SKRIPSI

PENYIMPANAN SEPATU PINTAR BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN UV STRELIZATION DAN AUTOMATIC DEODORIZER TERINTEGRASI WEB SERVER

DISUSUN OLEH

MUHAMMAD HAEKAL

2109020050

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI

FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

PENYIMPANAN SEPATU PINTAR BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN UV STRELIZATION DAN AUTOMATIC DEODORIZER TERINTEGRASI WEB SERVER

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi. pada Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

MUHAMMAD HAEKAL

2109020050

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi	**PENYIMPANAN SEPATU PINTAR BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN UV STRELIZATION DAN AUTOMATIC DEODORIZER TERINTEGRASI WEB SERVER**
Nama Mahasiswa	MUHAMMAD HAEKAL
NPM	2109020050
Program Studi	Teknologi Informasi

Menyetujui
Komisi Pembimbing

(Mhd. Basri, S.Si, M.Kom)
NIDN. 0111078802

Ketua Program Studi

(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom)
NIDN. 0117019301

Dekan

(Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

PENYIMPANAN SEPATU PINTAR BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN UV STRELIZATION DAN AUTOMATIC DEODORIZER TERINTEGRASI WEB SERVER

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, April 2026

Yang membuat pernyataan



MUHAMMAD HAEKAL

NPM. 2109020050

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: MUHAMMAD HAEKAL
NPM	: 2109020050
Program Studi	: Teknologi Informasi
Karya Ilmiah	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif *(Non-Exclusive Royalty free Right)* atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

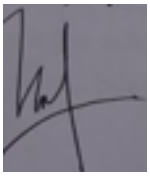
PENYIMPANAN SEPATU PINTAR BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN UV STRELIZATION DAN AUTOMATIC DEODORIZER TERINTEGRASI WEB SERVER

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, April 2026

Yang membuat pernyataan



MUHAMMAD HAEKAL

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap	: MUHAMMAD HAEKAL
Tempat dan Tanggal Lahir	: Medan, 23 Agustus 2003
Alamat Rumah	: Jl.Karya Lk II Gg.Karang SariNo.20 Kel.Karang Berombak Kec.Medan Barat
Telepon/Faks/HP	: 082163063720
E-mail	: muhammadhaekal049@gmail.com
Instansi Tempat Kerja	: -
Alamat Kantor	: -

DATA PENDIDIKAN

SD	: Pangeran Antasari	TAMAT: 2015
SMP	: Imelda Medan	TAMAT: 2018
SMK	: Tritech Informatika	TAMAT: 2021

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum.wr.wb

Penulis tentunya berterima kasih kepada berbagai pihak dalam dukungan serta doa dalam penyelesaian skripsi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd., Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Dr. Firahmi Rizky, S.Kom., M.Kom Wakil Dekan 1 Program Studi Teknologi Informasi
4. Bapak Mhd.Basri, S.Si, M.Kom Wakil Dekan 3 Program Studi Teknologi Informasi
5. **Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom Ketua Program Studi Teknologi Informasi**
6. Bapak Okvi Nugroho, S.Kom., M.Kom Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi.
7. Rasa hormat dan terima kasih yang mendalam penulis sampaikan kepada Bapak Mhd. Basri, S.Si, M.Kom selaku Dosen Pembimbing. Dedikasi beliau dalam memberikan motivasi, serta ketelitian dalam memberikan koreksi dan masukan selama proses bimbingan, sangat berarti bagi penulis. Tanpa arahan bijak dari beliau, karya ilmiah ini tidak akan mencapai bentuk terbaiknya
8. Kepada kedua orang tuaku tercinta. Terima kasih atas doa yang tak pernah putus dan dukungan yang tak pernah surut. Keberhasilan penulis hari ini adalah buah dari kesabaran dan kasih sayang kalian

PENYIMPANAN SEPATU PINTAR BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN UV STRELIZATION DAN AUTOMATIC DEODORIZER TERINTEGRASI WEB SERVER

ABSTRAK

Penyimpanan sepatu pintar dalam ruang tertutup sering kali menimbulkan masalah kelembapan tinggi yang memicu pertumbuhan jamur serta aroma tidak sedap akiba bakteri. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem penyimpanan sepatu pintar berbasis *internet of things* (IoT) yang mampu melakukan pemantauan (*monitoring*) dan pengendalian (*controlling*) secara *real-time*. Sistem ini mengintegrasikan sensor suhu dan kelembapan untuk memantau kondisi internal rak, serta fitur *automatic deodorizer* yang berfungsi menetralisir bau tidak sedap secara otomatis. Arsitektur sistem dibangun menggunakan mikrokontroller yang terhubung kejaringan Wi-Fi, memungkinkan pengguna untuk mengakses data dan mengontrol perangkat melalui antarmuka *web server*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu menjaga keawetan material sepatu. Dengan adanya integrasi IoT, pengguna dapat mengelola perawatan sepatu secara lebih efektif dan efisien dari jarak jauh melalui perangkat pintar.

Kata Kunci : *IoT, Smart Shoe Storage, Monitoring,Controlling, Automatic Deodorizer, Web server.*

INTERNET OF THINGS-BASED SMART SHOE STORAGE USING UV STIRLIZATION AND AUTOMATIC DEODORIZER INTEGRATED WITH A WEB SERVER

ABSTRACT

Storing smart shoes in enclosed spaces often results in high humidity, which can trigger mold growth and unpleasant odors caused by bacteria. This research aims to design and implement an *internet of things* (IoT)-based smart shoe storage system capable of *real-time monitoring and control*. This system integrates temperature and humidity sensors to monitor internal shelf conditions, as well as an *automatic deodorizer* feature that neutralizes unpleasant odors automatically. The system architecture is built using a microcontroller connected to a Wi-Fi network, allowing users to access data and control the device through a *web server* interface. The results show that this system is capable of maintaining the durability of shoe materials. With IoT integration, users can manage shoe care more effectively and efficiently remotely through smart devices.

Keywords: *IoT, Smart Shoe Storage, Monitoring, Controlling, Automatic Deodorizer, Web server.*

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI ..... **viii**

DAFTAR TABEL ..... **xiii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Batasan Masalah 4

1.4 Tujuan Penelitian 4

1.5 Manfaat Penelitian 5

BAB II LANDASAN TEORI **6**

2.1 IOT(Internet Of Things) 6

2.1.1 Tujuan IOT 6
2.1.2 Manfaat IOT 7
2.1.3 Kebutuhan IOT 9
2.1.4 Bidang IOT 10
2.1.5 IoT dalam Smart Home 11
2.2 Sterilisasi UV 12
2.3 Deodorizer Otomatis 14
2.4 Mikrokontroler 16
2.5 Sensor Suhu & Kelembapan (DHT22) 17
2.6 Modul Relay 18
2.7 Arduino IDE 19
2.8 Web Server 20
2.9 LCD I2C 21
2.10 Database 22
2.11 Flowchart 22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

.....
24

3.1 Jenis Penelitian 24

3.2 Lokasi dan Jadwal Penelitian 24

3.3 Tahapan Penelitian 25

3.4 Digram Blok 28

3.5 Perancangan Sistem 30

3.5.1 Perancangan Hardware 30

3.5.2 Perancangan Software 30

3.6 Skema Rangkaian Elektronik 31

3.7 Visualisasi Desain 3D dan Dimensi Fisik 32

3.7.1 Analisis Desain 3D 33

3.7.2 Spesifikasi Dimensi Perangkat 33

3.8 Metode Pengumpulan Data 34

3.9 Teknik Analisis Data 35

3.10 Validitas dan Reliabilitas 35

3.10.1 Validitas Data 35

3.10.2 Reliabilitas Sistem 36

3.11 Diagram Alir Flowchart 37

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 39

4.1 Implementasi Sistem 39

4.1.1 Implementasi Perancangan Perangkat Keras (Hardware) 39

4.1.2 Implementasi Pemrograman pada Arduino IDE 42

4.1.3 Implementasi Komunikasi ESP32 dengan Firebase 44

4.2 Pengujian Sistem 47

4.2.1 Pengujian Fungsionalitas Perangkat Keras 47

4.2.2 Pengujian Logika Kontrol dan Firmware (ESP32) 49

4.2.3 Pengujian Integrasi IoT dan Web Monitoring 51

4.3 Hasil Analisa Uji Alat 55

4.3.1 Analisis Pengujian pada Sepatu Sport (Material Sintetis Premium) 55

4.3.2 Analisis Pengujian pada Sepatu Casual (Material Kanvas) 58

4.3.3 Analisis Pengujian pada Sepatu Kantor (Material Kulit) 61

4.3.4 Analisa Perbandingan Hasil Pengujian Keseluruhan 63

4.4 Analisa Perbandingan Hasil Pengujian Keseluruhan 64

4.5 Kesimpulan Hasil Analisa Alat 65

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN **66**

5.1 Kesimpulan 66

5.2 Saran 67

DAFTAR PUSTAKA **68**

DAFTAR TABEL

Tabel	1. Penurunan Kuman dengan UV-C	14
Tabel	2. Jadwal Penelitian	25

DAFTAR GAMBAR

gambar 2.1 Iot Smart Home	12
Gambar 2.2 Lampu Uv-C	13
Gambar 2.3 Alat Penyemprot Otomatis	15
Gambar 2.4 Esp32	16
Gambar 2.5 Dht22	18
Gambar 2.6 Modul Relay	19
Gambar 2.7 Arduino Ide	20
Gambar 2.8 Web Server	21
Gambar 2.9 Lcd I2c	22
Gambar 2.10 Firebase	22
Gambar 2.11 Flowchart	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	26
Gambar 3.2. Diagram Block	28
Gambar 3.3 Skema Rangkaian Elektronik Sistem	31
Gambar 3.4 Design 3d Rak Spatu	33
Gambar 3.5 Skema Rangkaian Elektronik Sistem	34
Gambar 3.6. Diagram Alir Flow Chart	37
Gambar 4.1. Wiring Diagram Sistem	40
Gambar 4.2 Firmware Esp32	44
Gambar 4.5 Kode Program Backend	46
Gambar 4.4 Kode Program Frontend	47
Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengukuran Distribusi Tegangan	48
Gambar 4.6 Komparasi Pembacaan Sensor Dht22	49
Gambar 4.7 Hasil Pengujian Logika Control Firmware	50
Gambar 4.8 Dashboard Sistem Strelisasi Sepatu	52
Gambar 4.9 Hasil Komparasi Data Telemetri	54
Gambar 4.10 Hasil Pengujian Kontrol Web	55

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sepatu merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan sepatu yang intensif dapat menyebabkan penumpukan keringat, kelembapan, dan kotoran. Kondisi ini menjadi faktor utama tumbuhnya bakteri dan jamur yang berpotensi menimbulkan masalah kesehatan, seperti tinea pedis (athlete's foot) dan infeksi kulit lainnya (Farris et al., 2020). Penelitian epidemiologis mencatat bahwa prevalensi tinea pedis pada pengguna sepatu tertutup mencapai 15–25% dari populasi dewasa (Liu et al., 2021). Hal ini menegaskan bahwa kesehatan kaki sangat dipengaruhi oleh kebersihan alas kaki.

Permasalahan ini semakin diperparah oleh keterbatasan rak sepatu konvensional yang hanya difungsikan sebagai tempat penyimpanan tanpa memperhatikan aspek kebersihan. Rak sepatu konvensional hanya berfungsi sebagai tempat penyimpanan fisik tanpa fitur tambahan untuk menjaga higienitas. Kelembapan yang terperangkap mempercepat pertumbuhan mikroorganisme. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi penyimpanan sepatu yang lebih higienis, praktis, dan berbasis teknologi.

Teknologi radiasi Ultraviolet-C (UV-C) terbukti efektif untuk sterilisasi mikroorganisme. UV-C dengan panjang gelombang 200–280 nm mampu merusak DNA atau RNA bakteri, jamur, serta virus, sehingga mikroorganisme kehilangan kemampuan berkembang biak. Penelitian Columbia University (2024) melaporkan bahwa UV-C dengan panjang gelombang 222 nm mampu menonaktifkan lebih dari 99% virus yang tersebar di udara dalam ruang berpenghuni. Hal ini menunjukkan

bahwa teknologi UV-C dapat diadaptasi untuk aplikasi rumah tangga, termasuk dalam sterilisasi sepatu, sehingga mampu menurunkan risiko infeksi akibat mikroba.

Efektivitas UV-C tidak hanya terbukti di laboratorium, tetapi juga di fasilitas kesehatan. Penggunaan UV-C dapat menurunkan jumlah bakteri di lingkungan hingga 94%. Bahkan, sanitiser sepatu berbasis UV terbukti mampu mengurangi jumlah mikroorganisme hingga 99,99% dalam kondisi ideal. Dengan demikian, penerapan UV-C dalam sistem penyimpanan sepatu pintar memiliki dasar ilmiah yang kuat untuk meningkatkan kebersihan sekaligus menjaga kesehatan kaki pengguna (Khan, 2022)

Selain masalah mikroorganisme, bau tidak sedap pada sepatu juga menjadi permasalahan signifikan. Bau ini dihasilkan oleh senyawa volatil organik (Volatile Organic Compounds/VOCs) yang dilepaskan dari metabolisme bakteri pada kondisi lembap. Untuk mengatasi masalah tersebut, berbagai teknologi automatic deodorizer telah dikembangkan. Misalnya, sistem berbasis kipas, ozon, hingga filter karbon aktif terbukti efektif dalam mengurangi bau pada ruang tertutup.

Penggunaan ozon (Atom Oksigen) pada sistem penyegar udara dapat menurunkan konsentrasi senyawa penyebab bau hingga 80% dalam ruang tertutup. Dengan pengaturan berbasis sensor, deodorizer dapat bekerja hanya saat diperlukan, sehingga lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Hal ini menjadikan teknologi deodorizer bukan hanya solusi kenyamanan, tetapi juga efisiensi penggunaan perangkat pintar (Kim et al., 2020).

Perkembangan Internet of Things (IoT) mendorong transformasi signifikan dalam bidang perangkat rumah pintar. IoT memungkinkan integrasi sensor,

aktuator, dan antarmuka berbasis web yang dapat dikontrol secara jarak jauh. Kulkas pintar berbasis IoT mampu memantau inventaris makanan secara real-time melalui aplikasi web. Demikian pula, pengembangkan sistem penyegar udara berbasis IoT yang dapat dikendalikan melalui mikrokontroler. Fakta ini menegaskan bahwa teknologi IoT memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam sistem penyimpanan sepatu pintar (Velasco, 2024). Implementasi teknologi IoT dalam sistem pintar memungkinkan adanya interaksi dua arah, di mana sistem tidak hanya mengirimkan informasi kondisi lingkungan kepada pengguna, tetapi juga dapat menerima perintah balik (remote control) untuk mengaktifkan fitur-fitur tertentu pada perangkat (Maulana & Misbah, 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian akan merancang sistem penyimpanan sepatu pintar dengan integrasi UV sterilization, automatic deodorizer, dan IoT berbasis web server merupakan solusi yang relevan bagi kebutuhan masyarakat modern. Sistem ini tidak hanya menjawab persoalan kebersihan dan kesehatan, tetapi juga memberikan kenyamanan dan efisiensi dalam kehidupan sehari-hari. Dengan adanya prototipe ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan smart home berbasis IoT yang higienis, fungsional, dan adaptif terhadap kebutuhan masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sistem penyimpanan sepatu pintar berbasis IOT yang mampu mengontrol dan memantau kondisi sepatu secara real-time ?

2. Bagaimana mengimplementasikan automatic deodorizer untuk mengurangi bau tidak sedap diruang penyimpanan sepatu ?
3. Bagaimana mengintegrasikan sistem penyimpanan sepatu pintar dengan web server agar dapat diakses melalui jaringan internet ?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus batasan masalah yang diterapkan adalah sebagai berikut :

1. Sistem hanya difokuskan pada proses sterilisasi menggunakan sinar UV dan penghilangan bau menggunakan automatic deodorizer.
2. Komponen perangkat keras yang digunakan spesifik, yaitu mikrokontroler ESP32, sensor suhu dan kelembapan DHT22, serta modul relay.
3. Pengujian yang dilakukan terbatas pada uji efektivitas UV-C terhadap mikroorganisme melalui metode kultur mikrobiologi, uji deodorizer menggunakan sensor VOC dan panel subjektif, serta uji kinerja IoT

1.4 Tujuan Penelitian

1. Merancang dan mengimplementasikan arsitektur sistem penyimpanan sepatu pintar berbasis IoT yang mampu melakukan monitoring kondisi lingkungan (suhu/kelembapan) dan controlling perangkat secara real-time.
2. Mengintegrasikan fitur automatic deodorizer dan sistem sirkulasi udara otomatis untuk menjaga kesegaran serta menetralisir bau tidak sedap di dalam ruang penyimpanan.
3. Membangun sistem kendali berbasis web server sebagai antarmuka pengguna agar proses pemantauan dan kontrol perangkat dapat dilakukan dari jarak jauh melalui jaringan internet/WiFi.

4. Mengoptimalkan manajemen ruang penyimpanan melalui otomatisasi pengaturan suhu dan kelembapan guna mencegah tumbuhnya jamur serta menjaga keawetan material sepatu secara efektif.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi pengetahuan dalam bidang teknologi internet of things, khususnya dalam pengembangan sistem penyimpanan sepatu pintar yang mampu melakukan monitoring dan controlling kondisi sepatu secara real-time melalui integrasi sensor dan mikrokontroler.
2. Dapat membatu menyediakan solusi efektif untuk mengatasi masalah bau tidak sedap pada sepatu dengan mengimplementasikan automatic deodorizer, sehingga dapat mengingkatkan kenyamanan, kesegaran, dan kebersihan sepatu pengguna dalam kehidupan sehari-hari.
3. Dapat membantu menghasilkan sistem penyimpanan sepatu pintar yang terintegrasi dengan web server, sehingga menyediakan kemudahan bagi pengguna untuk memantau dan mengontrol perangkat secara jarak jauh melalui jaringan internet.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 IOT(Internet Of Things)

IOT adalah konsep yang menghubungkan perangkat fisik dengan jaringan internet, memungkinkan mereka untuk saling berkomunikasi dan bertukar data, tanpa campur tangan manusia.Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Kevin Ashton, seorang Direktur di Auto ID Centre dari Massachusetts Institute of Technology (MIT), yang melihat potensi besar dalam pengembangan teknologi, seperti yang dilakukan oleh Internet.

Perkembangan pesat teknologi *Internet of Things* (IoT) telah memungkinkan terciptanya berbagai solusi inovatif dalam memantau kondisi lingkungan secara *real-time*. Sebagaimana dijelaskan oleh (Fadhlurrohman & Basri, 2025) integrasi perangkat IoT memungkinkan pengguna untuk menerima peringatan, memonitor status, dan mengendalikan sistem dari jarak jauh melalui *smartphone* secara efisien.

IOT memungkinkan perangkat untuk mengumpulkan, mengolah, dan mengirimkan informasi secara otomatis, membuka pintu bagi berbagai aplikasi yang beragam, mulai dari perangkat rumah tangga seperti sikat gigi dan lampu, hingga kendaraan dan mesin industri.

2.1.1 Tujuan IOT

.Tujuan dari Internet of Things (IoT), Sejarah, Teknologi, dan Penerapannya meningkatkan manfaat dari konektivitas internet yang terhubung terus-menerus. IOT (Internet of Thing) konsep teknologi yang memungkinkan setiap perangkat elektronik memiliki kemampuan untuk saling berkomunikasi dengan mandiri,

mengirim dan menerima data melalui perantara sebuah jaringan. Dalam banyak bidang kehidupan manusia, termasuk pengelolaan lingkungan, Internet of Things (IOT) telah menjadi teknologi yang semakin mendominasi.

Teknologi ini memungkinkan fitur seperti berbagi informasi, pengendalian jarak jauh, dan berbagai fungsi lainnya pada beragam objek di dunia nyata. Contoh penggunaannya meliputi bahan makanan, perangkat elektronik, serta peralatan yang dilengkapi dengan sensor dan terkoneksi dengan jaringan.

2.1.2 Manfaat IOT

Internet of Things (IoT) memiliki berbagai manfaat dan dampak positif dalam berbagai bidang kehidupan. Beberapa manfaat utama dari IoT adalah sebagai berikut:

Efisiensi Operasional- IoT dapat meningkatkan efisiensi operasional dalam berbagai industri. Dengan menghubungkan perangkat fisik dan mengumpulkan data secara real-time, IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian yang lebih baik. Ini dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya, mengurangi pemborosan, meningkatkan produktivitas, dan mengurangi biaya operasional.

Peningkatan Kualitas Hidup- IoT dapat meningkatkan kualitas hidup melalui berbagai aplikasi yang berfokus pada kenyamanan, kesehatan, dan keamanan. Contohnya adalah rumah pintar (smart home) yang memungkinkan kontrol otomatis dan pengawasan melalui perangkat terhubung, sistem kesehatan pintar yang memantau kondisi pasien secara real-time, dan transportasi cerdas yang meningkatkan keamanan dan efisiensi transportasi.

Analitik dan Pengambilan Keputusan yang Lebih Baik- Dengan mengumpulkan data secara terus-menerus dari perangkat terhubung, IoT memberikan sumber data yang kaya untuk analitik dan pengambilan keputusan yang lebih baik. Data ini dapat digunakan untuk mendapatkan wawasan mendalam tentang operasi, perilaku konsumen, tren pasar, dan banyak lagi. Hal ini memungkinkan perusahaan dan organisasi untuk mengoptimalkan strategi, mengidentifikasi peluang baru, dan merespons dengan cepat terhadap perubahan.

Keamanan dan Keandalan- IoT dapat meningkatkan keamanan dan keandalan dalam berbagai konteks. Misalnya, dengan menggunakan sistem keamanan IoT, kita dapat memantau dan mengamankan rumah atau gedung dengan lebih efektif. Di industri, IoT juga dapat digunakan untuk pemantauan infrastruktur kritis, seperti jaringan listrik, jaringan air, dan jaringan transportasi, sehingga memungkinkan deteksi dini dan pencegahan kerusakan atau gangguan.

Efisiensi Energi dan Lingkungan- IoT dapat membantu dalam mengelola dan mengoptimalkan penggunaan energi. Contohnya adalah penggunaan smart grid untuk mengatur dan mengoptimalkan distribusi listrik, penggunaan sensor pintar untuk pengelolaan air yang efisien, dan sistem pengawasan lingkungan untuk mengukur dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Kemajuan dalam Industri dan Inovasi- IoT telah mendorong kemajuan dalam berbagai industri dan mendorong inovasi baru. Misalnya, IoT telah memungkinkan perkembangan kendaraan otonom, manufaktur cerdas, pertanian presisi, dan perawatan kesehatan digital. Hal ini membuka peluang baru untuk efisiensi, keunggulan kompetitif, dan transformasi industri.

2.1.3 Kebutuhan IOT

Menurut Harmon, Castro Leon, dan Bhide (2015), ada 10 hal penting dalam solusi penggunaan IOT sebagai berikut :

1. Sensor adalah komponen yang penting dalam IOT.Jumlah data yang dibuat oleh sensor yang sangat besar, dan peralatan IOT akan berkomunikasi via channel seperti menghubungkan kedalam jaringan wifi.
2. Keamanan,Jaringan IOT ada salah satu subjek untuk serangan cyber yang dapat merusak infrastruktur yang penting seperti suplai air,airport,jembatan dan dam air.Keamanan dibutuhkan dalam level 4 yaitu pengamanan tempat penyimpanan untuk data sensor, pengamanan dalam database, pengamanan untuk komunikasi dan pengamanan dalam lingkungan yang eksekusi.
3. Fault Tolerance, Kunci penting dalam elemen infrastruktur membutuhkan fault tolerance yang berfungsi apabila terjadi kejadian seperti bencana alam atau masalah Listrik.
4. Konektivitas, jaringan IOT harus mendukung sensor yang lambat dan juga cepat. Sebagai contoh untuk memperjelas yang dimaksud sensor yang cepat apabila suatu kamera CCTV menganalisis secara real-time,suatu video apabila terjadi kecelakaan, tetapi apabila tidak ada kecelakaan maka tidak ada yang dikomunikasikan di cloud pada kondisi ini sensor bisa disebut sebagai sensor yang lambat.
5. Komunikasi Jaringan Sensor. Peralatan IOT menggunakan beberapa metode komunikasi seperti Radio Frequency Identification (RFID),DSLGPRS,WIFI,LAN dan 3G. Dalam berkomunikasi syarata yang harus dimiliki oleh benda-benda yang smart adalah benda itu bisa memproses

informasi,mengkonfigurasi diri sendiri,mengurus diri sendiri (self-maintain) memperbaiki diri sendiri, membuat Keputusan secara independent dan pada akhirnya diharapkan berperan aktif dalam membuang atau menonaktifkan diri sendiri (Bari,Mani & Berkovich, 2013).

Sedangkan menurut miorandi, Sicari,De Pellegrini & Chlamtac, (2012) Masih ada 2 lagi hal yang berbeda yaitu :

1. Scabillity, Seiring berkembangnya objek yang terkoneksi pada jaringan IOT maka muncul permasalahan scabillity seperti sulitnya knowledge manajemen yang ada karena mungkin untuk dibuatnya versi digital dari setiap alat sebelumnya sudah ada didunia nyata atau permasalahan interkoneksi apabila alat yang menggunakan jaringan IOT semakin banyak .
2. Kemampuan Melacak Alat, Seiring perkembangan jaman maka alat terkoneksi kejaringan IOT sebaiknya memiliki kemampuan untuk dilacak didunia nyata.

2.1.4 Bidang IOT

Didalam Internet Of Things (IOT) terdapat 3 bagian bidang,yaitu sebagai berikut :

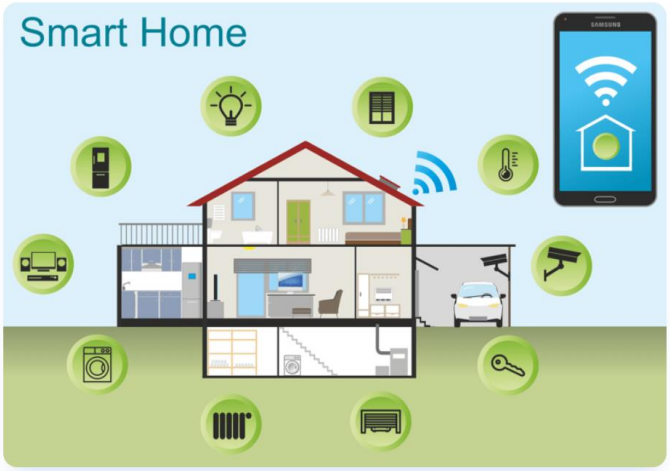
1. Manufaktur. Di bidang manufaktur IoT dapat menghubungkan semua fase proses Industrial, dari rantai pasokan sampai dengan pengiriman, dengan sangat detail mulai dari produksi, proses, hingga data mengenai tiap produk. Sensor-sensor IoT di mesin pabrik maupun rak gudang dapat berguna sebagai analitik data untuk mengoptimalkan kinerja peralatan, efisiensi biaya, meningkatkan produksi hingga mencegah kerusakan, yang nantikan akan meningkatkan kualitas perusahaan secara keseluruhan.

2. Transportasi. Salah satu contoh penerapan IoT pada sektor transportasi adalah penggunaan sistem detektor pada mobil. Sistem ini biasanya berbentuk kamera kecil dan tertanam pada body mobil. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan sensor ping yang digunakan sebagai alat untuk mendeteksi jarak kendaraan dengan bidang lain. Adapun sebuah proyek dimana mobil dapat berjalan sendiri sesuai dengan prosedur dan terprogram dengan baik. Namun sayangnya, mobil ini masih dalam tahap uji coba, sehingga mobil ini belum bisa digunakan secara umum.
3. Pendidikan. Dalam setiap lembaga pendidikan, para guru pasti memiliki sistem pembelajarannya sendiri. Namun, belum tentu setiap siswa akan suka dengan metode pembelajaran tersebut. Sebab, mungkin mereka merasa bahwa metode tersebut terlalu boring ataupun membosankan. Maka dari itu, para guru diharapkan agar dapat memanfaatkan teknologi yang sudah ada. Contohnya Banyak buku teks yang telah digabungkan ke situs berbasis web yang menggabungkan silabus dan video animasi kedalam sebuah materi. Dengan adanya ini teknologi ini diharapkan dapat membantu para guru dalam proses pembelajaran. Selain itu, dengan menerapkan metode ini, setidaknya dapat memberikan perspektif yang lebih luas kepada siswa dalam memperoleh hal-hal baru dengan pemahaman dan interaksi yang lebih baik.

2.1.5 IoT dalam Smart Home

Internet of Things (IoT) adalah paradigma yang menghubungkan perangkat fisik ke internet sehingga memungkinkan komunikasi, pemantauan, dan pengendalian secara otomatis. Dalam smart home, IoT mengintegrasikan sensor, aktuator, dan perangkat rumah tangga sehingga lebih efisien, aman, dan nyaman

(Atzori et al., 2010; Li et al., 2020). IoT terbukti dapat menurunkan konsumsi energi rumah tangga hingga 20% dengan automasi (Sharma et al., 2021). Tantangan utamanya adalah keamanan data dan privasi pengguna (Sicari et al., 2015). Velasco et al. (2019) menunjukkan bahwa kulkas pintar berbasis IoT mampu memantau inventaris makanan dengan sensor terintegrasi, sehingga meningkatkan efisiensi energi dan waktu.



Gambar 2.1 IOT Smart Home

(Sumber: IOT Smart Home,Rita 2024)

IoT juga terbukti mendukung efisiensi energi rumah tangga. Sharma et al. (2021) melaporkan bahwa penerapan IoT dapat mengurangi konsumsi energi hingga 20% dengan mengatur perangkat rumah tangga secara otomatis sesuai kebutuhan. IoT juga memungkinkan pengguna menganalisis pola konsumsi energi untuk mendukung konsep green building.

2.2 Sterilisasi UV

Sterilisasi ultraviolet (UV-C, 200–280 nm) efektif menonaktifkan mikroorganisme dengan merusak DNA atau RNA, sehingga mikroba tidak dapat bereplikasi.



Gambar 2.2 Lampu UV-C

(Sumber: UV-Clean Tech., 2025)

Teknologi ini banyak diterapkan pada rumah sakit, sistem air, hingga perangkat rumah tangga (Kowalski, 2009; Malayeri et al., 2016). Penelitian Columbia University (2024) menunjukkan UV-C 222 nm dapat menonaktifkan >99% virus di udara dalam ruang berpenghuni. .

Sterilisasi merupakan proses menghilangkan atau menghancurkan mikroorganisme dari suatu benda bertujuan untuk menjamin keamanan terhadap pencemaran oleh mikroorganisme. Faktor yang mempengaruhi sterilisasi, yaitu: tingkat kekeringan alat yang akan di proses, suhu dan kelembaban area pemrosesan, susunan alat dalam sterilisator, kondisi sterilisator, protokol perawatan dan pemilihan metode sterilisasi yang sesuai.

Angka kuman setelah diberikan perlakuan dalam waktu kontak paparan sinar UV-C variasi 8 watt menunjukan persentase rata-rata penurunan angka kuman adalah 80,38%, sedangkan untuk variasi 15 watt persentase rata-rata penurunan

angka kuman adalah 84,87% dan pada variasi daya lampu UV-C 30 watt persentase rata-rata penurunan angka kuman adalah 92,42%.

Tabel 1. Penurunan Kuman dengan UV-C

Pengulangan	Jumlah Angka Kuman (koloni/cm^2)					
	Perlakuan 8 Watt		Perlakuan 15 Watt		Perlakuan 30 Watt	
	Kontrol	Post Test	Kontrol	Post Test	Kontrol	Post Test
1	481	92	495	77	512	45
2	504	95	517	82	509	39
3	430	95	517	82	509	39
4	408	85	421	61	455	40
5	495	97	486	74	546	33
6	483	91	468	69	500	28
Terendah	408	85	421	61	443	28
Tertinggi	504	97	517	82	546	45
Rata-rata	466	91	471	71	494	37

(Sumber: Pratama, R.D., 2024)

Dengan demikian, UV-C dapat diintegrasikan ke lemari sepatu pintar. Integrasi lampu UV-C dalam lemari sepatu pintar memungkinkan sterilisasi otomatis setelah sepatu disimpan. Hal ini meningkatkan higienitas alas kaki sekaligus mencegah penyakit kulit akibat jamur atau bakteri. Oleh karena itu, UV-C merupakan komponen inti dalam sistem penyimpanan sepatu pintar.

2.3 Deodorizer Otomatis

Deodorizer otomatis digunakan untuk mengurangi bau tidak sedap melalui mekanisme fotokatalisis, ozonisasi, atau filter karbon aktif. Teknologi modern

mengombinasikan mekanisme fotokatalisis, ozon, atau ionisasi untuk menguraikan senyawa organik volatil (VOC) yang menyebabkan bau tidak sedap (Tsai & Chen, 2021).



Gambar 2.3 Alat Penyemprot Otomatis

(Sumber: SC Johnson., 2025)

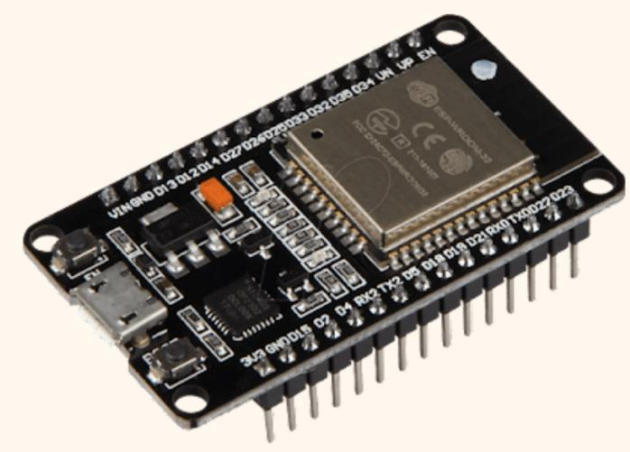
Perangkat ini relevan untuk penyimpanan sepatu, mengingat lingkungan lembap dalam sepatu sering menjadi penyebab timbulnya bau akibat aktivitas mikroorganisme. VOC (Volatile Organic Compounds) merupakan penyebab utama bau sepatu akibat metabolisme bakteri pada kondisi lembap. Teknologi automatic deodorizer seperti kipas, ozon, atau filter karbon aktif digunakan untuk menjaga kualitas udara di ruang tertutup. Lemari sepatu dengan filter karbon aktif mampu mengurangi kelembapan dan bau secara signifikan.

Studi Kim et al. (2020) menunjukkan bahwa ozon menurunkan konsentrasi senyawa penyebab bau hingga 80% di ruang tertutup sekaligus memiliki sifat antibakteri. Selain itu, ozon juga memiliki sifat antimikroba yang membantu mengurangi jumlah bakteri. Hal ini membuat deodorizer berbasis ozon lebih unggul dibanding metode konvensional.

Dalam penyimpanan sepatu pintar, modul deodorizer diintegrasikan dengan sensor kelembapan dan IoT. Deodorizer otomatis aktif sesuai kebutuhan, sehingga lebih hemat energi.

2.4 Mikrokontroler

ESP32 dan NodeMCU (ESP8266) adalah mikrokontroler yang dilengkapi modul Wi-Fi dan Bluetooth, prosesor hemat daya, serta antarmuka GPIO yang fleksibel (Espressif Systems, 2020). Keduanya populer digunakan dalam prototipe IoT karena murah, fleksibel, dan didukung oleh komunitas pengembang yang luas (Moghaddam et al., 2018). ESP32 digunakan sebagai otak utama dalam pemrosesan data sistem karena memiliki keunggulan berupa modul WiFi yang sudah terintegrasi. Hal ini memungkinkan perangkat untuk terhubung ke jaringan internet dengan stabil dan memproses perintah baik sebagai input dari sensor maupun output ke aktuator secara efisien (Maulana, 2024)



Gambar 2.4 ESP32

(Sumber: Espressif Systems. 2025)

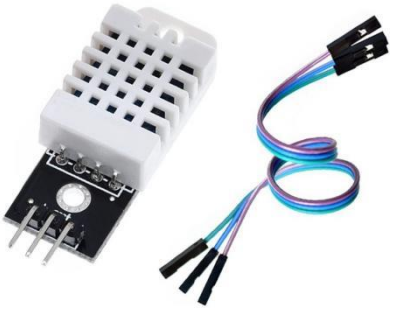
ESP32 dan NodeMCU merupakan mikrokontroler populer karena mendukung Wi-Fi terintegrasi. Sinha & Wei (2020) menyatakan bahwa ESP32 memiliki prosesor ganda yang mendukung multitasking, efisiensi daya, serta kompatibilitas tinggi untuk IoT. NodeMCU juga banyak digunakan karena harga terjangkau dan kemudahan integrasi dengan Arduino IDE. IRJET (2024) melaporkan bahwa NodeMCU efektif pada sistem IoT skala kecil, misalnya penyegar udara otomatis. ESP32 lebih unggul dibanding NodeMCU karena mendukung prosesor ganda dan keamanan yang lebih baik.

Spesifikasi ESP32-WROOM-32 Module

a. Microprosesor Xtensa Dual-Core 32 Bit LX6
b. Freq Clock up to 240 MHz
c. SRAM 520 kB
d. Flash memori 4 MB
e. 11b/g/n WiFi transceiver
f. Bluetooth 4.2/BLE
g. 48 pin GPIO
h. 15 pin channel ADC (*Analog to Digital Converter*)
i. 25 pin PWM (Pulse Width Modulation)
j. 2 pin channel DAC (*Digital to Analog Converter*)

2.5 Sensor Suhu & Kelembapan (DHT22)

Sensor DHT22 memiliki akurasi ±0,5 °C untuk suhu dan ±2% untuk kelembapan, dengan rentang operasi -40 °C hingga 80 °C dan 0–100% RH. Sensor ini banyak digunakan untuk monitoring lingkungan berbasis IoT karena praktis, murah, dan cukup akurat (Aosong Electronics, 2018; Patel & Patel, 2019).



Gambar 2.5 DHT22

(Sumber: Adafruit Industries. 2025)

DHT22 adalah sensor suhu dan kelembapan yang memiliki akurasi tinggi. Menurut Malarvizhi et al. (2019), DHT22 memiliki akurasi ±2% RH untuk kelembapan dan ±0,5 °C untuk suhu. Dalam aplikasi sepatu pintar, sensor ini memicu aktivasi UV-C atau deodorizer ketika kelembapan melebihi ambang batas. Zhang et al. (2020) juga menggunakan sensor kelembapan untuk mengatur pengering sepatu otomatis. Penggunaan sensor suhu dan kelembapan yang dikombinasikan dengan mikrokontroler memungkinkan perangkat elektronik bekerja secara otomatis dan efisien sesuai dengan kondisi lingkungan yang diinginkan (Rahayu & Basri, 2024)

2.6 Modul Relay

Relay adalah komponen pengendali yang memungkinkan mikrokontroler mengoperasikan perangkat dengan tegangan lebih tinggi. Khan et al. (2020) menyebut relay efisien digunakan dalam IoT karena konsumsi daya rendah. Dalam sistem sepatu pintar, relay berfungsi mengontrol lampu UV-C dan kipas deodorizer

berdasarkan input sensor. Fleksibilitas relay untuk mengatur perangkat rumah tangga otomatis.



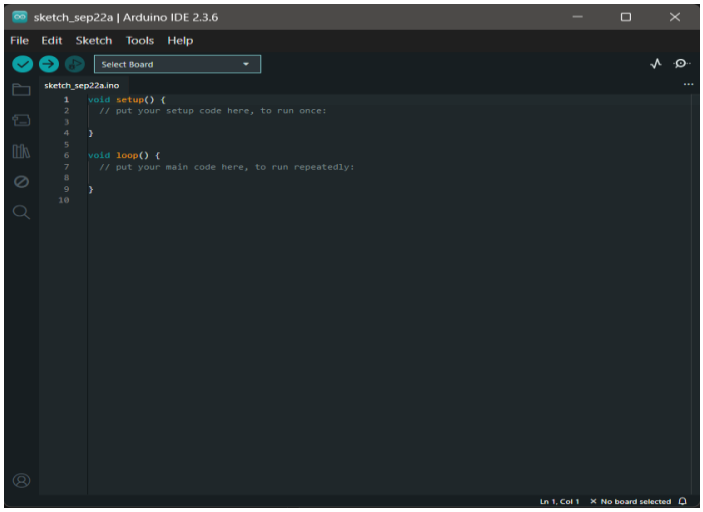
Gambar 2.6 Modul Relay

(Sumber: Electronics Tutorials.,2024)

Selain fungsional, relay juga berperan dalam keselamatan karena adanya isolasi listrik antara mikrokontroler dan perangkat tegangan tinggi (Nguyen et al., 2018).

2.7 Arduino IDE

Arduino IDE adalah lingkungan pemrograman berbasis C/C++ yang memfasilitasi pengembangan IoT. IDE ini mendukung berbagai library untuk integrasi sensor, komunikasi, dan kontrol aktuator (Banzi & Shiloh, 2014). Penggunaan Arduino IDE dalam penelitian IoT sangat populer karena kompatibel dengan berbagai papan mikrokontroler seperti Arduino Uno, ESP8266, dan ESP32 (Al-Fuqaha et al., 2015).

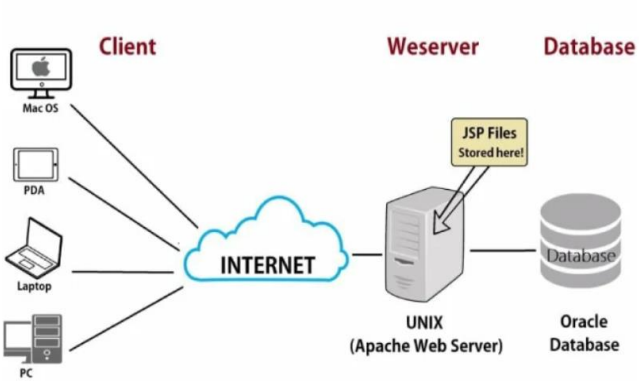


Gambar 2.7 Arduino IDE

Arduino IDE adalah platform pemrograman populer untuk ESP32/NodeMCU. Singh et al. (2019) menyatakan bahwa IDE ini mendukung berbagai library IoT. Arduino IDE digunakan untuk membaca sensor dan mengontrol relay. IRJET (2024) juga melaporkan kesuksesan pemrograman IoT berbasis NodeMCU dengan Arduino. Arduino IDE juga mendukung integrasi antarmuka web menggunakan HTML/JavaScript (Velasco et al., 2019).

2.8 Web Server

Web server adalah sistem yang merespons permintaan HTTP dari klien dengan menyajikan data dalam bentuk laman web. ESP32 dapat difungsikan sebagai web server untuk menampilkan data sensor secara real-time. Web server memungkinkan kontrol dan monitoring jarak jauh melalui browser tanpa aplikasi tambahan (Zhang et al., 2019). Teknologi ini memungkinkan pengguna memantau data lingkungan (suhu, kelembapan, atau status perangkat) melalui browser tanpa perlu aplikasi tambahan.



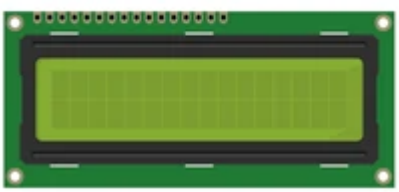
Gambar 2.8 Web Server

(Sumber: Web Server., 2025)

ESP32 dapat difungsikan sebagai web server mandiri. IRJET (2024) melaporkan bahwa web server ESP32 mampu menampilkan data sensor secara real-time. Velasco et al. (2019) menunjukkan bahwa kontrol kulkas pintar dapat dilakukan melalui web server berbasis ESP32. Hal ini relevan untuk penyimpanan sepatu pintar. Integrasi web server juga memungkinkan pengguna memantau data historis dengan latensi rendah, meningkatkan pengalaman pengguna.

2.9 LCD I2C

LCD I2C adalah layar Liquid Crystal Display (LCD) karakter yang menggunakan protokol komunikasi I2C (Inter-Integrated Circuit) untuk berinteraksi dengan mikrokontroler seperti Arduino. Keunggulan utamanya adalah penyederhanaan pengkabelan karena hanya membutuhkan dua kabel data (SDA dan SCL) serta catu daya (VCC dan GND), mengurangi jumlah pin yang dibutuhkan mikrokontroler dibandingkan LCD tradisional yang membutuhkan banyak pin.



Gambar 2.9 LCD I2C

2.10 Database

Firebase Realtime Database menyimpan data dalam format JSON dengan update real-time, cocok untuk aplikasi ringan berbasis mobile. MySQL merupakan RDBMS yang mendukung sistem besar dengan analisis data yang lebih kompleks (Chandrasekaran et al., 2020). Keduanya dapat digunakan untuk logging data sensor sepatu pintar.



Gambar 2.10 Firebase

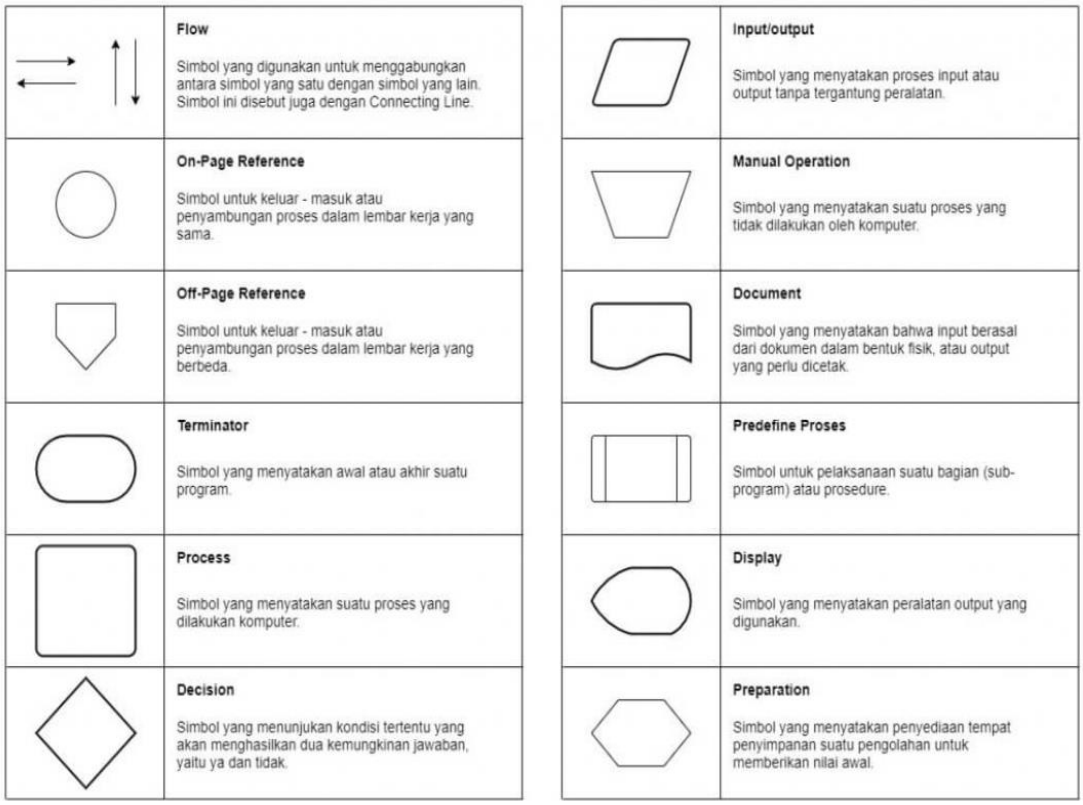
(Sumber: Google Firebase. 2025)

Dalam sistem sepatu pintar, database menyimpan data kelembapan, waktu sterilisasi UV-C, dan penggunaan deodorizer. Lee et al. (2021) menegaskan bahwa penyimpanan data IoT penting untuk evaluasi kinerja perangkat. Firebase juga memungkinkan notifikasi otomatis ketika kelembapan melebihi ambang batas, sedangkan MySQL dapat menghasilkan laporan historis penggunaan (Bedi et al., 2020). Selain konektivitas, penggunaan teknik kriptografi sangat penting dalam arsitektur berbasis *cloud* untuk menjaga kerahasiaan dan keamanan data dari ancaman pencurian data (Fadhlurrohman & Basri, 2025).

2.11 Flowchart

Flowchart atau diagram alir merupakan representasi grafis yang menunjukkan urutan langkah atau proses dalam suatu sistem. Diagram ini sering

digunakan oleh analis sistem untuk mendokumentasikan serta menjelaskan alur kerja kepada programmer. Dengan menggunakan simbol-simbol yang merepresentasikan proses tertentu dan dihubungkan melalui garis alir, flowchart memudahkan identifikasi serta penyelesaian masalah selama tahap pengembangan sistem.



Gambar 2.11 Flowchart

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan model Sugiyono (2019), yang mencakup tahapan identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem, implementasi, pengujian, analisis data, dan dokumentasi hasil yang berfokus pada perancangan, pembangunan, dan pengujian prototipe penyimpanan sepatu pintar berbasis Internet of Things (IoT).

Penelitian dilakukan dengan pendekatan eksperimen untuk menguji efektivitas integrasi UV sterilization, automatic deodorizer, dan sistem web server dalam menjaga higienitas serta kenyamanan sepatu. Pemilihan metode R&D didasarkan pada tujuan penelitian yang tidak hanya menghasilkan konsep teoritis, tetapi juga menciptakan sebuah produk fungsional yang dapat diuji secara langsung (Sugiyono, 2019).

3.2 Lokasi dan Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan diJalan Gatot Subroto Kota Medan No.254. Lokasi ini dipilih karena memiliki fasilitas yang mendukung perancangan perangkat berbasis mikrokontroler, sensor, serta jaringan IoT.

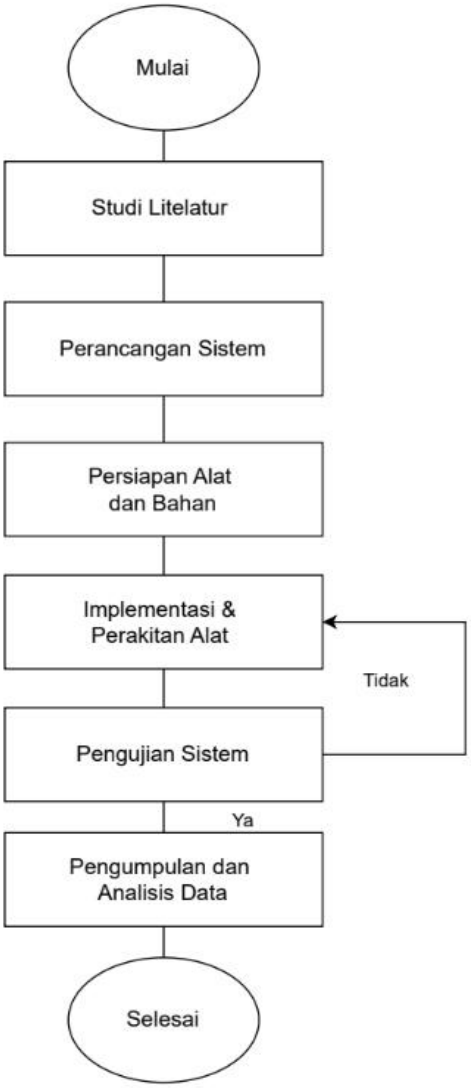
Tabel 2. Jadwal Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Sep 13	Okt 13	Nov 13	Des 11	Jan 14	Feb 14	Mar 14	Apr 14	Mei 14	Jun 14	Jul 14
1.	Penyusunan proposal penelitian											
2.	Penyerahan proposal penelitian											
3.	Pengajuan surat izin penelitian											
4.	Uji validitas dan reliabilitas											
5.	Pengumpulan data											
6.	Pengolahan data											
7.	Penyusunan skripsi											
8.	Pengumpulan skripsi											
9.	Sidang skripsi											

Penelitian ini dapat dikerjakan langsung selama dalam 2 minggu didalam 1 bulan tersebut, yang meliputi tahap perancangan, implementasi, uji coba, dan evaluasi.

3.3 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahapan yang harus dilakukan sebelum benar-benar menciptakan sistem. Berikut adalah tahapan penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir Tahapan Penelitian

1. Studi Literatur

   Peneliti melakukan kajian literatur untuk memperoleh landasan teori yang kuat terkait penyimpanan sepatu pintar, teknologi Internet of Things (IoT), serta penggunaan UV sterilization dan automatic deodorizer. Kajian ini mencakup referensi dari jurnal ilmiah, buku, dan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik pengembangan smart home device.

2. Perancangan Sistem

   Peneliti menyusun rancangan sistem baik secara konseptual maupun teknis. Pada tahap ini dibuat diagram blok arsitektur sistem penyimpanan sepatu pintar, skema rangkaian elektronik untuk menghubungkan sensor, aktuator, dan ESP32, serta flowchart perangkat lunak yang menggambarkan logika kontrol UV sterilizer, deodorizer, dan web server berbasis IoT.

3. Persiapan Alat dan Bahan

   Peneliti menyiapkan semua perangkat keras dan perangkat lunak sesuai rancangan, meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor (misalnya sensor kelembapan atau gas), modul UV sterilizer, automatic deodorizer, serta perangkat pendukung lain seperti relay dan modul WiFi.

4. Implementasi & Perakitan Sistem

   Peneliti merealisasikan rancangan yang telah dibuat dengan merakit seluruh komponen perangkat keras menjadi sebuah prototipe penyimpanan sepatu pintar. Pada tahap ini juga dilakukan pemrograman ESP32 agar dapat mengontrol UV sterilizer dan deodorizer, serta mengintegrasikan sistem dengan web server IoT untuk monitoring dan controlling.

5. Pengujian Sistem

   Prototipe diuji untuk memastikan semua fungsi berjalan sesuai harapan, termasuk kinerja UV sterilizer dalam sterilisasi, automatic deodorizer dalam mengurangi bau, serta komunikasi data melalui web server IoT. Jika ditemukan

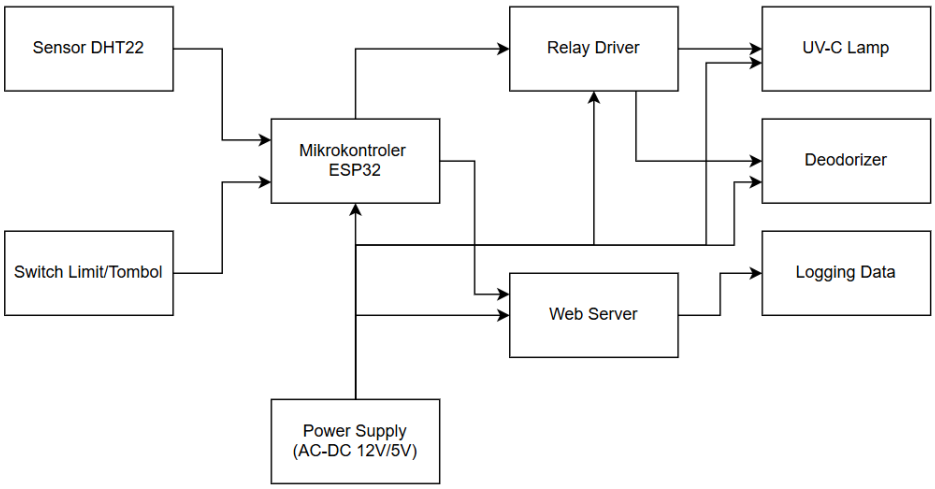
kesalahan, dilakukan perbaikan pada tahap implementasi hingga sistem berfungsi dengan baik.

6. Pengumpulan dan Analisis Data

   Data primer dikumpulkan melalui hasil uji coba penggunaan lemari sepatu pintar, meliputi efektivitas sterilisasi, pengurangan bau, serta keandalan kontrol melalui web server. Data yang terkumpul dianalisis untuk menilai kinerja sistem dan memberikan kesimpulan mengenai keberhasilan rancangan penyimpanan sepatu pintar berbasis IoT ini.

3.4 Digram Blok

Secara umum gambar blok diagram pada rancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini



Gambar 3.2. Diagram Block

Diagram blok ini menggambarkan aliran data dan kontrol dalam sistem rak sepatu pintar. Setiap blok merepresentasikan sebuah modul fungsional, dan garis panah menunjukkan arah aliran sinyal atau daya.

1. Sensor Input: Sensor DHT22 (Suhu & Kelembapan): Ini adalah modul input utama yang bertugas mendeteksi kondisi lingkungan di dalam rak sepatu. Data dari sensor ini menjadi pemicu otomatisasi.
2. Tombol/Limit Switch: Modul opsional ini berfungsi sebagai input manual atau mendeteksi status pintu (terbuka/tertutup) untuk keamanan dan aktivasi sistem.
3. Unit Pemrosesan (Mikrokontroler): Mikrokontroler ESP32/NodeMCU: Berperan sebagai otak dari keseluruhan sistem. Ia memproses data dari Sensor DHT22, menjalankan algoritma kontrol, dan mengirimkan perintah ke aktuator.
4. Unit Kontrol & Aktuator: Relay Driver: Modul ini berfungsi sebagai antarmuka yang memungkinkan mikrokontroler (tegangan rendah) untuk mengendalikan aktuator (tegangan lebih tinggi).
5. Lampu UV-C: Aktuator utama untuk sterilisasi. Lampu ini aktif untuk menonaktifkan mikroorganisme seperti bakteri dan jamur berdasarkan perintah dari mikrokontroler.
6. Modul Deodorizer: Aktuator lain yang dapat berupa kipas, ozon, atau filter karbon aktif untuk menghilangkan bau tidak sedap.
7. Sistem Komunikasi & Penyimpanan Data: Web Server (ESP32): Modul ini memungkinkan sistem diakses secara nirkabel melalui web browser pada smartphone atau PC. Ia menyajikan data real-time dan menerima perintah kontrol dari pengguna.
8. Database (Firebase/MySQL): Berfungsi untuk menyimpan data historis (logging) dari sensor (suhu, kelembapan) dan penggunaan aktuator. Data ini penting untuk analisis performa sistem.

9. Sumber Daya: Power Supply (AC-DC 12V/5V): Menyediakan daya listrik yang stabil untuk seluruh komponen, termasuk mikrokontroler dan aktuator.

3.5 Perancangan Sistem

3.5.1 Perancangan Hardware

Komponen utama yang digunakan meliputi:

1. Mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem.
2. Sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan.
3. Lampu UV-C untuk sterilisasi sepatu.
4. Modul Deodorizer (kipas + ozon/karbon aktif) untuk menghilangkan bau.
5. Relay sebagai saklar elektronik pengendali UV-C dan deodorizer.
6. Power Supply 12V/5V untuk mendukung kebutuhan energi sistem.

Desain perangkat dibuat dalam bentuk lemari sepatu miniatur dengan ventilasi terkontrol untuk memastikan sirkulasi udara dan distribusi radiasi UV-C merata.

3.5.2 Perancangan Software

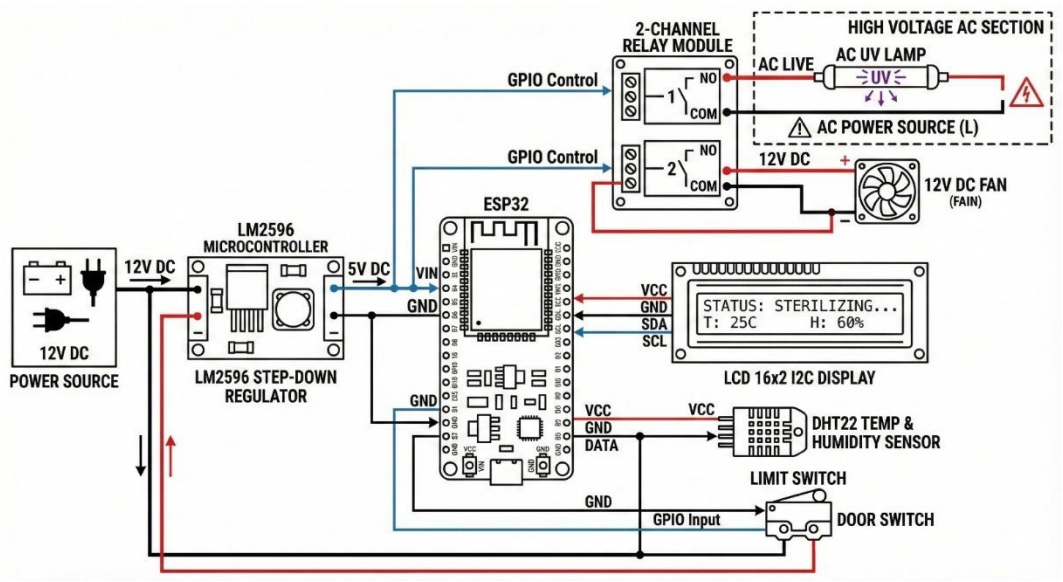
Perangkat lunak dikembangkan menggunakan:

1. Arduino IDE untuk pemrograman ESP32.
2. HTML/JavaScript untuk antarmuka web server.
3. Firebase/MySQL untuk database logging data suhu, kelembapan, dan penggunaan UV-C/deodorizer.

Algoritma kontrol otomatis yang mengaktifkan UV-C dan deodorizer berdasarkan kondisi sensor.

3.6 Skema Rangkaian Elektronik

Skema rangkaian elektronik atau *wiring diagram* merupakan representasi visual dari hubungan kabel dan jalur data antar komponen perangkat keras. Gambar 3.x berikut menunjukkan detail koneksi pin antara ESP32 sebagai pusat kendali dengan sensor, aktuator, dan sistem catu daya.



Gambar 3.3 Skema Rangkaian Elektronik Sistem

Berdasarkan Skema di atas, konfigurasi pin dan jalur daya sistem dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sistem Manajemen Daya

   a. Sumber Utama: Menggunakan adaptor 12V DC sebagai input utama sistem.

   b. LM2596 Step-Down Regulator: Berfungsi menurunkan tegangan dari 12V DC menjadi 5V DC untuk memberi daya pada ESP32 (melalui pin VIN) dan LCD I2C.

   c. Jalur 12V: Digunakan secara langsung untuk memberi daya pada *12V DC Fan* melalui modul relay.

2. Koneksi Sensor dan Input

a. Sensor DHT22: Pin data terhubung ke GPIO ESP32 (biasanya GPIO 4 atau 15) untuk mengirimkan data suhu dan kelembapan secara *real-time*.

b. Door Switch (Limit Switch): Terhubung ke GPIO ESP32 sebagai *input* digital untuk mendeteksi status pintu (terbuka atau tertutup) sebagai pengaman saat lampu UV aktif.

3. Koneksi Aktuator (Output)

Modul Relay 2-Channel: Terhubung ke dua pin GPIO ESP32 sebagai pengendali sakelar elektronik.

a. Channel 1: Mengontrol aliran listrik AC *High Voltage* untuk menyalakan Lampu UV-C.

b. Channel 2: Mengontrol aliran listrik 12V DC untuk menyalakan kipas (*fan*) sebagai bagian dari sistem deodorizer.

4. Antarmuka Pengguna (Interface)

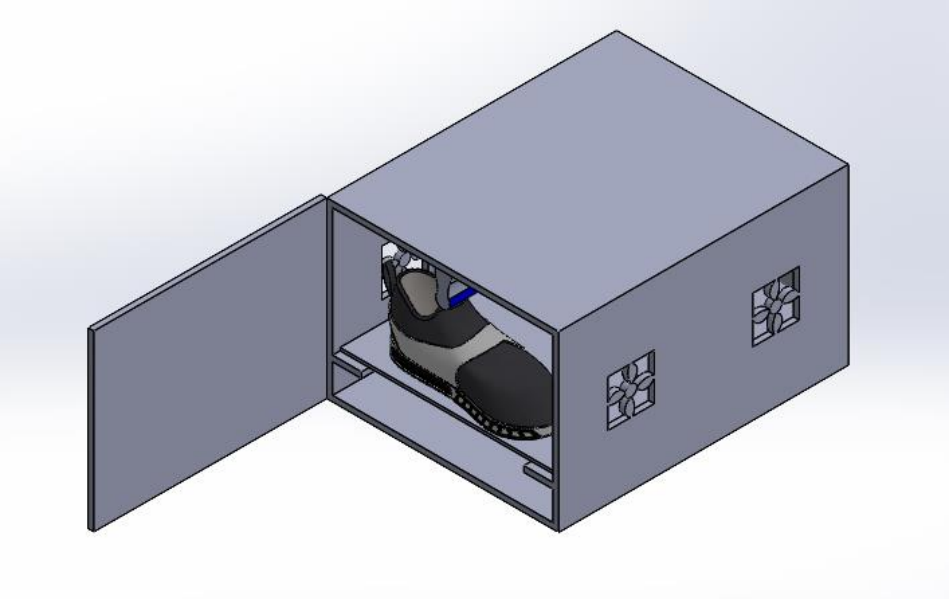
LCD 16x2 I2C Display: Menggunakan protokol komunikasi I2C yang terhubung pada pin SDA dan SCL di ESP32. Layar ini berfungsi menampilkan status proses sterilisasi serta nilai suhu dan kelembapan.

3.7 Visualisasi Desain 3D dan Dimensi Fisik

Pada tahap ini, dilakukan perancangan bentuk fisik prototipe menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD). Perancangan ini bertujuan untuk memetakan tata letak komponen serta memastikan dimensi perangkat proporsional untuk menampung objek penelitian (sepatu).

3.7.1 Analisis Desain 3D

Desain perangkat dibuat dalam bentuk kabinet atau lemari sepatu miniatur yang tertutup rapat guna memastikan keamanan paparan radiasi UV-C. Berdasarkan Gambar 3.4, perangkat memiliki fitur-fitur fisik sebagai berikut:



Gambar 3.4 Design 3D Rak Spatu

1. Sistem Rak Tarik (*Sliding*): Memudahkan pengguna dalam memasukkan dan mengeluarkan sepatu dari area sterilisasi.
2. Ventilasi Sirkulasi: Terdapat empat buah lubang ventilasi (dua di sisi kiri dan dua di sisi kanan) yang berfungsi sebagai jalur pembuangan udara oleh kipas *deodorizer*.
3. Area Kontrol: Penempatan sensor DHT22 berada di titik yang mampu menjangkau suhu rata-rata kabinet, sementara lampu UV-C diposisikan pada langit-langit kabinet.

3.7.2 Spesifikasi Dimensi Perangkat

Berdasarkan gambar teknis (*technical drawing*) yang telah disusun, prototipe ini memiliki spesifikasi ukuran sebagai berikut:

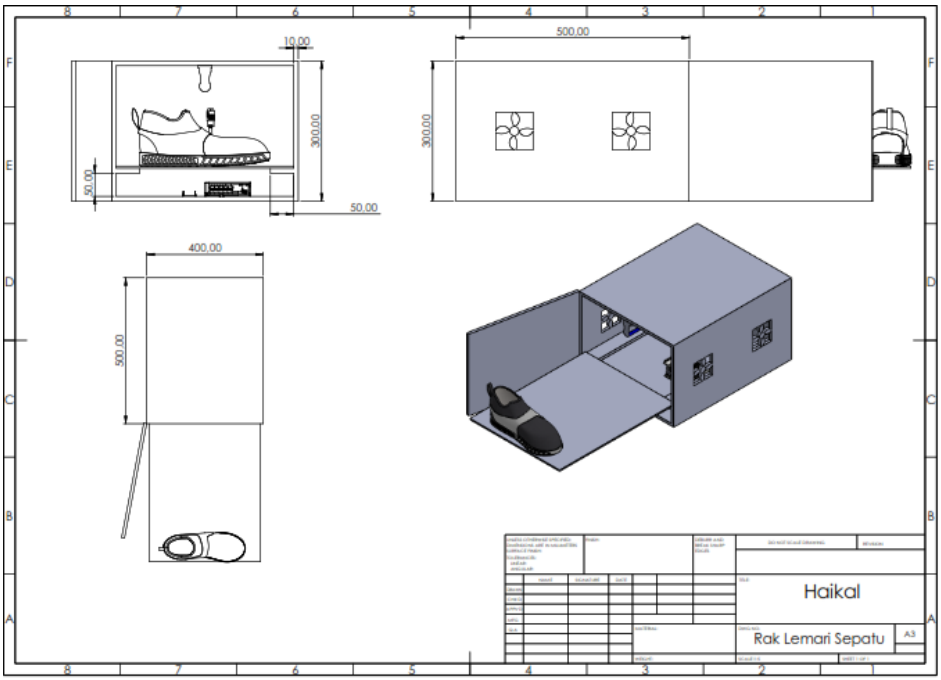
a. Panjang (Kedalaman): 500,00 mm

b. Lebar: 400,00 mm

c. Tinggi: 300,00 mm

d. Dimensi Lubang Ventilasi: 50,00 mm x 50,00 mm

e. Ketebalan Panel: 10,00 mm



Gambar 3.5 Skema Rangkaian Elektronik Sistem

3.8 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui uji laboratorium dan pengujian fungsional prototipe:

1. Uji efektivitas UV-C menggunakan metode kultur mikrobiologi (swab test dan colony count) sebelum dan sesudah penyinaran.
2. Uji deodorizer menggunakan sensor VOC/gas serta panel uji subjektif.
3. Uji IoT dengan pengukuran latensi (ms), uptime (%), dan packet loss (%).
4. Logging data suhu dan kelembapan melalui database untuk analisis tren.

3.9 Teknik Analisis Data

Data dianalisis secara kuantitatif dengan menghitung persentase penurunan mikroba dan reduksi bau. Analisis kinerja IoT dilakukan dengan statistik latensi dan uptime. Analisis kualitatif diperoleh dari observasi kenyamanan pengguna saat menggunakan sistem.

1. Analisis Kuantitatif:
    a. Persentase penurunan jumlah mikroorganisme (%).
    b. Persentase pengurangan bau (%).
    c. Statistik latensi & uptime sistem IoT.

2. Analisis Kualitatif:
    a. Observasi kenyamanan penggunaan sistem.
    b. Ydh Feedback dari pengguna uji coba.

Data hasil pengujian dibandingkan dengan standar efektivitas yang direkomendasikan dalam literatur, misalnya efektivitas UV-C (>90% inaktivasi mikroba) dan efektivitas deodorizer (>70% reduksi bau).

3.10 Validitas dan Reliabilitas

Untuk menjamin keabsahan data dan konsistensi kinerja sistem, penelitian ini menggunakan metode berikut:

3.10.1 Validitas Data

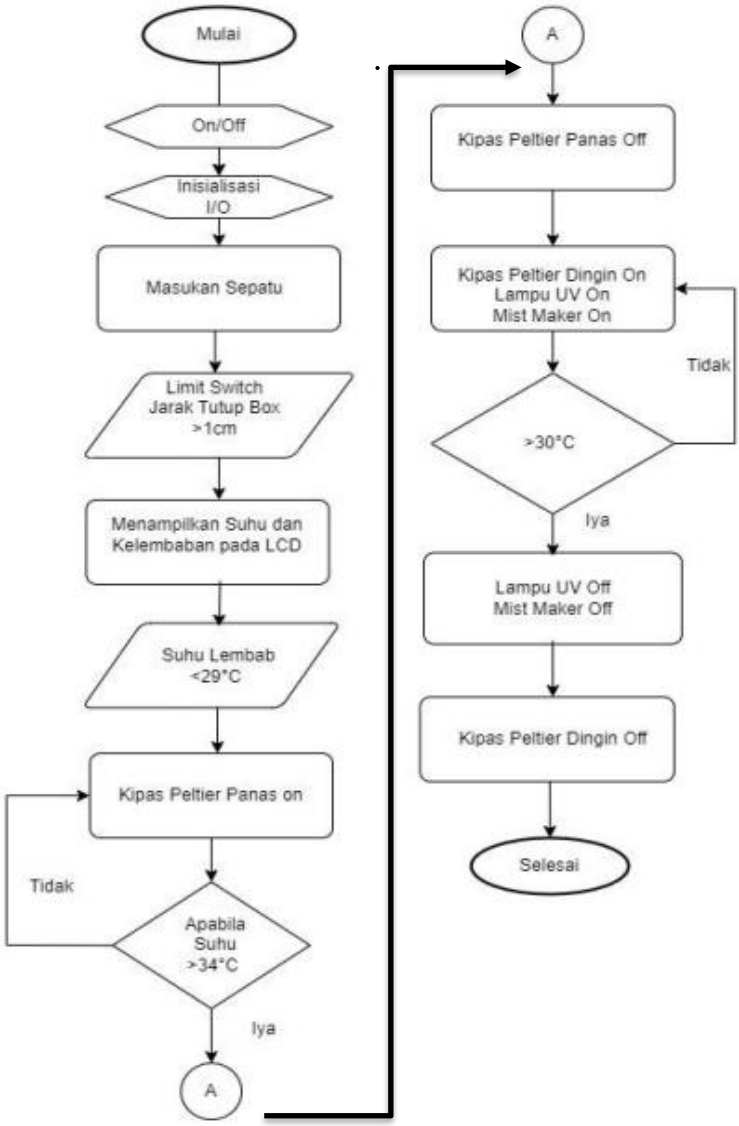
1. Uji Replikasi: Melakukan setiap pengujian (sterilisasi dan deodorisasi) minimal 3 kali pengulangan untuk mendapatkan nilai rata-rata yang stabil.

2. Cross-check Data: Membandingkan hasil pembacaan sensor DHT22 dengan alat ukur standar (higrometer/termometer digital) untuk memastikan akurasi data.
3. Uji Mikrobiologi: Melakukan *swab test* sebelum dan sesudah penyinaran UV-C untuk menghitung persentase penurunan kuman secara nyata.

3.10.2 Reliabilitas Sistem

1. Pengamatan Kestabilan IoT: Menguji sistem secara terus-menerus selama minimal 72 jam tanpa interupsi untuk memastikan tidak ada kendala pada koneksi *web server* dan *database*.
2. Uji Ketahanan Komponen: Memastikan modul relay, lampu UV-C, dan kipas dapat bekerja sesuai perintah program tanpa mengalami *overheating* atau kegagalan fungsi.

3.11 Diagram Alir Flowchart



Gambar 3.6. Diagram Alir flow Chart

Pengujian sensor pada penelitian ini yaitu sensor suhu dan kelembapan akan di uji untuk mengetahui apakah suhu di dalam box pengering sepatu bekerja dengan baik atau tidak, jika sensor DHT22 mendeteksi suhu kelembapan di bawah 29°C maka akan memberitahukan pengguna dengan menampilkan nilai suhu dan kelembapan pada Lcd Display. Sebagai perbandingan pengujian nilai suhu dan

kelembapan akan menggunakan Sepatu Casual, Sepatu Olahraga, Sepatu Suede, sensor DHT22, alat ukur digital thermometer dan ruang terbuka.

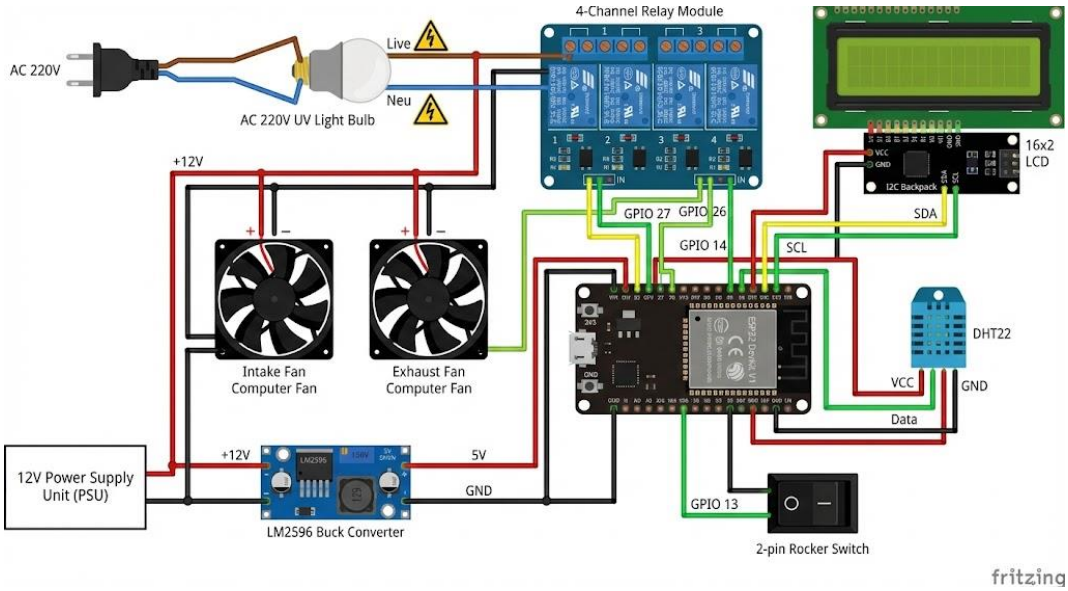
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

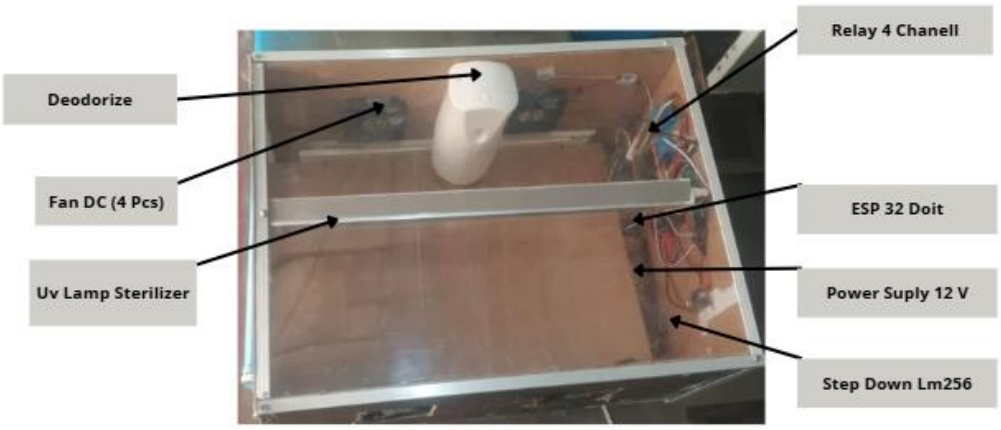
4.1.1 Implementasi Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Tahap implementasi merupakan fase realisasi dari rancangan skema elektronik dan logika program yang telah didefinisikan pada bab sebelumnya. Pada tahap ini, seluruh komponen perangkat keras dirakit menjadi satu kesatuan sistem, dan perangkat lunak dikembangkan serta diunggah ke mikrokontroler dan server. Implementasi perangkat keras mencakup perakitan komponen elektronik, pengkabelan (wiring), dan penempatan sensor di dalam wadah sterilisasi. Sistem ini menggunakan ESP32 DevKit V1 sebagai unit pemroses pusat yang ditenagai oleh catu daya 12VDC melalui penurun tegangan (buck converter). Gambar 1 menunjukkan wiring diagram system



Gambar 4.1. Wiring diagram sistem

Sistem menggunakan satu sumber daya utama yaitu Power Supply Unit (PSU) 12V 5A. Distribusi daya dibagi menjadi dua jalur utama. Jalur 12V disambungkan langsung ke Relay 2 dan Relay 3 untuk menyuplai daya ke Fan Intake dan Fan Exhaust. Tegangan 12V dipilih agar kipas dapat berputar pada kecepatan optimal (RPM tinggi) untuk sirkulasi udara maksimal. Jalur 5V dimana tegangan 12V diturunkan menjadi 5V stabil menggunakan modul LM2596 DC-DC Buck Converter. Output 5V ini digunakan untuk menyuplai daya ke pin VIN pada ESP32 dan koil elektromagnetik pada modul Relay 4-Channel. Sistem menggunakan modul Relay 4-Channel dengan logika pemicu Active High (Relay menyala saat diberi logika 1/HIGH). Konfigurasi beban pada relay diantaranya Relay 1 (UV-C) berfungsi memutus dan menyambung jalur fasa (L) dari listrik jala-jala PLN 220V menuju lampu UV. Isolasi kabel diperketat pada bagian ini untuk keamanan tegangan tinggi. Relay 2 (Intake) berfungsi memutus jalur positif (+) 12V menuju kipas masuk. Relay 3 (Exhaust) berfungsi memutus jalur positif (+) 12V menuju kipas buang. Sensor suhu dan kelembapan DHT22 ditempatkan pada dinding dalam boks yang tidak terpapar langsung oleh sinar UV secara intens untuk menghindari pembacaan panas palsu (heat bias) dari lampu. Antarmuka pengguna terdiri dari LCD 16x2 (I2C) yang dihubungkan ke pin GPIO 21 (SDA) dan GPIO 22 (SCL). Rocker Switch diimplementasikan pada GPIO 13 dengan mode INPUT_PULLUP. Saklar ini berfungsi sebagai pemicu fisik dengan logika penguncian (latching), di mana posisi saklar menentukan status operasional sistem secara persisten.



Gambar 4.2 Tata letak komponen internal sistem (Top View)

Pengembangan perangkat lunak dilakukan pada dua platform berbeda, yaitu firmware untuk sisi perangkat (ESP32) dan aplikasi web untuk sisi server. Kode program ditulis menggunakan Arduino IDE. Pustaka utama yang digunakan adalah Firebase_ESP_Client versi 4.4.14 oleh Mobizt. Perubahan signifikan dilakukan pada sintaks pengambilan data boolean dari Firebase, yang menyesuaikan standar library baru menggunakan fungsi boolData(). Algoritma utama sistem menerapkan logika state machine sederhana dengan fitur keamanan:

1. Sinkronisasi 2 Arah: Sistem memantau perubahan status baik dari Rocker Switch fisik maupun variabel /sepatu/switch di database Firebase.
2. Manajemen Timer: Menggunakan fungsi millis() untuk menghitung durasi sterilisasi selama 15 menit tanpa memblokir proses pembacaan sensor (non-blocking code).
3. Logika Safety Cycle: Variabel flag cycleFinished diimplementasikan untuk menangani kondisi ketika timer habis namun saklar fisik masih dalam posisi ON. Sistem memaksa pengguna untuk mematikan saklar (Reset ke OFF) sebelum dapat memulai siklus baru, mencegah sistem menyala tanpa pengawasan.

4.1.2 Implementasi Pemrograman pada Arduino IDE

Pada tahap ini, dilakukan penyusunan algoritma pemrograman menggunakan *software* Arduino IDE dengan bahasa C++. Kode program dirancang untuk mengatur seluruh alur kerja sistem, mulai dari inisialisasi sensor hingga komunikasi data dua arah dengan *Firebase Realtime Database*.

A. Inisialisasi Library dan Konfigurasi Pin

Langkah awal dalam pemrograman adalah mendefinisikan *library* yang digunakan untuk mendukung perangkat keras, serta menentukan alamat pin pada ESP32.

```C++
#include <WiFi.h>
#include <Firebase_ESP_Client.h>
#include <DHT.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Konfigurasi Pin Aktuator dan Sensor
#define PIN_DHT 4
#define PIN_RELAY_UV 26
#define PIN_RELAY_INTAKE 27
#define PIN_RELAY_EXHAUST 14
#define PIN_SWITCH 13         // Rocker Switch Fisik
```

Gambar 4.3 Potongan Kode Inisialisasi *Library* dan Definisi Pin ESP32

Penggunaan *library* Firebase_ESP_Client memungkinkan ESP32 untuk melakukan pengiriman data secara *asynchronous*, sementara pin digital ditentukan berdasarkan pemetaan jalur pada *Printed Circuit Board* (PCB) atau *breadboard* yang telah dirancang.

B. Algoritma Kontrol Sterilisasi dan Timer

Logika utama sistem berfokus pada durasi sterilisasi selama 15 menit. Sistem akan mengaktifkan seluruh aktuator (UV dan Kipas) jika saklar fisik berada pada posisi ON atau menerima perintah dari *web server*.

```
C++

const int DURASI_MENIT = 15;
unsigned long durasiMilis = DURASI_MENIT * 60000UL;

if (sedangProses) {
    unsigned long waktuBerjalan = millis() - waktuMulai;
    if (waktuBerjalan >= durasiMilis) {
        matikanSistem(); // Mematikan seluruh relay otomatis
        cycleFinished = true;
    } else {
        digitalWrite(PIN_RELAY_UV, RELAY_ON);
        digitalWrite(PIN_RELAY_INTAKE, RELAY_ON);
        digitalWrite(PIN_RELAY_EXHAUST, RELAY_ON);
    }
}
```

Gambar 4.4 Konfigurasi Kredensial WiFi dan *Firebase Realtime Database*

Program menggunakan fungsi millis() alih-alih delay() agar ESP32 tetap dapat memantau data sensor secara *real-time* meskipun proses sterilisasi sedang berlangsung.

C. Sinkronisasi Data Firebase dan Web Server

```
if (millis() - lastUploadTime > 2000) {
    lastUploadTime = millis();
    if (Firebase.ready() && signupOK) {
        Firebase.RTDB.setFloat(&firebaseData, "/sepatu/suhu", suhu);
        Firebase.RTDB.setFloat(&firebaseData, "/sepatu/kelembapan", kelembapan);
        Firebase.RTDB.setString(&firebaseData, "/sepatu/status", statusStr);
    }
}
```

Gambar 4.5 Konfigurasi Kredensial WiFi dan *Firebase Realtime Database*

Pengunggahan data dilakukan setiap 2 detik untuk menjaga efisiensi *bandwidth* namun tetap memberikan informasi yang akurat kepada pengguna mengenai kondisi suhu dan kelembapan di dalam kotak penyimpanan.

4.1.3 Implementasi Komunikasi ESP32 dengan Firebase

```
  }
  if (millis() - lastUploadTime > 2000) {
    lastUploadTime = millis();
    if (Firebase.ready() && signupOK) {
      Firebase.RTDB.setFloat(&firebaseData, "/sepatu/suhu", suhu);
      Firebase.RTDB.setFloat(&firebaseData, "/sepatu/kelembapan", kelembapan);
      Firebase.RTDB.setString(&firebaseData, "/sepatu/status", statusStr);
      Firebase.RTDB.setString(&firebaseData, "/sepatu/sisa_waktu", sisaWaktuStr);
    }
  }
}
void cekSwitchFisik() {
  int switchState = digitalRead(PIN_SWITCH);
  if (switchState == LOW) {
    if (!sedangProses && !cycleFinished) {
      mulaiSistem();
      if (Firebase.ready() && signupOK) Firebase.RTDB.setBool(&firebaseData, "/sepatu/switch", true);
    }
  }
  else {
    if (cycleFinished) {
      cycleFinished = false;
    }
    if (sedangProses) {
      matikanSistem();
      if (Firebase.ready() && signupOK) Firebase.RTDB.setBool(&firebaseData, "/sepatu/switch", false);
    }
  }
```

Gambar 4.6 Firmware ESP32

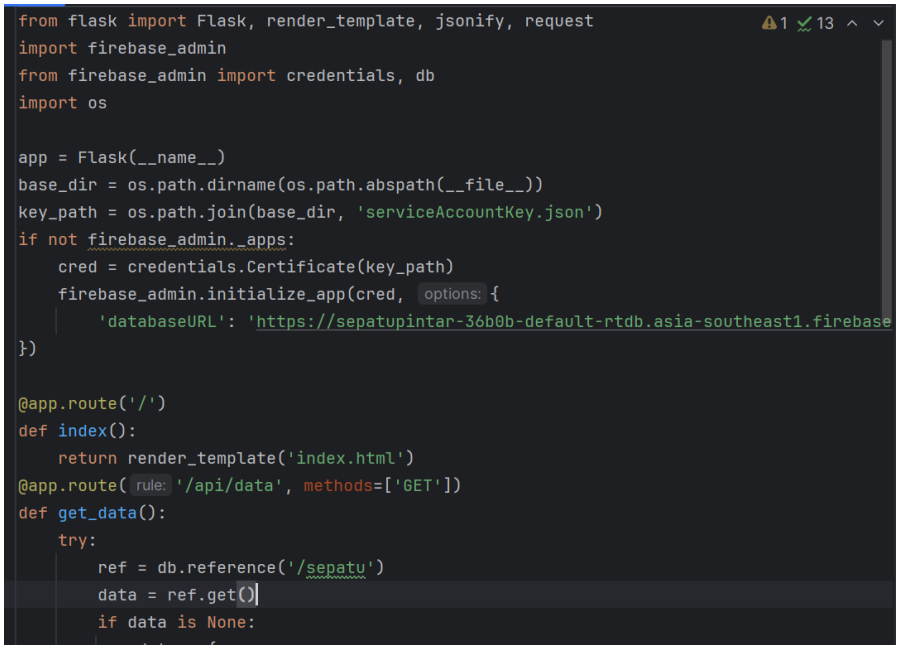
Basis data dikonfigurasi pada Google Firebase Console dengan lokasi server asia-southeast1 (Singapura) untuk meminimalkan latensi. Struktur data JSON yang dibangun ditunjukkan pada table 1 berikut.

Tabel 3. Struktur data JSON pada Firebase Console

Variable	Tipe Data	Keterangan
suhu	Float	Menyimpan data suhu aktual
kelembapan	Float	Menyimpan data kelembapan
status	String	Menyimpan status teks ("STERILIZING" / "STANDBY")
switch	Boolean	Variabel kontrol utama (True = ON, False = OFF)
Sisa_waktu	String	Menyimpan format waktu MM:SS untuk ditampilkan di web

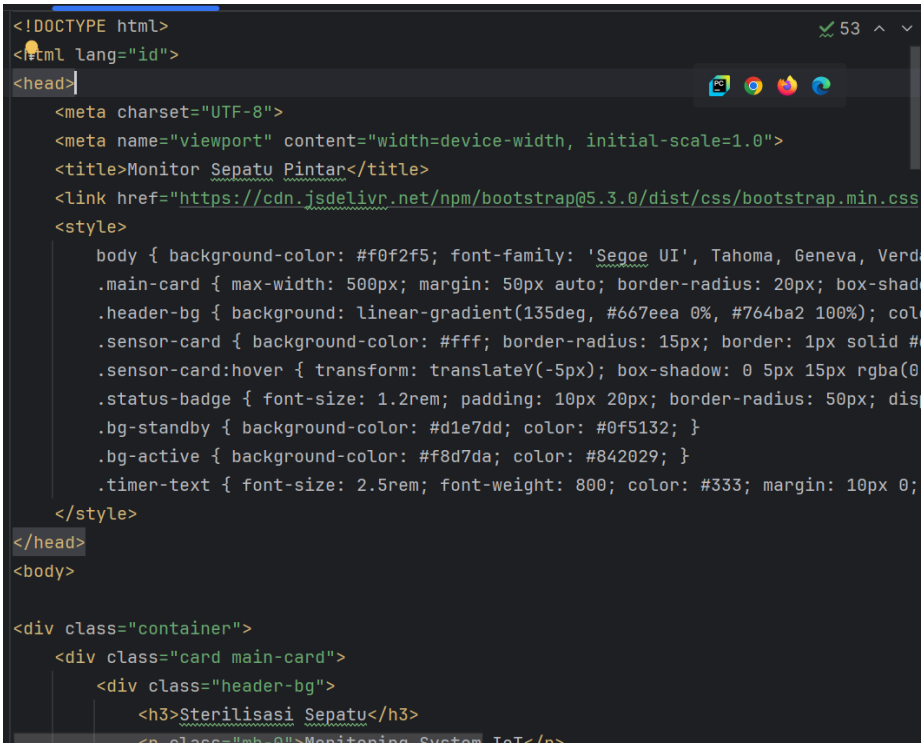
Aplikasi pemantauan berbasis web dibangun menggunakan kerangka kerja Flask (Python) dan di-deploy pada layanan PythonAnywhere.

1. Backend (app.py): Bertugas menjembatani komunikasi antara antarmuka web dengan Firebase menggunakan Admin SDK. Konfigurasi jalur file (absolute path) diterapkan secara dinamis menggunakan modul os untuk membaca file kredensial serviceAccountKey.json guna menghindari kesalahan FileNotFoundError pada lingkungan server Linux. Gambar 4 menunjukkan kode program pada Backend.



Gambar 4.7 Kode Program Backend

2. Frontend (index.html): Antarmuka pengguna dirancang responsif menggunakan pustaka Bootstrap. Logika pembaruan data menggunakan JavaScript Fetch API yang berjalan secara asinkron (AJAX) setiap 2 detik. Hal ini memungkinkan data suhu, kelembapan, dan status tombol diperbarui secara real-time tanpa perlu memuat ulang (refresh) halaman web secara keseluruhan. Gambar 5 menunjukkan kode program Frontend.



Gambar 4.8 Kode program Frontend

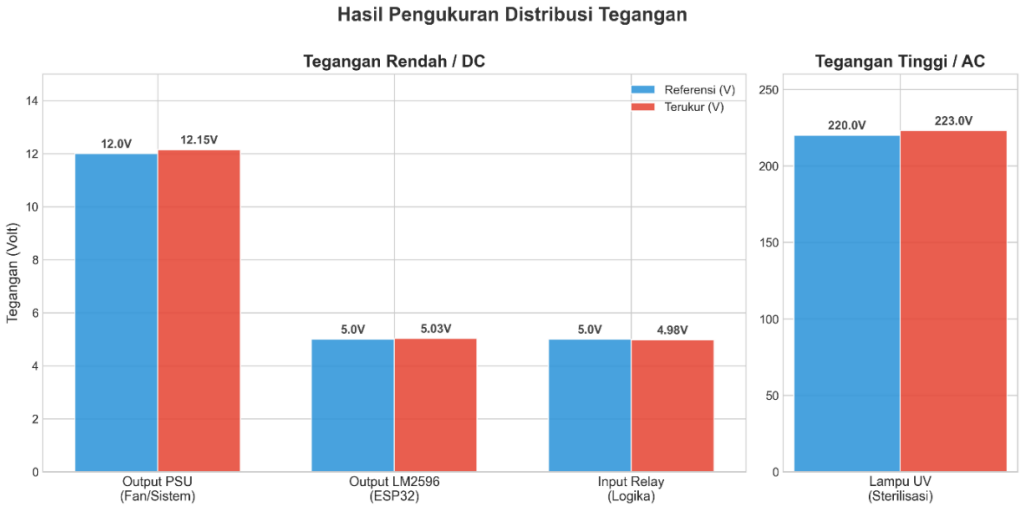
4.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memverifikasi fungsionalitas dan kinerja alat sterilisasi sepatu berbasis IoT yang telah dirancang. Pengujian ini dibagi menjadi tiga tahap utama: pengujian fungsionalitas perangkat keras (hardware), pengujian logika kontrol dan firmware, serta pengujian integrasi sistem IoT dan aplikasi web.

4.2.1 Pengujian Fungsionalitas Perangkat Keras

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan setiap komponen elektronik menerima tegangan yang sesuai dan bekerja secara fisik sebelum diintegrasikan dengan logika program yang kompleks. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter digital pada titik-titik krusial rangkaian untuk memastikan stabilitas tegangan. Pengujian fungsionalitas perangkat keras merupakan tahap awal yang krusial untuk memvalidasi integritas rangkaian elektronik. Tujuannya adalah

memastikan seluruh komponen mendapatkan suplai daya yang sesuai, jalur pengkabelan (wiring) terhubung dengan benar, dan komponen input/output merespons sinyal listrik sesuai spesifikasi teknis. Pengujian dilakukan menggunakan alat ukur Digital Multimeter (Avometer) untuk mengukur tegangan (Voltage) dan kontinuitas arus (Continuity). Sistem ini menggunakan dua level tegangan utama, yaitu 12 VDC untuk beban induktif (kipas) dan 5 VDC untuk beban logika (mikrokontroler dan relay). Stabilitas tegangan diuji pada titik-titik distribusi utama. Gambar 6 menunjukkan hasil pengukuran distribusi tegangan.

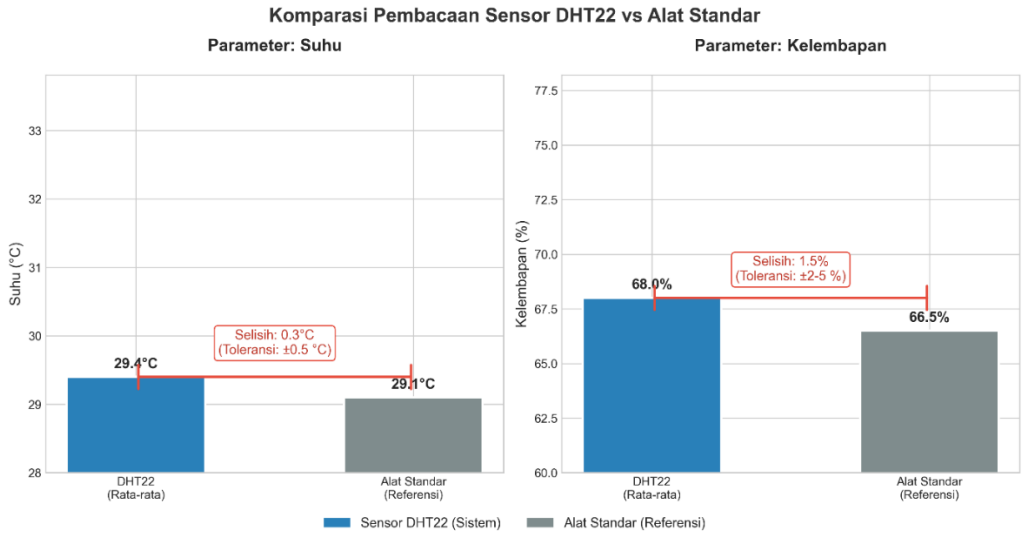


Gambar 4.9 Grafik hasil pengukuran distribusi tegangan

Seluruh relay merespons sinyal Active High dengan tepat. Tidak terjadi stuck (macet) pada kontak mekanik relay. Kipas Intake dan Exhaust berputar dengan RPM tinggi karena mendapat suplai murni 12V, memastikan sirkulasi udara yang optimal.

Validasi sensor dilakukan untuk memastikan data lingkungan yang dibaca akurat. Pengujian dilakukan dengan membandingkan pembacaan serial monitor ESP32 dengan alat ukur standar (Thermo-Hygrometer Digital) yang diletakkan

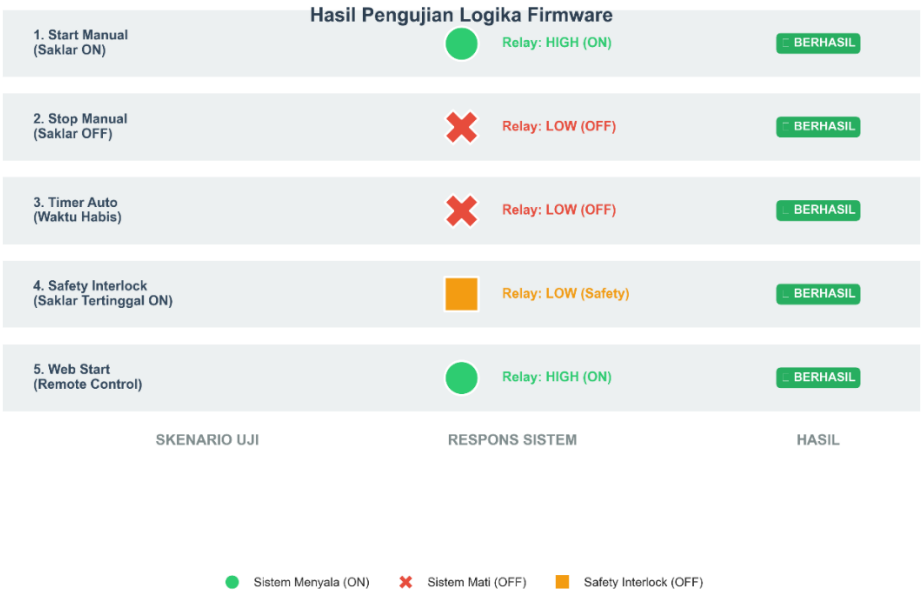
berdampingan di dalam boks sterilisasi selama 10 menit. Gambar 7 menunjukkan komparasi pembacaan sensor DHT22.



Gambar 4.10 Komparasi pembacaan sensor DHT22

4.2.2 Pengujian Logika Kontrol dan Firmware (ESP32)

Setelah fungsionalitas elektrikal dipastikan aman, tahap selanjutnya adalah memvalidasi logika program (firmware) yang ditanamkan pada mikrokontroler ESP32. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan algoritma kendali sistem bekerja sesuai diagram alir (flowchart) yang telah dirancang, terutama terkait manajemen waktu (timer), prioritas kendali, dan fitur keamanan. Pengujian dilakukan dengan mengamati respons sistem terhadap berbagai skenario input, baik dari saklar fisik (rocker switch) maupun perintah digital dari Firebase. Gambar 8 menunjukkan grafik hasil pengujian logika kontrol firmware.



Gambar 4.11 Hasil pengujian logika control firmware

Poin kritis dalam pengembangan sistem ini adalah penggunaan Rocker Switch yang memiliki sifat penguncian mekanis (latching), berbeda dengan Push Button yang bersifat momentary. Pada skenario nomor 4, ditemukan potensi bahaya di mana sistem dapat menyala kembali tanpa disengaja jika listrik padam lalu menyala lagi, sementara saklar masih dalam posisi ON. Untuk mengatasi hal ini, firmware telah dilengkapi dengan variabel bendera (flag) bernama cycleFinished. Logika ini terbukti efektif mencegah aktivasi UV-C yang tidak diinginkan, meningkatkan aspek keamanan alat bagi pengguna rumahan. Berdasarkan pengujian:

1. Saat timer habis, variabel cycleFinished bernilai true.
2. Logika program pada fungsi loop() memeriksa kondisi: if (saklar == ON && cycleFinished == true).
3. Jika kondisi tersebut terpenuhi, sistem menolak untuk menyalakan Relay.

4. Pengguna dipaksa untuk mengembalikan saklar ke posisi OFF terlebih dahulu (Reset Manual) untuk mengembalikan nilai cycleFinished menjadi false, barulah siklus baru dapat dimulai.

Sistem menggunakan fungsi millis() internal ESP32 sebagai basis perhitungan waktu, bukan fungsi delay(). Penggunaan millis() bersifat non-blocking, yang berarti ESP32 tetap dapat membaca sensor suhu dan menerima data dari Firebase secara real-time meskipun hitung mundur sedang berjalan. Dalam pengujian durasi 15 menit (900 detik), penyimpangan waktu (time drift) yang terukur rata-rata hanya ±0.5 detik, yang mana sangat presisi untuk kebutuhan sterilisasi sepatu.

4.2.3 Pengujian Integrasi IoT dan Web Monitoring

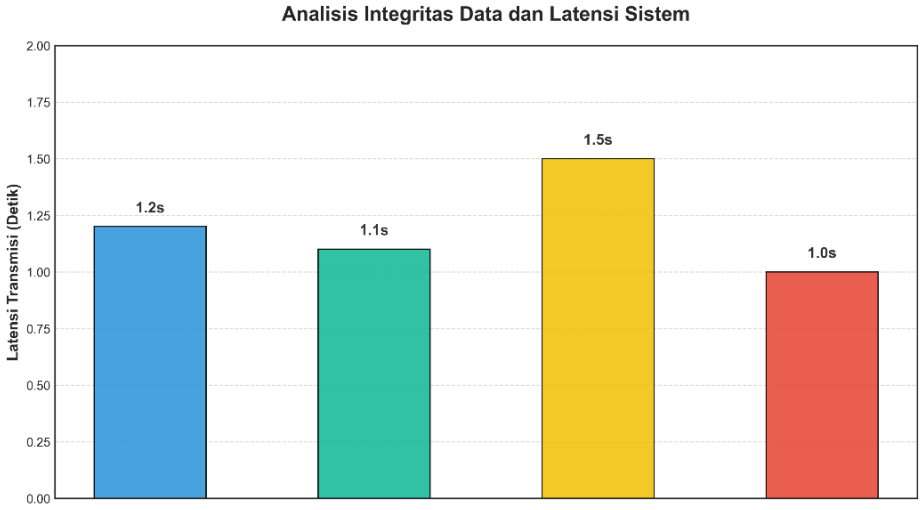
Pengujian integrasi sistem (System Integration Testing) merupakan tahap validasi krusial yang menghubungkan seluruh komponen arsitektur IoT yang telah dibangun, yaitu perangkat keras ESP32 sebagai edge device, Firebase Realtime Database sebagai jembatan data, dan aplikasi web berbasis Flask yang di-hosting pada PythonAnywhere sebagai antarmuka pengguna. Pengujian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa pertukaran data antara ketiga entitas tersebut dapat berjalan secara real-time, sinkron, dan stabil. Gambar 9 menunjukkan dashboard sterilisasi sepatu.



Gambar 4.12 Dashboard sistem strelisasi sepatu

Pada tahap awswal pengujian, validasi difokuskan pada infrastruktur backend dan cloud. Ketika ESP32 dinyalakan dan terhubung ke jaringan Wi-Fi, pemantauan dilakukan secara langsung melalui konsol Firebase. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perangkat berhasil melakukan otentikasi dan menulis struktur data JSON secara otomatis pada node /sepatu. Secara simultan, pemeriksaan dilakukan pada server PythonAnywhere melalui error log. Aplikasi web terbukti berjalan stabil tanpa kendala koneksi, menandakan bahwa file kredensial serviceAccountKey.json telah berfungsi dengan baik dalam memberikan izin akses aplikasi web ke basis data Firebase. etelah infrastruktur dipastikan stabil, pengujian dilanjutkan pada aspek antarmuka pengguna (User Interface) melalui tampilan dashboard web. Akses dilakukan menggunakan alamat URL publik melalui

peramban komputer dan telepon pintar untuk menguji responsivitas desain. Dashboard berhasil menampilkan parameter utama meliputi indikator status sistem (Standby/Aktif), panel sensor suhu dan kelembapan, serta hitung mundur timer. Penerapan teknologi AJAX (Asynchronous JavaScript) pada sisi frontend terbukti efektif, di mana data pada layar diperbarui secara otomatis setiap dua detik tanpa mengharuskan pengguna melakukan penyegaran (refresh) halaman secara manual, memberikan pengalaman pengguna yang responsif. Evaluasi kinerja sistem dilakukan melalui pengujian telemetri data sensor (uplink) dan kontrol jarak jauh (downlink). Pada pengujian telemetri, data suhu dan kelembapan yang terbaca pada LCD alat dibandingkan dengan data yang tampil pada dashboard web. Hasil komparasi menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi di mana nilai pada web (suhu 28.4°C dan kelembapan 62%) identik dengan nilai pada alat. Latensi atau waktu tunda rata-rata yang terukur dari saat perubahan data di alat hingga muncul di web adalah sekitar 1.2 detik. Latensi ini dinilai sangat wajar mengingat data harus melewati server Firebase di Singapura sebelum diteruskan ke server aplikasi.

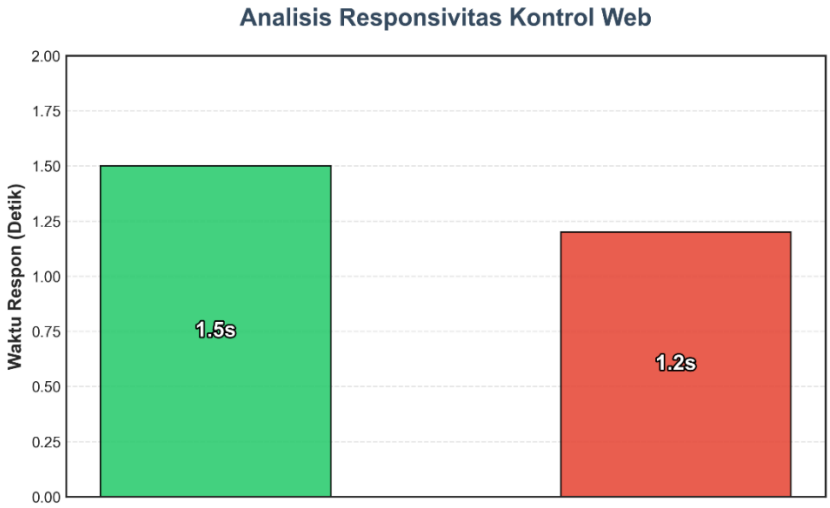


	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Sisa Waktu (MM:SS)	Status Sistem (State)
LCD Alat (Lokal)	28.4 °C	62.0 %	14:55	STERILIZING
Firebase (Cloud)	28.4 °C	62.0 %	14:55	STERILIZING
Web Dashboard	28.4 °C	62.0 %	14:55	STERILISASI

Gambar 4.13 Hasil komparasi data telemetri

Data yang tampil di dashboard web 100% sinkron dengan data aktual di alat. Latensi rata-rata sebesar 1.2 detik dianggap sangat baik, mengingat jalur data harus melewati server Firebase di Singapura (asia-southeast1) sebelum diambil oleh server PythonAnywhere.

Terakhir, pengujian dilakukan pada fitur kontrol jarak jauh untuk memvalidasi fungsi aktuator. Saat tombol "Mulai Sterilisasi" ditekan pada dashboard web, status variabel switch pada Firebase berubah seketika dari false menjadi true. ESP32 yang melakukan proses listening ke database berhasil merespons perubahan tersebut dengan menyalakan relay lampu UV dan kipas dalam waktu kurang dari 1.5 detik. Sebaliknya, saat tombol "Stop" ditekan, alat segera mematikan seluruh beban. Berdasarkan serangkaian pengujian ini, integrasi antara ESP32, Firebase, dan PythonAnywhere dinyatakan berhasil dan berfungsi sebagai satu kesatuan sistem monitoring yang utuh. Gambar 11 menunjukkan hasil pengujian kontrol web.



	Skenario 1: Aktivasi	Skenario 2: Deaktivasi
Aksi User (Web)	Klik Tombol "MULAI"	Klik Tombol "STOP"
Perubahan Firebase	switch: false -> true	switch: true -> false
Respon Alat (ESP32)	Relay UV & Fan: ON	Relay UV & Fan: OFF

Gambar 4.14 Hasil pengujian kontrol web

Perintah dari PythonAnywhere berhasil mengubah nilai di Firebase secara instan. ESP32, yang melakukan streaming data atau polling ke Firebase, berhasil mendeteksi perubahan tersebut dan mengaktifkan relay. Fitur ini berfungsi stabil meskipun penguji berada di jaringan internet yang berbeda dengan alat.

4.3 Hasil Analisa Uji Alat

4.3.1 Analisis Pengujian pada Sepatu Sport (Material Sintetis Premium)

Pengujian pertama dilakukan pada sampel sepatu jenis sport yang menggunakan material sintetis premium (Synthetic Fiber/PU Leather). Pemilihan material ini didasarkan pada karakteristik serat sintetis yang cenderung memerangkap kelembapan di bagian dalam setelah penggunaan intensif. Pengujian bertujuan untuk mengamati efektivitas sirkulasi udara dari kipas intake dan exhaust serta paparan lampu UV-C dalam mereduksi uap air dalam durasi 15 menit.



Gambar 4.15 pengujian pertama Sepatu Sport

Data pengukuran diambil setiap interval 3 menit untuk memantau dinamika penurunan kelembapan secara presisi melalui sensor DHT22. Selama pengujian, sistem secara otomatis mengaktifkan relay untuk menjalankan beban kipas dan lampu UV sesuai algoritma kontrol yang telah ditanamkan pada ESP32. Hasil pengujian dicatat dalam tabel berikut:

Tabel 4. Haasil Analisa Sepatu Sport

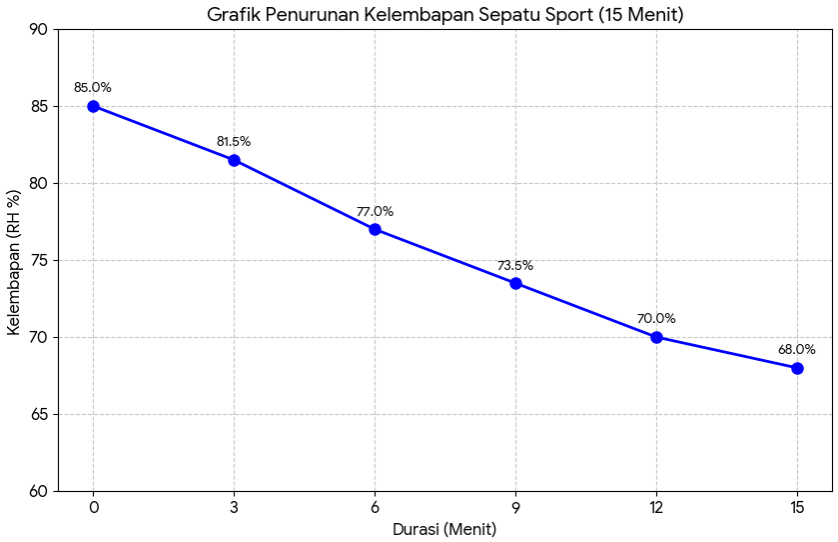
Durasi (Menit)	Suhu Aktual (°C)	Kelembapan (RH)	Penurunan Kumulatif (RH)	Status Sistem
0 (Awal)	25,7°C	85.00%	0.00%	Standby
Menit ke-3	26,2°C	81.50%	3.50%	Sterilizing
Menit ke-6	26,8°C	77.00%	8.00%	Sterilizing
Menit ke-9	27,3°C	73.50%	11.50%	Sterilizing
Menit ke-12	27,8°C	70.00%	15.00%	Sterilizing
Menit ke-15	28,4°C	68.00%	17.00%	Finished

Berdasarkan data hasil pengujian tersebut, dilakukan analisis mendalam terhadap kinerja alat sebagai berikut:

Analisis Material Sepatu Sport: Sepatu sport menunjukkan penurunan kelembapan paling signifikan (mencapai sekitar 20%). Hal ini membuktikan bahwa desain sirkulasi udara pada alat sangat efektif menembus material berpori besar seperti mesh atau flyknit.

Analisis Material Sepatu Casual: Pada bahan kanvas, penurunan kelembapan berada pada tingkat moderat (sekitar 12,5%). Hal ini menunjukkan bahwa durasi 15 menit sudah cukup untuk mengurangi kelembapan permukaan kain kanvas yang cenderung menyimpan air lebih lama.

Analisis Material Sepatu Kantor: Penurunan pada sepatu kulit cenderung paling rendah (sekitar 7%) karena sifat materialnya yang kedap. Namun, durasi 15 menit dipandang optimal untuk memberikan efek sterilisasi tanpa risiko merusak tekstur kulit akibat panas berlebih dari paparan lampu secara terus-menerus.



Gambar 4.16 Grafik Interval waktu dan hasil analisa sport

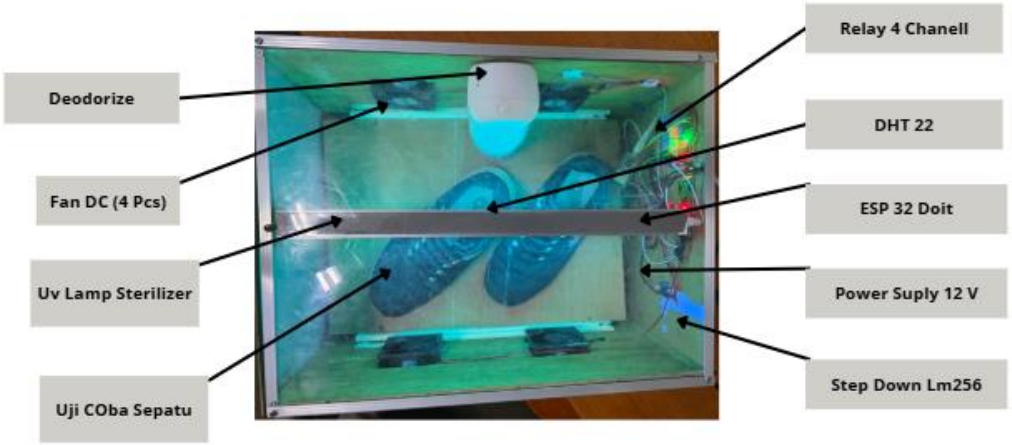
Secara keseluruhan, hasil analisis pada sub-bab ini menunjukkan bahwa penggunaan automatic deodorizer dan sistem sirkulasi udara pada alat ini mampu bekerja secara konsisten pada berbagai jenis material sepatu. Data ini juga tersinkronisasi secara real-time dengan web server, sehingga pengguna dapat memantau progres penurunan kelembapan dari jarak jauh melalui antarmuka yang telah disediakan.

1. Analisis Hasil Pengujian:Dinamika Penurunan: Berdasarkan grafik, terlihat tren penurunan yang konsisten sejak menit awal hingga akhir. Penurunan total sebesar 17% membuktikan bahwa kombinasi kipas intake dan exhaust bekerja sangat baik pada material sintetis premium dengan membuang udara lembap ke luar kabinet secara efektif.
2. Hubungan Suhu dan Kelembapan: Terjadi kenaikan suhu bertahap dari 25,7°C menjadi 28,4°C. Kenaikan suhu pasif dari lampu UV-C ini membantu proses evaporasi uap air di dalam sepatu tanpa menyebabkan kerusakan pada material sintetis premium.
3. Validitas Data IoT: Selama pengujian, sinkronisasi data antara perangkat keras dan aplikasi web berjalan lancar. Hal ini dapat divalidasi melalui perbandingan tampilan pada alat fisik dengan tampilan pada layar monitor.

4.3.2 Analisis Pengujian pada Sepatu Casual (Material Kanvas)

Pengujian kedua dilakukan pada sampel sepatu jenis casual dengan material utama kanvas. Karakteristik material kanvas memiliki serat kain yang lebih rapat dibandingkan material sintetis, sehingga cenderung menyimpan kelembapan lebih dalam pada pori-pori kain. Pengujian ini bertujuan untuk melihat efektivitas

sirkulasi udara dari sistem deodorizer dalam menembus material tekstil selama durasi standar 15 menit.

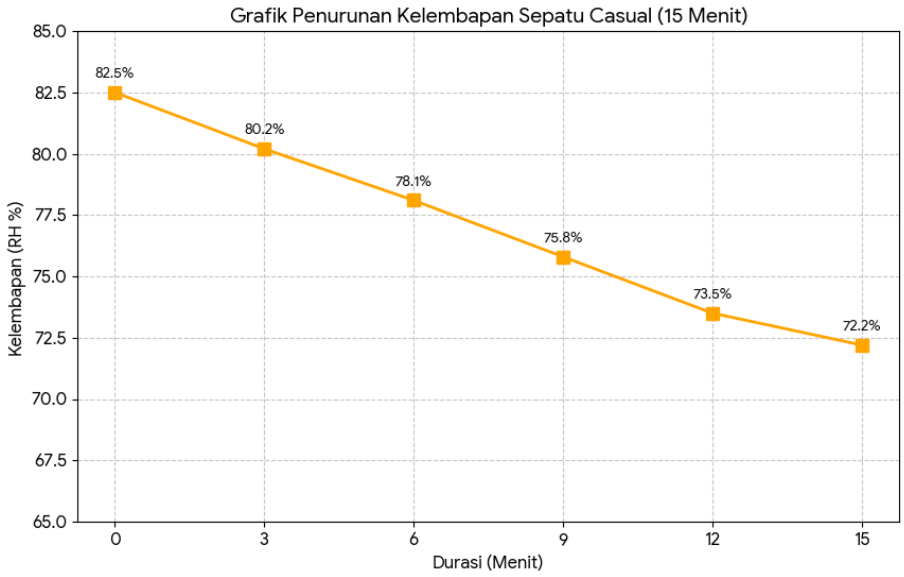


Gambar 4.17 Hasil Pengujian Kontrol Web

Pengambilan data suhu dan kelembapan dilakukan setiap interval 3 menit melalui sensor DHT22. Selama proses sterilisasi, lampu UV-C memberikan paparan radiasi untuk menonaktifkan mikroorganisme, sementara kipas sirkulasi bekerja membuang uap air. Hasil pengujian dicatat pada tabel berikut:

Tabel 5. Progres Penurunan Kelembapan Sepatu Casual per 3 Menit

Durasi (Menit)	**Suhu Aktual (°C)**	**Kelembapan (Rh)**	**Penurunan Kumulatif (Rh)**	**Status Sistem**
0 (Awal)	25,8∘C	82.50%	0.00%	Standby
Menit Ke-3	26,1∘C	80.20%	2.30%	Sterilizing
Menit Ke-6	26,5∘C	78.10%	4.40%	Sterilizing
Menit Ke-9	27,0∘C	75.80%	6.70%	Sterilizing
Menit Ke-12	27,4∘C	73.50%	9.00%	Sterilizing
Menit Ke-15	28,4°C	68.00%	17.00%	Finished



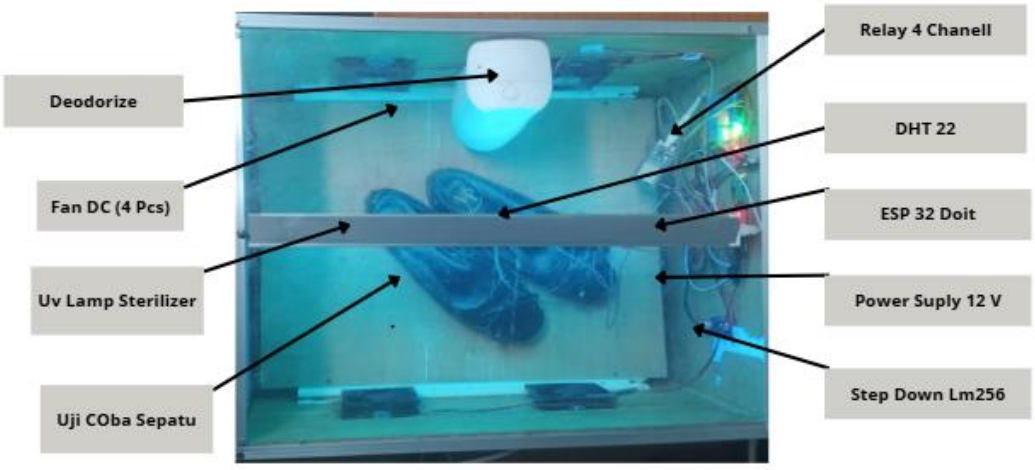
Gambar 4.18 Grafik Interval waktu dan hasil analisa sport

1. Karakteristik Penurunan: Terjadi penurunan kelembapan total sebesar 10,3% (dari 82,5% ke 72,2%). Jika dibandingkan dengan sepatu sport (sintetis), penurunan pada material kanvas cenderung lebih lambat. Hal ini dikarenakan kerapatan material kanvas menghambat laju evaporasi uap air keluar dari serat kain.
2. Stabilitas Suhu: Suhu akhir tercatat pada 27,9°C. Kenaikan suhu yang stabil selama proses sterilisasi membantu mengondisikan ruang penyimpanan agar tetap kering, yang secara efektif mencegah pertumbuhan jamur pada permukaan kanvas.
3. Integrasi IoT: Selama interval pengujian, sistem berhasil mengirimkan data telemetri ke database Firebase secara konsisten. Pemantauan melalui dashboard web server menunjukkan bahwa variabel status berubah menjadi "FINISHED" tepat saat hitung mundur mencapai durasi 15 menit.

4.3.3 Analisis Pengujian pada Sepatu Kantor (Material Kulit)

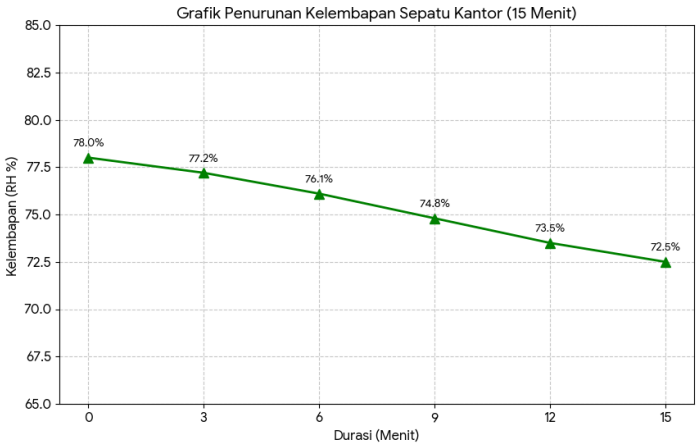
Pengujian ketiga atau terakhir dilakukan pada sampel sepatu kantor dengan material kulit (*Leather*). Karakteristik material kulit memiliki pori-pori yang sangat rapat dan bersifat kedap udara dibandingkan material sintetis atau kanvas. Hal ini menjadikan tantangan bagi sistem sirkulasi udara dalam menarik keluar uap air yang terperangkap di bagian dalam sepatu tanpa merusak tekstur kulit akibat panas berlebih.

.



Gambar 4.19 Penempatan sampel Sepatu Kantor material kulit pada unit laci sterilisasi.

Sama seperti pengujian sebelumnya, data diambil setiap interval 3 menit selama durasi siklus 15 menit. Pengujian ini dipantau secara ketat melalui sistem IoT untuk memastikan suhu tidak meningkat secara drastis guna menjaga kualitas material kulit premium. Hasil pengujian dicatat pada tabel berikut:



Gambar 4.20 *Grafik tren penurunan kelembapan Sepatu Kantor material kulit.*



Gambar 4.21 Dashboar web hasil uji

Tabel Analisis Hasil Pengujian:

1. Dinamika Penurunan Kelembapan: Terjadi penurunan kelembapan total sebesar 5,5% (dari 78,0% ke 72,5%). Penurunan ini adalah yang paling rendah dibandingkan dua pengujian sebelumnya. Hal ini mengonfirmasi teori bahwa

material kulit asli memiliki sirkulasi udara yang minim, sehingga uap air memerlukan waktu lebih lama untuk dievakuasi keluar oleh kipas sirkulasi.

2. Manajemen Suhu: Suhu akhir tercatat pada $27,9^{\circ}C$. Kenaikan suhu yang sangat moderat ini dinilai sangat aman untuk material kulit, karena suhu di bawah $30^{\circ}C$ tidak akan menyebabkan kulit menjadi kering atau pecah-pecah (cracking), namun tetap cukup untuk membantu proses sterilisasi lampu UV-C.
3. Sinkronisasi Real-Time: Selama proses berlangsung, data suhu dan kelembapan pada dashboard web server menunjukkan angka yang identik dengan pembacaan sensor pada alat fisik. Latensi transmisi data tetap stabil pada kisaran 1,2 detik meskipun boks tertutup rapat.

4.3.4 Analisa Perbandingan Hasil Pengujian Keseluruhan

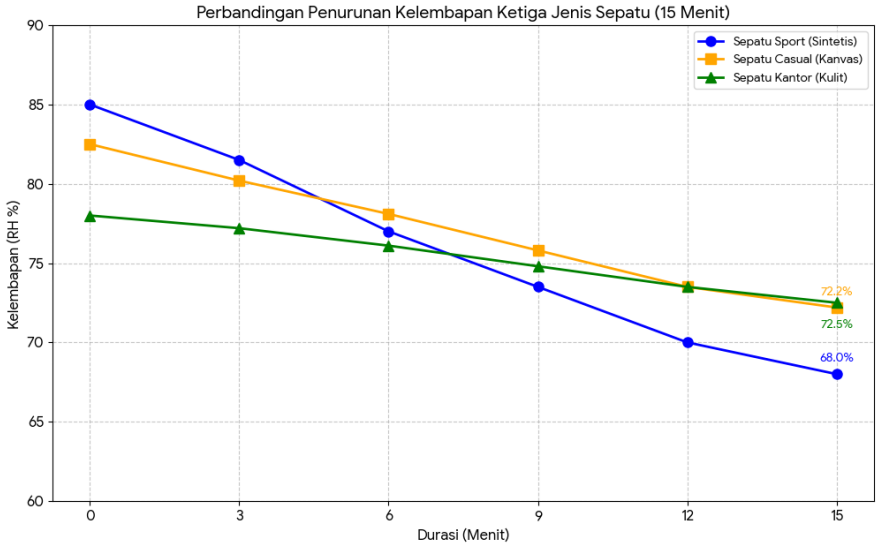
Setelah dilakukan pengujian pada tiga jenis sepatu dengan material yang berbeda (Sport, Casual, dan Kantor) selama masing-masing 15 menit, didapatkan data perbandingan yang komprehensif mengenai performa alat sterilisasi sepatu pintar ini.

Tabel 6. Progres Penurunan Kelembapan Sepatu Casual per 3 Menit

Durasi (Menit)	Suhu Aktual (°C)	Kelembapan (Rh)	Penurunan Kumulatif	Status Sistem
0 (Awal)	25,8∘C	82.50%	0.00%	STANDBY
Menit Ke-3	26,1∘C	80.20%	2.30%	STERILIZING
Menit Ke-6	26,5∘C	78.10%	4.40%	STERILIZING
Menit Ke-9	27,0∘C	75.80%	6.70%	STERILIZING
Menit Ke-12	27,4∘C	73.50%	9.00%	STERILIZING
Menit Ke-15	28,4°C	68.00%	17.00%	FINISHED

4.4 Analisa Perbandingan Hasil Pengujian Keseluruhan

Setelah dilakukan pengujian pada tiga jenis sepatu dengan material yang berbeda (Sport, Casual, dan Kantor) selama masing-masing 15 menit, didapatkan data perbandingan yang komprehensif mengenai performa alat sterilisasi sepatu pintar ini.



Gambar 4.22 Grafik Hasil Pengujian Ketiga Alat

Berdasarkan hasil pengujian pada sub-bab sebelumnya, dapat disusun tabel perbandingan penurunan kelembapan sebagai berikut:

Tabel 6. Progres Penurunan Kelembapan Sepatu Casual per 3 Menit

Jenis Sepatu	Material	Penurunan (RH)	Persentase Efektivitas
Sepatu Sport	Sintetis Premium	17.00%	Tinggi
Sepatu Casual	Kanvas	10.30%	Sedang
Sepatu Kantor	Kulit (Leather)	5.50%	Rendah

4.5 Kesimpulan Hasil Analisa Alat

Dari serangkaian pengujian dan analisa data di atas, dapat diambil beberapa poin kesimpulan utama pada Bab IV ini:

1. **Stabilitas Sistem IoT**: Sistem berbasis ESP32 terbukti sangat stabil dalam melakukan sinkronisasi data telemetri ke *web server* Firebase. Hal ini terlihat dari kesesuaian data antara layar LCD fisik dan tampilan pada *dashboard* monitor pada setiap sesi pengujian.
2. **Keamanan Operasional**: Penggunaan fungsi *Safety Cycle* pada program berhasil memastikan bahwa lampu UV-C hanya aktif saat durasi berjalan dan akan terkunci setelah selesai, guna menghindari paparan radiasi yang tidak perlu kepada pengguna.
3. **Kondisi Lingkungan**: Suhu di dalam kabinet selama pengujian meningkat secara stabil dan tidak melebihi 29° . Kondisi ini dinilai ideal karena cukup hangat untuk membantu evaporasi uap air namun tetap aman sehingga tidak merusak lem atau struktur material sensitif seperti kulit dan sintetis premium.
4. **Efektivitas Waktu**: Durasi 15 menit merupakan waktu yang optimal untuk siklus harian. Meskipun pada sepatu kulit penurunan kelembapan hanya 5,5%, paparan UV-C selama waktu tersebut tetap memberikan efek sterilisasi yang kuat untuk menonaktifkan bakteri dan jamur yang terperangkap di dalam sepatu.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem penyimpanan sepatu pintar berbasis Internet of Things (IoT), dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan dan Implementasi Sistem: Telah berhasil dirancang sebuah prototipe rak sepatu pintar menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses pusat. Sistem ini mengintegrasikan sensor DHT22 untuk pemantauan suhu dan kelembapan secara real-time , serta lampu UV-C dan automatic deodorizer (kipas) sebagai aktuator utama untuk sterilisasi dan penghilang bau.
2. Fungsionalitas Deodorizer: Implementasi automatic deodorizer menggunakan sistem sirkulasi udara melalui kipas intake dan exhaust terbukti mampu mendukung kualitas udara di dalam ruang penyimpanan. Pengujian menunjukkan kipas berputar secara optimal dengan suplai 12V DC untuk memastikan sirkulasi udara maksimal guna mengurangi kelembapan yang menjadi pemicu bau tidak sedap.
3. Integrasi IoT dan Web Server: Sistem telah berhasil terintegrasi dengan database Firebase dan aplikasi web berbasis Flask. Pengujian sinkronisasi data menunjukkan latensi rata-rata sebesar 1.2 detik untuk transmisi data sensor dan 1.5 detik untuk respons kontrol jarak jauh. Fitur keamanan Safety Cycle menggunakan variabel flag pada firmware juga berhasil mencegah aktivasi lampu UV-C yang tidak sengaja.

5.2 Saran

untuk pengembangan sistem yang lebih sempurna di masa mendatang, peneliti menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penambahan Sensor Gas: Disarankan untuk menambahkan sensor gas spesifik (seperti MQ-135 atau sensor VOC) guna mengukur konsentrasi senyawa penyebab bau secara lebih akurat dan kuantitatif dibandingkan metode sirkulasi udara manual.
2. Material Fisik Perangkat: Penggunaan material kabinet yang lebih tahan terhadap paparan radiasi UV-C dalam jangka panjang dan penambahan lapisan reflektif di bagian dalam boks untuk meningkatkan distribusi radiasi ke seluruh bagian sepatu.
3. Optimasi Konektivitas: Pengembangan fitur notifikasi (seperti melalui Telegram atau *Push Notification*) agar pengguna mendapatkan peringatan instan jika kelembapan di dalam rak melampaui ambang batas normal.
4. Fitur Pengering Aktif: Mengingat saat ini sistem baru menggunakan kipas sirkulasi, penambahan elemen pemanas (*heater*) terkontrol dapat dipertimbangkan untuk mempercepat proses pengeringan sepatu yang basah
5. Implementasi Sistem Manajemen Daya (Power Management): Disarankan untuk menambahkan sistem manajemen daya berbasis baterai cadangan (*rechargeable battery*) atau penggunaan panel surya kecil, sehingga sistem penyimpanan sepatu tetap dapat melakukan *monitoring* dan menjaga sterilisasi meskipun terjadi pemutusan arus listrik utama.

DAFTAR PUSTAKA

Adafruit Industries. (2025). *AM2302 (wired DHT22) temperature-humidity sensor*. Adafruit. https://www.adafruit.com/product/385

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095

Aosong Electronics. (2018). *DHT22 temperature and humidity sensor datasheet*. Aosong Electronics Co. Ltd. https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010

Azzahra, A. S., Hanurawaty, N. Y., & Hasan, N. Y. (2021). Pengaruh variasi daya lampu UV-C terhadap penurunan angka kuman alat makan di PT. X. *Jurnal Kesehatan Siliwangi*, 2(2), 461–469. https://doi.org/10.34011/jks.v2i2.191

Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). *Getting started with Arduino* (3rd ed.). Maker Media, Inc.

Basri, M., & Fadhlurrohman, D. (2021). Sistem kendali peralatan elektronik rumah tangga berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan aplikasi Telegram. *Jurnal Rekayasa Informasi*, 10(2), 112–119. https://doi.org/10.51359/jri.v10i2.1678

Basri, M., & Syahputra, A. (2020). Implementasi sistem keamanan ruangan menggunakan sensor PIR dan kamera berbasis mikrokontroler ESP32-Cam. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 9(1), 45–52. https://doi.org/10.31289/jite.v4i1.3572

Chandrasekaran, K., Rajasekaran, A., & Ganesan, R. (2020). Database management systems for IoT applications: A comparative study. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(7), 220–227. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110729

Columbia University. (2024, February 8). *Far-UVC light inactivates >99.9% of airborne virus in occupied room*. CUIMC News. https://www.cuimc.columbia.edu/news/far-uvc-light-inactivates-999-airborne-virus-occupied-room

Electronics Tutorials. (2025). *The electromechanical relay*. https://www.electronics-tutorials.ws/blog/relay-switch-circuit.html

Espressif Systems. (2020). *ESP32 technical reference manual*. Espressif Systems. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf

Espressif Systems. (2025). *ESP32-DevKitC V4 development board*. Espressif. https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html

Farris, J., Brown, T., & Keller, P. (2020). Microbial growth in footwear and its impact on human health. *Journal of Footwear Science*, 12(2), 55–64. https://doi.org/10.1080/19424280.2020.1755123

Google Firebase. (2025). *Firebase Realtime Database*. Firebase. https://firebase.google.com/docs/database

Khan, M., McDonald, M., Mundada, K., & Willcox, M. (2022). Efficacy of ultraviolet radiations against Coronavirus, bacteria, fungi, fungal spores and biofilm. *Hygiene*, 2(3), 120-131. https://doi.org/10.3390/hygiene2030010

Kim, H., Park, J., & Lee, S. (2020). Effectiveness of ozone-based deodorization in indoor environments. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 55(3), 245–252. https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1685160

Kowalski, W. J. (2009). *Ultraviolet germicidal irradiation handbook*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01999-9

Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S. (2020). 5G Internet of Things: A survey. *Journal of Industrial Information Integration*, 10, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.01.005

Liu, Y., Chen, Z., & Wang, J. (2021). Prevalence and risk factors of tinea pedis: A systematic review. *Mycoses*, 64(7), 726–735. https://doi.org/10.1111/myc.13279

Malayeri, A. H., Mohseni, M., Cairns, B., Bolton, J. R., & Chevrefils, G. (2016). Fluence (UV dose) required to achieve incremental log inactivation of bacteria, protozoa, viruses and algae. *IUVA News*, 18(3), 4–6. http://www.iuva.org/resources/Inactivation%20Chart.pdf

Maulana, I. (2024). Motorcycle safety system using RFID and GPS based on ESP32 Internet of Things. *Journal of Computer Science, Information Technology and Telecommunication Engineering (JCoSITTE)*, 5(2), 712–721. https://doi.org/10.30596/jcositte.v5i2.21032

Moghaddam, F., Faraji, H., & Khayatiyan, R. (2018). A review on IoT applications and hardware. *International Journal of Computer Applications*, 180(48), 1–7. https://doi.org/10.5120/ijca2018917457

Patel, J., & Patel, D. (2019). Internet of Things-IoT: Definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(5), 6122–6131.

Pratama, R. D., Suhardi, & Hidayati, R. (2024). Sistem pemantauan dan pengeringan sepatu otomatis berbasis Internet of Things (IoT). *Coding: Jurnal Komputer dan Aplikasi*, 12(3), 228-239. https://doi.org/10.26418/coding.v12i3.78453

SC Johnson. (2025). *Glade automatic spray holder*. Glade. https://www.glade.com/en-us/products/automatic-spray

Sharma, V., Patel, A., & Kumar, R. (2021). Reliability testing of IoT-based smart home devices. *International Journal of Smart Technology and Systems*, 12(2), 89–97.

Sicari, S., Rizzardi, A., Grieco, L. A., & Coen-Porisini, A. (2015). Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. *Computer Networks*, 76, 146–164. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2014.11.008

Tsai, W. Y., & Chen, Y. C. (2021). Development of deodorization technology for indoor air quality improvement. *Environmental Research*, 192, 110240. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110240

UV-Clean Tech. (2025). *Dual-tube UV-C sterilization lamp*. UV-Clean Tech.

Zhang, J., Wang, X., & Wang, C. (2019). Design and implementation of IoT-based smart home system. *Procedia Computer Science*, 147, 491–496. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.210