busuk) akan diproses lebih lanjut oleh mikrokontroler untuk menggerakkan aktuator, yaitu motor servo, yang berfungsi mengarahkan buah ke jalur sortir yang sesuai. Selain itu, hasil pengkategorian, nilai sensor, dan waktu pembacaan juga dikirimkan secara *real-time* ke *Firestore Realtime Database* melalui koneksi *Wi-Fi internal* dari ESP32. *Firestore* digunakan sebagai platform penyimpanan data berbasis *cloud* yang memungkinkan integrasi langsung dengan antarmuka pengguna berbasis web.

Sistem monitoring dirancang dalam bentuk dashboard web yang dikembangkan menggunakan kombinasi teknologi *HTML*, *CSS*, dan *JavaScript*, dengan integrasi menggunakan *Firestore SDK*. Dashboard ini menampilkan data dari *Firestore* secara langsung tanpa perlu memuat ulang halaman, memberikan pengalaman pemantauan yang responsif dan efisien bagi pengguna.



Gambar 4. 5 Tampilan *Dashbord Monitoring*

Gambar 4.5 memperlihatkan tampilan dari *dashboard monitoring* sistem sortir buah apel Malang berbasis IoT. Antarmuka *dashboard* dirancang sederhana dan informatif agar mudah dipahami oleh pengguna. Di bagian atas *dashboard*, terdapat indikator status buah apel yang sedang diproses, ditampilkan secara visual melalui warna dan teks (Matang atau Busuk), serta dilengkapi informasi waktu pembaruan terakhir. Informasi ini secara otomatis ditarik dari hasil pemrosesan data sensor oleh sistem *fuzzy*.

Pada bagian kanan atas, *dashboard* menampilkan informasi numerik dari sensor, yaitu nilai intensitas warna hijau (G) dari sensor TCS3200 dan kadar gas CO_2 (dalam ppm) dari SGP30. Data ini digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan oleh sistem. Bagian tengah dashboard dilengkapi dengan grafik batang

yang menggambarkan distribusi jumlah buah berdasarkan hasil penilaian kualitas (Matang dan Busuk).

Grafik ini membantu pengguna untuk mengevaluasi performa sistem sortir secara keseluruhan dalam jangka waktu tertentu.

Di bagian bawah dashboard ditampilkan indikator status sistem, seperti "Sistem Online", serta notifikasi bahwa data diperbarui secara otomatis (*auto-update*) dan *real-time*. Dengan sistem perangkat lunak ini, pengguna dapat melakukan pemantauan terhadap kondisi buah apel dan performa sistem sortir dari jarak jauh dengan cepat dan akurat, sekaligus mendukung pengambilan keputusan berbasis data secara langsung di lapangan.

4.2 Eksperimen Kalibrasi Dan Validasi Sensor

Eksperimen kalibrasi dan validasi sensor dilakukan untuk memastikan bahwa sistem akuisisi data pada alat sortir buah apel Malang bekerja secara akurat, stabil, dan responsif terhadap variasi kualitas buah. Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk menentukan rentang nilai aktual dari pembacaan dua sensor utama, yakni sensor warna TCS3200 dan sensor gas SGP30, yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam proses *fuzzifikasi* pada sistem logika fuzzy Sugeno. Selain itu, eksperimen ini juga bertujuan untuk mengevaluasi konsistensi pembacaan sensor serta memverifikasi sensitivitasnya terhadap perubahan kondisi buah yang berbeda.

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan empat sampel buah apel dengan dua kondisi berbeda, yaitu dua buah dalam keadaan matang dan dua buah dalam keadaan busuk. Masing-masing sampel diuji sebanyak sepuluh kali pengulangan pembacaan sensor untuk menjamin akurasi dan kestabilan data. Sensor warna

TCS3200 digunakan untuk membaca intensitas warna hijau (*green value*) dari kulit buah apel, sedangkan sensor gas SGP30 digunakan untuk mengukur kadar gas karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan oleh buah dalam satuan part per million (ppm). Seluruh proses pembacaan sensor dilakukan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang telah diprogram untuk merekam data secara *real-time* dan menyimpannya ke dalam sistem untuk analisis lebih lanjut.

Tabel berikut menyajikan hasil dari pembacaan sensor terhadap masing-masing buah apel:

Tabel 4. 1 Hasil Uji Coba Sampel

Sampel	Kondisi	Uji Coba	Intensitas Hijau (G)	Kadar Co2(ppm)
1	Matang	1	9.20	400
		2	8.20	400
		3	12.70	400
		4	8.30	400
		5	15.10	400
		6	9.10	400
		7	8.20	400
		8	8.00	400
		9	7.30	400
		10	7.20	400
2	Matang	1	14.10	444
		2	10.70	441
		3	11.10	446
		4	11.00	442
		5	11.30	444
		6	12.70	445
		7	13.80	443
		8	11.10	450
		9	16.70	444
		10	9.50	445
3	Busuk	1	38.50	469
		2	28.70	437
		3	23.00	437
		4	29.20	436
		5	47.10	458
		6	49.20	440
		7	33.60	445
		8	26.50	451
		9	21.60	455
		10	27.00	432
4	Busuk	1	43.20	490
		2	85.60	470
		3	55.30	458

Sampel	Kondisi	Uji Coba	Intensitas Hijau (G)	Kadar Co2(ppm)
		4	88.50	462
		5	59.50	546
		6	97.10	500
		7	36.00	470
		8	23.30	471
		9	22.70	474
		10	71.80	467

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa buah dalam kondisi matang (Sampel 1 dan 2) memiliki nilai intensitas hijau yang relatif rendah dan stabil, yaitu berkisar antara 7.2 hingga 16.7, serta kadar CO_2 antara 400 hingga 450 ppm. Sementara itu, buah dalam kondisi busuk (Sampel 3 dan 4) menunjukkan nilai intensitas hijau yang lebih tinggi dan fluktuatif, yaitu dari 21.6 hingga 97.1, dengan kadar CO_2 yang berkisar antara 432 hingga 546 ppm. Variasi ini mencerminkan bahwa buah busuk mengalami perubahan warna dan peningkatan kadar gas sebagai akibat dari proses fisiologis lanjut seperti fermentasi dan peningkatan respirasi.

Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem sensor memiliki performa yang baik dalam membedakan kondisi buah berdasarkan parameter warna dan kadar gas. Sensor mampu memberikan hasil yang stabil pada kondisi buah segar serta menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap perubahan kualitas pada kondisi busuk. Oleh karena itu, eksperimen ini membuktikan bahwa sistem sensor yang digunakan layak untuk diterapkan dalam sistem sortir otomatis berbasis *fuzzy*. Selain itu, hasil pengukuran ini juga digunakan untuk merancang fungsi keanggotaan pada sistem logika *fuzzy Sugeno*, di mana rentang nilai intensitas hijau di bawah 20 dikategorikan sebagai *rendah* dan di atas 40 sebagai *tinggi*, sedangkan kadar CO_2 di bawah 460 ppm dikategorikan sebagai *rendah* dan di atas 480 ppm sebagai *tinggi*. Dengan hasil eksperimen ini, sistem sortir dapat melanjutkan ke

tahap penerapan *fuzzy* secara presisi, berbasis data empiris lapangan yang telah tervalidasi.

4.3 Pengujian Sistem

Pengujian sistem sortir buah apel Malang berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan implementasi metode *fuzzy Sugeno* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mengkategorikan kualitas buah secara otomatis. Fokus utama pengujian adalah untuk mengetahui tingkat keakuratan pengkategorian buah apel ke dalam dua kategori utama, yaitu Matang dan Busuk, berdasarkan dua parameter input: intensitas warna hijau (yang dibaca oleh sensor TCS3200) dan kadar gas CO_2 (yang dibaca oleh sensor SGP30).

Prosedur pengujian dilakukan dengan menempatkan masing-masing sampel apel secara berurutan pada mini konveyor. Selama pergerakan buah melalui sistem, pembacaan data dilakukan secara otomatis oleh sensor warna dan sensor gas, lalu diproses oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan metode fuzzy Sugeno. Hasil proses inferensi fuzzy berupa nilai *crisp* dikonversi menjadi kategori akhir (*Matang* atau *Busuk*) melalui tahap *defuzzifikasi*. Setiap hasil penilaian sistem kemudian dicatat dan dibandingkan dengan hasil pengamatan manual oleh manusia sebagai acuan kebenaran (*ground truth*).

Tabel 4.2 berikut menunjukkan hasil pengujian terhadap 15 sampel apel secara lengkap:

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sistem

No.	Warna Hijau (G)	Co ₂ (ppm)	Output Fuzzy	Hasil Sistem	Kondisi Aktual	Status
1.	12.20	400	1	Matang	Matang	Sesuai
2.	18.00	400	1	Matang	Matang	Sesuai
3.	17.80	400	1	Matang	Matang	Sesuai

No.	Warna Hijau (G)	CO ₂ (ppm)	Output Fuzzy	Hasil Sistem	Kondisi Aktual	Status
4.	12.30	400	1	Matang	Matang	Sesuai
5.	12.70	400	1	Matang	Matang	Sesuai
6.	11.00	400	1	Matang	Matang	Sesuai
7.	47.30	400	0	Busuk	Matang	Tidak Sesuai
8.	10.90	400	1	Matang	Matang	Sesuai
9.	19.10	400	1	Matang	Matang	Sesuai
10.	50.30	433	0	Busuk	Busuk	Sesuai
11.	46.50	466	0	Busuk	Busuk	Sesuai
12.	50.90	455	0	Busuk	Busuk	Sesuai
13.	32.80	433	0	Busuk	Busuk	Sesuai
14.	60.00	440	0	Busuk	Busuk	Sesuai
15.	51.00	435	0	Busuk	Busuk	Sesuai

Tabel 4.2 menyajikan hasil pengujian sistem terhadap 15 sampel buah apel. Berdasarkan data tersebut, sistem berhasil mengidentifikasi 14 dari 15 sampel secara tepat. Mayoritas pengkategorian mutu yang dilakukan oleh sistem sesuai dengan kondisi aktual buah, baik pada kategori matang dengan nilai intensitas hijau rendah dan kadar CO₂ rendah, maupun pada kategori busuk dengan nilai intensitas hijau tinggi dan kadar CO₂ yang relatif meningkat.

Kesalahan penilaian terjadi pada sampel nomor 7, di mana buah yang secara visual dikategorikan sebagai Matang justru diidentifikasi sebagai Busuk oleh sistem. Hal ini diduga disebabkan oleh nilai intensitas warna hijau sebesar 47,30, yang berada di sekitar ambang batas atas untuk kategori Matang, sehingga derajat keanggotaan fuzzy pada kategori Tinggi mendominasi hasil inferensi. Kejadian ini menunjukkan bahwa nilai input sensor yang mendekati batas antar himpunan fuzzy memiliki potensi untuk menghasilkan output yang ambigu, sehingga memengaruhi akurasi sistem.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem sortir apel Malang berbasis fuzzy Sugeno memiliki tingkat keandalan yang tinggi, dengan

kemampuan penentuan kualitas yang cukup akurat dan konsisten. Sistem berhasil menjalankan proses pengolahan data sensor secara *real-time*, menghasilkan keputusan sortir yang sesuai dalam sebagian besar kasus. Dengan akurasi mencapai lebih dari 90%, sistem ini layak digunakan sebagai solusi otomatisasi sortir buah berbasis IoT untuk mendukung efisiensi pasca panen.

4.4 Analisis Perhitungan *Error*

Analisis perhitungan *error* dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana sistem sortir buah apel Malang berbasis fuzzy Sugeno mampu menentukan kualitas buah secara akurat. Perhitungan ini menjadi salah satu parameter penting dalam menilai kinerja sistem penilaian otomatis yang dibangun. Nilai *error* dihitung dengan membandingkan hasil penentuan sistem dengan kondisi aktual dari seluruh sampel buah apel yang diuji.

Dalam pengujian ini, sebanyak 15 sampel buah apel diuji melalui sistem secara berurutan. Berdasarkan hasil penilaian sistem, terdapat 14 sampel yang diidentifikasi dengan benar, dan 1 sampel yang mengalami kesalahan dalam penentuan kualitas. Untuk mengukur tingkat kesalahan sistem, digunakan rumus *error rate* sebagai berikut:

$$Error = \frac{Nilai Aktual - Nilai Prediksi}{Nilai Aktual} \times 100\% \quad (4.1)$$

Dengan memasukkan nilai yang diperoleh:

$$Error(\%) = \frac{1}{15} \times 100\% = 6,67\%$$

Hasil ini menunjukkan bahwa tingkat kesalahan sistem hanya sebesar 6,67%, Persentase kesalahan yang rendah ini mengindikasikan bahwa sistem sortir berbasis

logika *fuzzy Sugeno* memiliki performa yang baik dan dapat diandalkan untuk diterapkan pada sistem sortiri kualitas buah secara otomatis.

Kesalahan penentuan pada salah satu sampel diduga terjadi karena nilai intensitas warna hijau berada di dekat batas antara dua fungsi keanggotaan fuzzy, yaitu antara kategori Sedang dan Tinggi, sehingga sistem mengalami ambiguitas dalam proses inferensi. Hal ini merupakan karakteristik umum dalam sistem fuzzy ketika data input jatuh di wilayah transisi (*overlap*) antar himpunan fuzzy.

Dengan demikian, hasil analisis ini dapat dijadikan acuan untuk melakukan optimasi sistem, baik pada fungsi keanggotaan maupun pada aturan *fuzzy*, agar sistem dapat lebih presisi dalam menangani kasus-kasus pengkategorian yang berada di batas ambang. Selain itu, analisis *error* ini berfungsi sebagai indikator performa sistem sekaligus dasar evaluasi untuk pengembangan sistem sortir buah berbasis IoT yang lebih akurat dan adaptif.

4.5 Integrasi Islam

Penerapan teknologi dalam bidang pertanian, seperti sistem sortir buah apel berbasis *Internet of Things* (IoT) dan metode *Fuzzy Sugeno*, tidak hanya ditujukan untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi, tetapi juga dapat dimaknai sebagai wujud kontribusi nyata dalam mempermudah urusan sesama manusia—sebuah nilai luhur yang ditekankan dalam ajaran Islam. Dalam hal ini, Rasulullah SAW bersabda:

"مَنْ نَفَسَ عَنْ مُؤْمِنٍ كُرْبَةً مِنْ كُرْبِ الدُّنْيَا، نَفَسَ اللَّهُ عَنْهُ كُرْبَةً مِنْ كُرْبِ يَوْمِ الْقِيَامَةِ، وَمَنْ يَسَّرَ عَلَى مُعْسِرٍ يَسِّرَ اللَّهُ عَلَيْهِ فِي الدُّنْيَا وَالْآخِرَةِ، وَمَنْ سَتَرَ مُسْتَلِيمًا، سَتَرَهُ اللَّهُ فِي الدُّنْيَا وَالْآخِرَةِ، وَاللَّهُ فِي عَوْنِ الْعَبْدِ، مَا كَانَ... الْعَبْدُ فِي عَوْنِ أَخِيهِ"

"Barang siapa yang meringankan satu kesulitan dari seorang mukmin, Allah akan meringankan satu kesulitan darinya pada hari kiamat. Barang siapa memudahkan

orang yang sedang kesulitan, Allah akan memudahkan urusannya di dunia dan akhirat. Barang siapa menutupi aib seorang Muslim, Allah akan menutupi aibnya di dunia dan akhirat. Allah akan selalu menolong hamba-Nya selama hamba itu menolong saudaranya..." (HR. Muslim No. 2699)

Hadis ini menegaskan bahwa setiap bentuk pertolongan atau kemudahan yang diberikan kepada sesama akan dibalas oleh Allah SWT, baik di dunia maupun di akhirat (Muslim, 2025). Dalam konteks penelitian ini, pengembangan sistem sortir otomatis bertujuan untuk memberikan kemudahan dalam proses pemilahan buah apel yang berkualitas bagi petani dan pelaku usaha. Dengan sistem ini, diharapkan dapat mengurangi risiko kerugian akibat distribusi produk yang tidak layak, serta mempermudah konsumen dalam memperoleh hasil panen terbaik. Oleh karena itu, penerapan teknologi ini dapat dipandang sebagai bentuk implementasi nyata dari nilai-nilai kebaikan yang diajarkan dalam hadis tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan menerapkan sistem sortir buah apel Malang berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan pendekatan logika fuzzy Sugeno. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan sensor warna *TCS3200* untuk mendeteksi intensitas warna hijau, serta sensor gas *SGP30* untuk mengukur kadar karbon dioksida (CO_2) sebagai indikator kesegaran buah. Data yang diperoleh dari kedua sensor diolah secara *real-time* oleh mikrokontroler ESP32, yang selanjutnya melakukan proses *fuzzifikasi*, inferensi, dan *defuzzifikasi* menggunakan metode *fuzzy Sugeno*. Hasil sortir otomatis kemudian dikirimkan ke motor servo untuk menggerakkan mekanisme sortir, dan seluruh data pengukuran serta status sortir disinkronkan ke dalam *Firestore Realtime Database* dan ditampilkan melalui *dashboard* berbasis web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan tingkat *error* sebesar 6,67%, di mana dari 15 sampel yang diuji, 14 sampel berhasil diidentifikasi dengan benar dan 1 sampel mengalami kesalahan. Kesalahan penentuan terjadi pada satu sampel dengan nilai sensor yang berada pada daerah transisi (*overlap*) antara dua kategori fuzzy, yang mengindikasikan perlunya optimasi fungsi keanggotaan atau aturan fuzzy pada sistem. Secara keseluruhan, sistem sortir otomatis ini telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu menciptakan solusi yang efektif, efisien, dan dapat dimonitor secara jarak jauh untuk proses penyortiran apel Malang berdasarkan parameter warna dan gas. Hasil ini

memberikan dasar kuat bagi pengembangan lebih lanjut dalam bidang otomasi pasca panen berbasis *IoT* dan kecerdasan buatan (*soft computing*), serta dapat diterapkan pada komoditas pertanian lainnya dengan pendekatan serupa.

5.2 Saran

Penelitian terkait sistem sortir ini masih terdapat banyak kekurangan yang perlu dikembangkan lagi oleh peneliti selanjutnya:

1. Melakukan optimasi kalibrasi sensor dan penyesuaian ambang batas fuzzy untuk meningkatkan akurasi penentuan kualitas, terutama pada nilai sensor yang dekat dengan batas pemisah kategori.
2. Mengembangkan sistem dengan menambahkan parameter kualitas lain seperti suhu, dan kelembaban udara untuk memberikan analisis yang lebih komprehensif terhadap kualitas buah.
3. Melakukan pengujian lebih luas dengan jumlah sampel yang lebih besar dan di lingkungan lapangan nyata untuk menguji keandalan dan adaptabilitas sistem dalam kondisi variatif.

Dengan Menerapkan saran-saran tersebut, diharapkan sistem yang dibuat selanjutnya dapat ditingkatkan fungsionalitasnya dan lebih bermanfaat untuk pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, B., & Sutikno, S. (2023). Fuzzy Logic Algorithm of Sugeno Method for Controlling Line Follower Mobile Robot. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 15(2), 283–289. <https://doi.org/10.33096/ilkom.v15i2.1558.283-289>
- Alzahari, Harma Oktafia Lingga Wijaya, & Davit Irwan. (2023). *Alat Penghitung Buah Menggunakan Sensor Obstacle Berbasis IoT dan Sortir Buah Berdasarkan Warna dengan Sensor TCS3200*.
- Amin, M. F., Rizqika Akbar, S., & Widasari, E. R. (2017). *Rancang Bangun Sistem Sortir Buah Apel Menggunakan Sensor Warna Dan Sensor Suhu* (Vol. 1). Retrieved from <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Angely Syawalia, R., Rasyad, S., & Andika Pratama, D. (2020). *Implementasi Fuzzy Logic pada Sistem Sortir Otomatis Alat Penghitung Jumlah Buah Apel*. Retrieved from <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/index>
- Anggraeni and Desyani. (2023). *OKTAL : Jurnal Ilmu Komputer dan Science Kualitas Menggunakan Mikrokontroler 8266 Berbasis IoT (Studi Kasus Toko Jeruk Nur Acil)*. Retrieved from <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/oktal>
- Arigo, M. A. Al. H., Sofi Berliana Rizky, Zainu Rafsanjani, Isa Rachman, , Rini Indarti, Noorman Rinanto, & Agus Khumaidi. (2024). Optimasi Penghematan Energi Listrik Menggunakan Metode Fuzzy Logic Pada Sistem Pendingin Udara Berbasis IoT. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 11(2), 363–375. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i2.5467>
- Badan Pusat Statistika Kota Batu. (2018). *Produksi Buah-Buahan dan Sayuran Tahunan Menurut Jenis Tanaman di Kota Batu (Ton), 2018-2020*.
- Bassej, J. E., & Bala, K. C. (2018). Development of an Automatic Mini-Conveyor System for Product Monitoring. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 413(1). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/413/1/012021>
- BPS. (2016). *Statistika Hortikultura Kabupaten Malang 2016*. Retrieved from <https://malangkab.bps.go.id/id/publication/2017/12/22/63d74ae5ca07a857715423b1/statistik-hortikultura-kabupaten-malang-2016.html>
- BPS. (2021). *Stasistik Karet Indonesia 2021*. Retrieved from <https://www.bps.go.id/id/publication/2022/11/30/d5b4f514cb426ec27abeebd0/statistik-karet-indonesia-2021.html>

- Brosnan, T., & Sun, D. W. (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision - A review. *Journal of Food Engineering*, Vol. 61, pp. 3–16. Elsevier Ltd. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00183-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00183-3)
- Dhaifullasyah, A. T., Irfan, D., Marta, R., & Farell, G. (2024). *Rancang Bangun Sistem Absensi Menggunakan Framework Laravel Yang Terintegrasi Berbasis Rfid Dan Face Recognition Untuk Smkn 1 Tilatang Kamang* (Vol. 4). Retrieved from <http://jteki.ppj.unp.ac.id>
- Haris, A. (2019). *Sistem Penyortiran Buah Apel Manalagi Menggunakan Sensor Load Cell dan TCS3200 Berbasis Arduino Uno*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/334509664>
- Imam Muslim bin al-Hajjaj. (2025). Shahih Muslim Hadith 2699 - Facilitating the Affairs of Others. Retrieved May 19, 2025, from <https://sunnah.com/muslim:2699>
- Jafari, M., Malekjamshidi, Z., Zhu, J., & Khooban, M. H. (2020). A Novel Predictive Fuzzy Logic-Based Energy Management System for Grid-Connected and Off-Grid Operation of Residential Smart Microgrids. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 8(2), 1391–1404. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2018.2882509>
- Kementerian Agama Republik Indonesia. (2025). Tafsir Al-Muyassar: QS. Al-Baqarah Ayat 267. Retrieved May 19, 2025, from <https://quran.kemenag.go.id/quran/per-ayat/surah/2?from=267&to=267>
- Kusumah, H., Handayani, I., Susilo, P., Perguruan, D., Raharja, T., Jurusan, M., ... Raharja, P. T. (2018). Prototipe Monitoring Kualitas Udara Ruang Berbasis Awan Adafruit SGP30 Air Quality Sensor. In *Technomedia Journal (TMJ)* (Vol. 3).
- Malona, O. L. (2020). *Penerapan Metode Fuzzy Inference System (Fis) Sugeno Dalam Menentukan Nilai Inflasi (Studi Kasus Pada Data Inflasi Medan)*. . 33–38.
- Moch Rafli, A., Andika Program Studi Teknik Komputer, E., Sukabumi JI Babakan Sirna No, P., Warudoyong, K., Sukabumi, K., & Barat, J. (2023). *Perancangan Alat Sortir Buah Tomat Menggunakan Fuzzy Logic Sugeno Berbasis IoT*.
- Muchamad Azis Saputra. (2023). *Monitoring Kualitas Udara dan Suhu di Ruang Penyimpanan Obat dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis IoT (Studi Kasus Puskesmas Krobokan Semarang)*.
- Muhammad Afdhal, Dhio Saputra, & Wifra Safitri. (2021). Sistem Informasi Prediksi Angka Produksi Nila Cake Berbasis Web Menggunakan Metode

Fuzzy. *Jurnal Teknoif Teknik Informatika Institut Teknologi Padang*, 9(1), 9–16. <https://doi.org/10.21063/jtif.2021.v9.1.9-16>

Nugraha, S. (2023). *Sistem Pembatas Area Kerja untuk Perangkat Bergerak Berbasis Internet of Things*. Retrieved from <http://repositori.unsil.ac.id/id/eprint/10906>

Rochana, S., Kkw, A., Retno, Y., Utami, W., Program,), Informatika, S. T., ... Surakarta, N. (2017). *Implementasi Fuzzy Logic dalam Sistem Pakar untuk Mendeteksi Penyakit Kanker Serviks*.

Siti Sumita Harahap. (2021). *Implementasi Metode Logika Fuzzy Sugeno pada Alat Penyortir Buah Tomat Berbasis Mikrokontroler*. Retrieved from <http://repository.uinsu.ac.id/id/eprint/14535>

Taqwa Afrianto, S., Aldiansyah, M., & Hafid, A. (2023). *Rancang Bangun Sortasi Buah Tomat Menggunakan Metode Fuzzy Logic dengan Memanfaatkan Energi Matahari Berbasis Mikrokontroler*.

Tarasov, V., Tan, H., Jarfors, A. E. W., & Seifeddine, S. (2020). Fuzzy logic-based modelling of yield strength of as-cast A356 alloy. *Neural Computing and Applications*, 32(10), 5833–5844. <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04056-5>

Zulkarnain, I., Ramadhan, M., Stmik, B. A., & Dharma, T. (2019). J-SISKO TECH Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Sistem Komputer TGD Implementasi Alat Pendeteksi Warna Benda Menggunakan Fuzzy Logic dengan Sensor TCS3200 Berbasis Arduino. v, 106(2), 106–117. Retrieved from www.spektrumcahayatampak.com

LAMPIRAN

Lampiran 1

Video Demonstrasi Sistem

Link Drive:

<https://bit.ly/SystemSortirDemonstration>