

Sistem Sterilisasi Ruangan Dengan Pendeteksi Keberadaan Berbasis Internet of Things

Room Sterilization System With Presence Detection Based on the Internet of Things

Adkhan Sholeh¹, Landung Sudarmana², Benedictus Herry Suharto^{3*}

¹Teknologi Informasi, Universitas Jenderal Achmad Yani Yogyakarta

²Teknologi Informasi, Universitas Proklamasi 45

³Sistem Informasi, Universitas Pignatelli Triputra

E-mail: ¹adkhan@unjaya.ac.id, ²landung@up45.ac.id, ³bherrys@upitra.ac.id*

*Penulis Korespondensi

Abstrak

Virus Covid-19 menyebar melalui transmisi *droplet* dan aerosol yang melayang dalam ruangan atau menempel di permukaan benda. Penyebaran ini menyebabkan orang terpapar pada risiko dan kecepatan tinggi. Sterilisasi ruangan dengan penyemprotan, *fogging* atau penyinaran UVC merupakan upaya mencegah transmisi virus. Kegiatan sterilisasi membutuhkan biaya, waktu, tenaga serta dapat memunculkan potensi kelainan, maka kebutuhan perangkat sterilisasi yang otonom, terjadwal, efektif, ekonomis, dan terpantau secara daring menjadi relevan. Penelitian ini mengembangkan prototipe sistem sterilisasi dengan pendeteksi keberadaan manusia berbasis IoT. Metode penelitian menggunakan teknik rekayasa perangkat keras dan pengembangan perangkat lunak *extreme programming*. Perangkat keras dibangun dari modul IoT, sensor, penampil, catu daya dan sterilisasi. Sedangkan perangkat lunak berupa *firmware* sterilisasi dan aplikasi telepon pintar. *Firmware* sterilisasi berfungsi sebagai pengelolaan perangkat sterilisasi, penjadwalan sterilisasi, sensor keberadaan dan akses jaringan internet. Aplikasi telepon pintar berfungsi untuk interaksi antara perangkat sterilisasi dan pengguna secara daring. Prototipe sistem sterilisasi ini mampu mendeteksi keberadaan manusia hingga jarak 6,01 meter dengan dua ragam sterilisasi yang dapat diprogram dan dioperasikan secara daring melalui telepon pintar.

Kata kunci: Virus Covid-19, *Droplet* dan Aerosol, Sterilisasi, IoT, Deteksi Keberadaan

Abstract

The Covid-19 virus spreads through the transmission of droplets and aerosols that float indoors or stick to surfaces. This spread exposes people to high risks and speeds. Room sterilization by spraying, fogging, or UVC irradiation is an effort to prevent virus transmission. Sterilization activities require costs, time, effort, and those activities can lead to potential errors, so the need for sterilization devices that are autonomous, scheduled, effective, economical, and monitored online is relevant. This research develops a sterilization system with human presence detection based IoT. The research method uses hardware engineering techniques and extreme programming software development. The hardware is built from IoT modules, sensors, displays, power supplies, and sterilizers. The software is in the form of sterilization firmware and smartphone applications. The sterilization firmware functions as the management of sterilization devices, sterilization scheduling, presence sensors and internet network access. The smartphone application serves as an online interaction between the sterilization device and the user. This sterilization system prototype is capable of detecting human presence up to a distance of 6.01 meters with two types of sterilization that can be programmed and operated online via a smartphone.

Keywords: Covid-19 Virus, *Droplets* and Aerosols, Sterilization, IoT, Presence Detection

1. PENDAHULUAN

Pemberlakuan pembatasan kegiatan masyarakat selama pandemi Covid-19 berdampak pada berkurangnya aktivitas masyarakat dalam berbagai kegiatan dan menurunkan kualitas hidup [1] hingga pendidikan [2]. Masyarakat dihimbau patuh melaksanakan protokol kesehatan dan selalu melakukan sterilisasi ruangan sebelum dan sesudah dipakai untuk aktivitas [3]. Himbauan ini terutama ditujukan untuk kegiatan pendidikan dari mulai pembelajaran di dalam kelas [4] hingga proses penyelenggaraan pendidikan [5]. Hal ini guna mencegah penyebaran Covid-19 melalui *droplet* yang menempel pada permukaan benda [6] atau melayang bebas dalam ruangan [7]. Kegiatan sterilisasi ruangan ini membutuhkan usaha yang besarnya bergantung pada frekuensi kegiatan sterilisasi, jumlah ruang, dan jadwal pemakaian ruang. Salah satu cara sterilisasi ruangan yang banyak dilakukan oleh masyarakat adalah menggunakan penyemprotan cairan dan *fogging* disinfektan, namun kedua cara ini tidak sesuai digunakan pada ruangan yang berisi benda yang tidak tahan terhadap cairan disinfektan, seperti ruangan kantor, perpustakaan, ruang komputer, dan lain sejenisnya. Selain itu proses penyemprotan dan *fogging* disinfektan secara rutin di luar hari dan jam kerja membutuhkan biaya, terutama untuk membayar tenaga kerja manusia yang bekerja lembur pada pagi dan sore hari. Penyemprotan dan *fogging* disinfektan juga relatif membutuhkan waktu lama karena proses persiapan, proses penyekaan permukaan benda, dan proses menghilangkan bau disinfektan [8]. Permasalahan ini dapat juga menimbulkan potensi kelalainan karena motivasi penghematan biaya sterilisasi ruangan.

Beberapa peneliti telah mengawali eksplorasi teknik sterilisasi menggunakan metode *fogging*, seperti penelitian efisiensi disinfeksi terkait dengan ukuran tetesan *aerosol* yang terbentuk dan distribusinya [8], penelitian optimalisasi sterilisasi disinfektan dengan memanfaatkan IoT untuk otomatisasi waktu sterilisasi [9] dan mengendalikan bilik sterilisasi [10], serta penelitian untuk mengendalikan sterilisasi disinfektan berbasis Arduino menggunakan sensor ultrasonik sebagai pendeteksi objek [11]. Penelitian terkait teknik sterilisasi menggunakan penyinaran *Ultraviolet-C* (UVC) [12] serta efek yang ditimbulkannya [13] juga telah dilakukan. Penelitian lain, seperti efektivitas sinar UVC untuk membunuh virus Covid-19 [14], pembuatan alat sterilisasi UVC portabel [15], dan perancangan disinfektan UVC ruangan berbasis IoT [16]. Beberapa diantaranya bahkan telah menggunakan robot untuk melakukan sterilisasi *fogging* berbasis IoT [17] yang mampu berjalan secara otomatis [18]. Penggunaan robot juga dilakukan pada sterilisasi penyinaran UVC [19] untuk mencegah resiko terpapar virus Covid-19. Namun dari penelitian terdahulu belum ada yang menggunakan dua teknik sterilisasi yaitu *fogging* dan penyinaran UVC untuk fleksibilitas waktu dan lokasi sterilisasi. Selain itu, peneliti terdahulu juga belum merancang teknik pengendalian sterilisasi menggunakan deteksi keberadaan manusia dalam ruangan, penjadwalan, serta pengendalian, dan pemantauan jarak jauh menggunakan jaringan internet. Permasalahan penelitian yang akan ditangani ini menjadi pembeda yang signifikan dari penelitian terdahulu.

Sistem sterilisasi yang otonom, dapat dijadwalkan, mampu mendeteksi keberadaan manusia dalam ruangan dan memiliki opsi sterilisasi *fogging* dan UVC menjadi solusi terbaik untuk mengatasi permasalahan efisiensi, keamanan, dan kesehatan. Sistem yang dikembangkan adalah sebuah perangkat sistem sterilisasi ruangan yang mampu mendeteksi keberadaan manusia dan dapat dipantau, dikendalikan serta dijadwalkan. Sistem sterilisasi ruangan ini mengadopsi teknologi sterilisasi *fogging* disinfektan dan penyinaran UVC berbasis IoT. Pendeteksi keberadaan manusia dalam ruangan menggunakan teknologi sensor *pergerakan passive infrared sensor* (PIR) [20]. Kedua teknologi sterilisasi tersebut dikendalikan menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT), *relay bank*, sensor gerak dan sensor jarak, sehingga dapat dikelola dan dioperasikan secara daring melalui perangkat telepon pintar yang terhubung ke jaringan internet.

Urgensi penelitian ini berdasarkan realitas bahwa virus Covid-19 dapat menular melalui *droplet* yang menempel pada permukaan benda atau melayang bebas dalam ruangan. Hal ini telah membuat banyak orang dan keluarganya terpapar pada tingkat risiko dan kecepatan yang belum pernah terjadi sebelumnya. Data WHO menunjukkan bahwa kasus Covid-19 di Tiongkok, prosentase tertinggi berasal dari kluster rumah tangga (78-85%) karena indikasi kontak erat yang

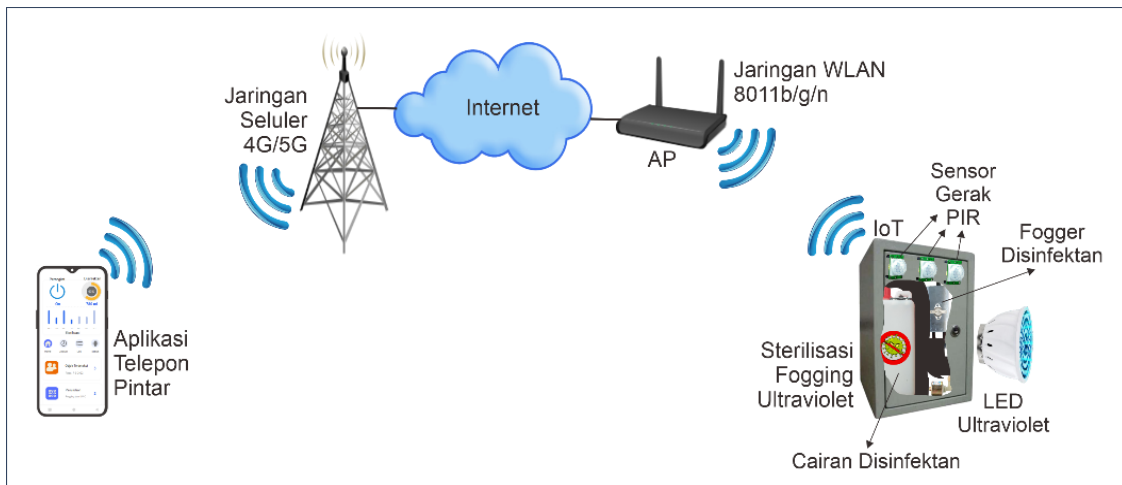
lama dalam ruangan tertutup. Penelitian di Republik Korea juga menunjukkan bahwa 9 dari 13 kasus sekunder terjadi karena berkontak dekat, makan bersama, atau berada di ruang tertutup selama sekitar satu jam atau lebih, seperti di tempat ibadah, pusat kebugaran, sekolah, atau tempat kerja [21].

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem sterilisasi ruangan yang dapat bekerja secara otonom atau terjadwal untuk melakukan sterilisasi ruangan setiap saat. Sistem ini berbasis pada teknologi IoT, seperti yang dikembangkan untuk *Smart Home Appliances Control* [22]. Sistem memiliki 2 mode sterilisasi, yaitu penyinaran UVC untuk disinfeksi permukaan benda [23] dimana virus Covid-19 mampu bertahan hidup lama [24] dan *fogging* disinfektan [25] untuk menonaktifkan virus Covid-19 yang melayang atau menempel pada benda yang tidak terjangkau penyinaran UVC. Kendali, monitor, dan penjadwalan sterilisasi dapat dilakukan di mana saja menggunakan perangkat telepon pintar. Sistem sterilisasi ini juga mampu mendeteksi keberadaan manusia di dalam ruangan ketika proses sterilisasi akan dimulai. Sehingga sistem dapat memberikan peringatan untuk mengosongkan ruangan dan menunda proses sterilisasi hingga ruangan benar-benar telah kosong.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Sistem Sterilisasi Ruangan

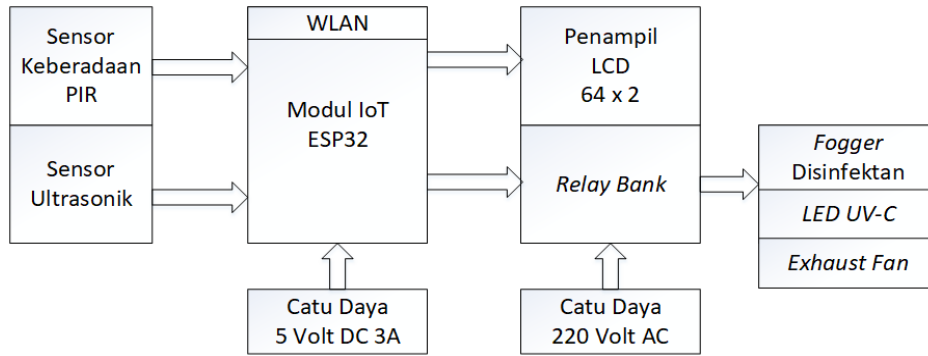
Sistem sterilisasi ruangan dikembangkan menggunakan teknologi *fogging* disinfektan dan penyinaran UVC. Sistem ini dapat diprogram dan dioperasikan secara daring dengan telepon pintar melalui jaringan internet (Gambar 1).



Gambar 1 Sistem Sterilisasi Ruangan

Unit pengontrol sterilisasi ruangan (Gambar 2) berupa modul IoT ESP32 yang diprogram menggunakan Arduino IDE [26]. Sedangkan aplikasi pada telepon pintar dibangun menggunakan pemrograman berbasis web pada sistem Android. Aplikasi berfungsi mengendalikan perangkat, menjadwalkan sterilisasi, dan mendapatkan informasi status sterilisasi. *Firmware* perangkat keras berfungsi untuk mengambil data keberadaan objek bergerak dalam ruangan, volume disinfektan, penjadwalan sterilisasi, pengendalian *relay bank* dan transaksi data ke jaringan internet.

IoT memungkinkan sistem sterilisasi ruangan dapat dikelola dari manapun dan setiap saat melalui jaringan internet. Ketika penjadwalan diberlakukan pada sistem sterilisasi, petugas tidak perlu melakukan pengecekan keberadaan manusia di dalam ruangan. Sistem secara berkala akan melakukan pengecekan keberadaan manusia di ruangan dan akan menunda proses sterilisasi serta melakukan pengecekan ulang. Sistem ini diharapkan dapat mengefektifkan waktu dan tenaga untuk melakukan sterilisasi ruangan.

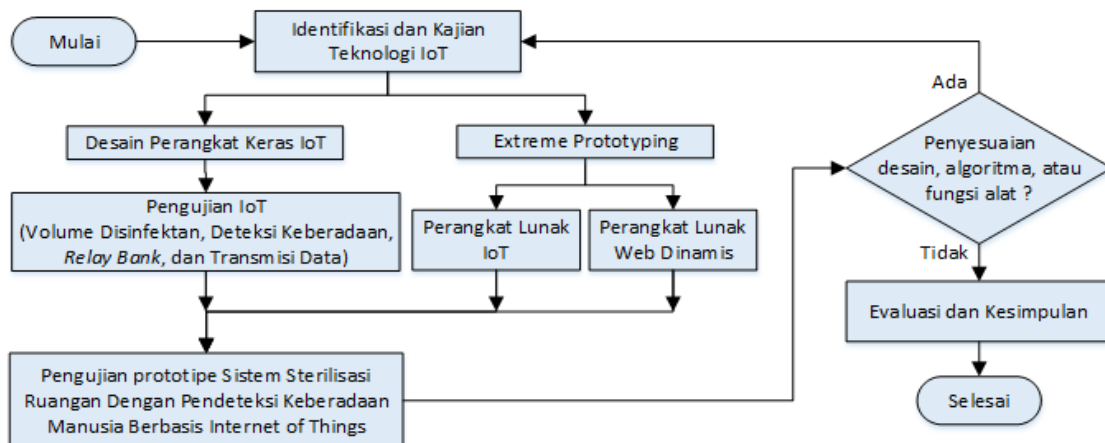


Gambar 2 Blok Diagram Sistem Sterilisasi Ruang

2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara bertahap yang berisi lima kegiatan pokok penelitian meliputi (Gambar 3):

- Identifikasi dan kajian teknologi IoT.
- Desain perangkat keras IoT.
- Pengembangan perangkat lunak prototipe sistem sterilisasi ruangan.
- Pengujian prototipe sistem sterilisasi ruangan.
- Evaluasi dan kesimpulan.



Gambar 3 Alur Tahapan Penelitian

Tahapan desain perangkat keras IoT dan pengembangan perangkat lunak dilakukan secara paralel untuk mempercepat langkah rekayasa sistem sterilisasi ruangan. Perangkat lunak yang dikembangkan berbasis pada metode *Extreme programming* [27][28].

- Identifikasi dan kajian teknologi IoT

Tahap Identifikasi dan kajian teknologi IoT berisi langkah metaanalisis penelitian IoT untuk mengidentifikasi teknologi sensor, desain alat, dan keterbatasan teknologi. Hasil metaanalisis digunakan sebagai referensi dalam mendesain perangkat keras dan mengembangkan perangkat lunak.

- Desain perangkat keras IoT

Tahap ini diawali dengan mendesain prototipe perangkat keras IoT untuk mendeteksi volume cairan disinfektan, jadwal sterilisasi, dan deteksi keberadaan manusia di dalam ruangan. Data deteksi disimpan di memori dan dikirimkan ke pengguna hanya ketika dibutuhkan. Selanjutnya mendesain antarmuka kendali *relay bank* untuk mengontrol pemanas *fogging* disinfektan, penyinaran lampu LED UVC dan *exhaust fan*.

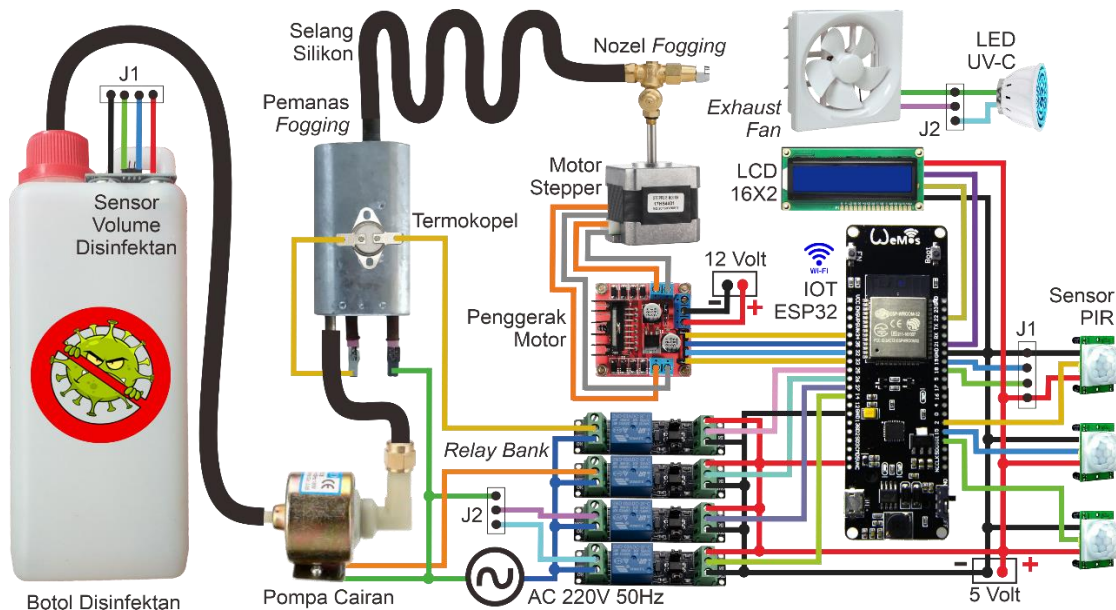
- c. Pengembangan perangkat lunak sistem sterilisasi ruangan dengan pendeteksi keberadaan berbasis IoT
Pengembangan prototipe sistem sterilisasi ruangan ini berupa tahapan pengembangan perangkat lunak *firmware* sterilisasi (IoT) dan aplikasi Android (berbasis Web) menggunakan metode Extreme Programming. Pengembangan dilaksanakan dengan memperhatikan kebutuhan otomatisasi kendali, penjadwalan, pendeteksian keberadaan manusia, dan penyajian data.
- d. Pengujian sistem sterilisasi ruangan dengan pendeteksi keberadaan berbasis IoT
Tahap pengujian prototipe dilaksanakan pada skala laboratorium yang meliputi pengujian fungsi dan pengujian pengguna. Pengujian fungsi untuk mengetahui apakah prototipe dapat bekerja sebagai alat *fogging*, alat penyinaran UVC, penjadwalan sterilisasi, dan penyaji data. Sedangkan pengujian pengguna untuk mengetahui apakah prototipe dapat bekerja mengambil data cairan disinfektan, keberadaan manusia, dan jadwal sterilisasi yang saat ini berlaku. Kedua tahap pengujian diperlukan untuk mengetahui kesalahan yang timbul saat prototipe sistem sedang berjalan dan apakah telah sesuai dengan kebutuhan pengguna. Jika ditemukan adanya kesalahan pada desain, algoritma program, ataupun penyesuaian fungsi komponen teknologi, maka tahapan identifikasi dan kajian teknologi dapat ditinjau kembali.
- e. Evaluasi dan kesimpulan
Tahapan evaluasi digunakan untuk mengidentifikasi kekurangan desain dan prototipe alat pada pengembangan penelitian berikutnya. Sedangkan tahapan kesimpulan merupakan ringkasan hasil dan analisis penelitian yang merupakan sintesis dari proses keseluruhan penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

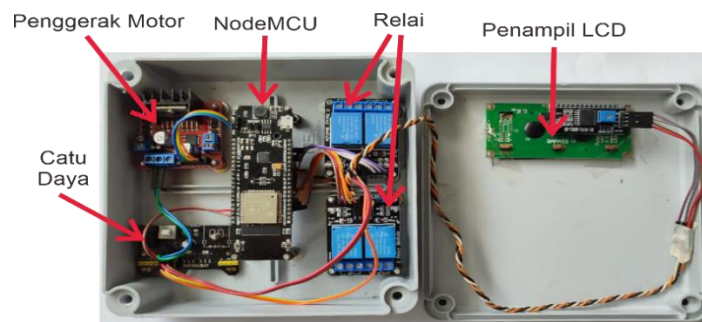
3.1 Perangkat Keras

Prototipe rangkaian elektronik sistem sterilisasi ruangan dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Prototipe ini mengimplementasikan teknologi IoT agar perangkat sterilisasi dapat dipantau dan dikelola melalui jaringan internet [29]. Fungsi dari tiap modul dalam rancangan prototipe rangkaian elektronik ini adalah:

- a. Modul mikrokontroler berbasis IoT, berfungsi sebagai pusat pengendali yang mengatur:
 - Koneksi perangkat ke jaringan WiFi dan internet.
 - Pengendali proses sterilisasi.
 - Pewaktuan proses sterilisasi.
 - Penampil data ke LCD atau ke internet.
 - Pembacaan jadwal dan status dari sistem sterilisasi.
 - Pengiriman data penjadwalan dan status ke aplikasi Android.
- b. Modul *relay*, berfungsi mengaktifkan dan menonaktifkan unit *fogging*, unit ultraviolet dan unit *exhaust fan*.
- c. Modul sensor ultrasonik, berfungsi sebagai sensor level cairan untuk memantau volume disinfektan [30].
- d. Modul sensor PIR, berfungsi sebagai sensor gerakan untuk mendeteksi keberadaan manusia [31].
- e. Modul catu daya, berfungsi sebagai pemasok sumber daya listrik untuk unit pengontrol, unit *fogging*, unit ultraviolet dan unit *exhaust fan*.
- f. Modul penampil LCD, berfungsi untuk menampilkan status proses dari alat sterilisasi.



Gambar 4 Rancangan Prototipe Rangkaian Elektronik Sistem Sterilisasi



Gambar 5 Tata Letak Modul Elektronik Sistem Sterilisasi

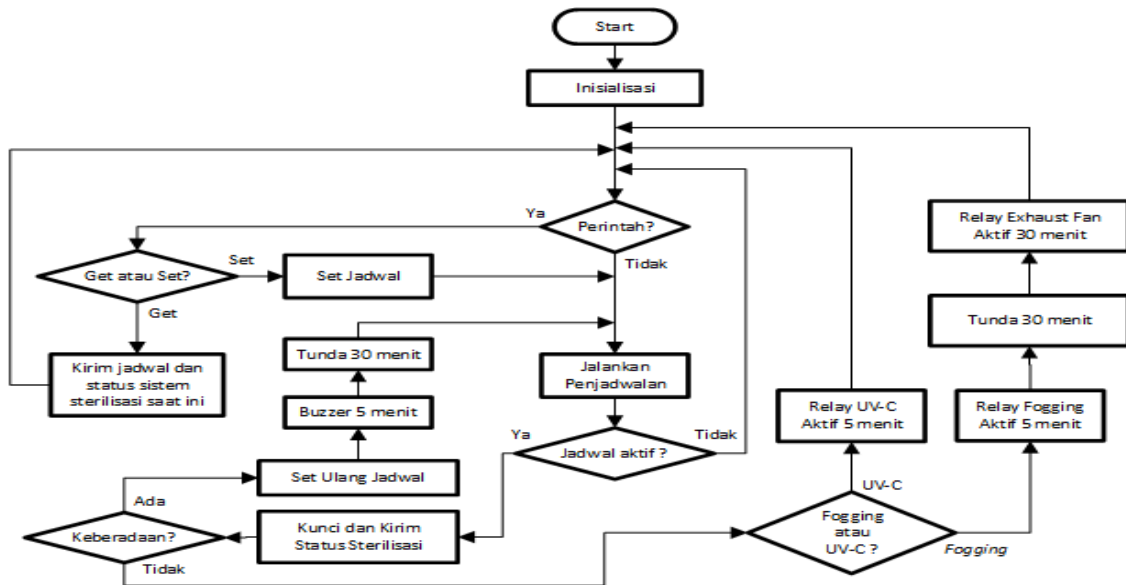
Fungsi dari tiap modul dalam unit fogging adalah:

- Modul pemanas *fogging* berfungsi sebagai pemanas elektrik yang digunakan untuk menghasilkan kabut asap dari cairan disinfektan.
- Modul pompa disinfektan berfungsi sebagai pemompa cairan dari tangki disinfektan ke pemanas elektrik.
- Modul *exhaust fan* berfungsi sebagai pemercepat sirkulasi udara dalam ruangan untuk menghilangkan asap disinfektan.
- Modul motor *stepper* berfungsi sebagai penggerak *nozel fogging* ke kanan dan ke kiri untuk meratakan asap *fogging* dalam ruangan.
- Modul ultraviolet berisi modul penyinaran ultraviolet berupa lampu LED UVC untuk sterilisasi UVC [32].

3.2 Perangkat Lunak

Diagram alir program pengontrol sterilisasi dapat dilihat pada Gambar 6 yang menampilkan diagram alir logika program. Alur kerja utama dari program pengontrol sterilisasi adalah sebagai berikut:

- Sesaat setelah proses penyalaan, program akan melakukan beberapa inisialisasi sensor, *relay*, akses jaringan WiFi dan internet, serta menyiapkan peladen web untuk pengiriman data ke perangkat telepon pintar.

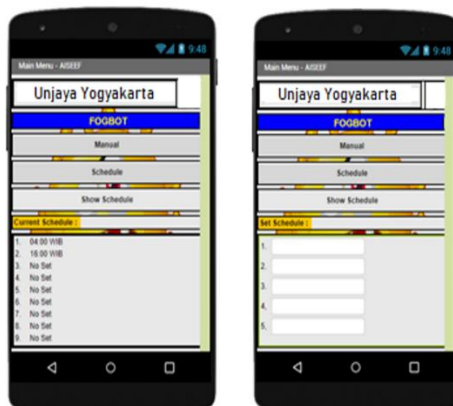


Gambar 6 Tata Letak Modul Elektronik Sistem Sterilisasi

- b. Setelah proses inisialisasi, program akan mengecek apakah ada perintah dari perangkat telepon pintar. Jika tidak ada, maka program akan menjalankan rutin penjadwalan. Jika ada, maka program akan memeriksa apakah itu perintah pengaturan (Set) atau pengambilan data jadwal dan status sterilisasi (Get).
- c. Rutin penjadwalan berisi sub rutin deteksi keberadaan dan sub rutin sterilisasi. Sub rutin deteksi keberadaan berfungsi mendeteksi apakah di dalam ruangan ada orang atau tidak. Jika ada, maka program akan menjalankan prosedur penjadwalan ulang, peringatan 5 menit dan penundaan 30 menit. Jika tidak ada, maka program akan mengaktifkan modul sterilisasi *fogging* atau penyinaran UVC selama 5 menit. Ketika sterilisasi *fogging* yang diaktifkan, setelah 5 menit program akan menjalankan exhaust fan untuk mengeluarkan kabut disinfektan dalam ruangan.

3.3 Desain Perangkat Lunak Aplikasi Sterilisasi

Aplikasi sterilisasi digunakan untuk interaksi antara perangkat sterilisasi dan pengguna secara daring (Gambar 7). Interaksi ini meliputi perintah melakukan sterilisasi (*fogging* disinfektan atau penyinaran *ultraviolet*), membuat dan melihat jadwal sterilisasi serta membaca status perangkat. Aplikasi ini dibuat menggunakan IDE Android Studio dan dijalankan pada sistem operasi Android.



Gambar 7 Perangkat Lunak Aplikasi Sterilisasi pada Platform Android

3.4 Pengujian Perangkat Keras Sistem Sterilisasi

Pengujian perangkat keras dilakukan dengan menguji fungsionalitas modul-modul yang menyusun sistem sterilisasi berdasarkan kinerja utamanya. Pengambilan data pengujian dilakukan sebanyak 30 kali. Data ini kemudian dirata-rata menggunakan Persamaan 1, 2 atau 3 yang disesuaikan dengan pengujian fungsionalnya. Data hasil pengujian yang langsung dibuat reratanya adalah data terkait waktu (detik) dan jarak (meter) menggunakan persamaan 1.

$$Rerata = \frac{\sum \text{data uji}}{30} \quad (1)$$

$$Rerata \text{ Kesalahan Volume} = 1 - \frac{\left((T_{Smin} + T) - \frac{\sum(\text{data uji})}{30} \right) \times L_{tangki}}{1000ml} \quad (2)$$

$$Rerata \text{ Debit Disinfektan} = \frac{\left(\frac{\sum(T_t - T_{t+1})}{30} \right) \times L_{tangki}}{W} \quad (3)$$

Tabel 1 memperlihatkan data pengujian fungsi kinerja dari modul penyusun perangkat keras sterilisasi. Data tersebut memperlihatkan bahwa jarak efektif pendeteksi keberadaan manusia adalah kurang dari 6,01 meter dari sisi depan perangkat sterilisasi. Sisi samping kiri, kanan dan belakang tidak dapat dideteksi keberadaannya. Sedangkan rata-rata jangkauan kabut disinfektan terjauh setelah 5 menit adalah 5,73 meter. Hal ini menyatakan bahwa perangkat sterilisasi mampu mendeteksi keberadaan manusia dalam radius penyebaran kabut disinfektan, sehingga aman diimplementasikan.

Tabel 1 Hasil Pengujian Perangkat Keras

No	Modul Perangkat Keras	Pengujian Fungsi	Rerata	Satuan
1	IoT ESP32 (indoor AP)	T koneksi WiFi	5,12	detik
2	Penampil LCD	T Penampil	0,1	detik
3	Sensor Volume Disinfektan	Kesalahan	7	detik
4	Pompa Cairan Disinfektan	Debit	0,66	detik
5	Penggerak Motor Stepper	T tanggap	1,94	detik
6	Relay Pemanas Fogging	T fogging	1,35	detik
7	Relay Penyinaran UVC	T UVC	1,07	detik
8	Sensor Keberadaan	Jarak maksimum	6,01	meter
9	Sterilisasi Fogging (setelah 5 menit)	Jarak maksimum	5,73	meter

Berdasarkan waktu tanggapan setiap modul perangkat keras pada Tabel 1 diperoleh variasi waktu tanggapan dalam rentang waktu dari beberapa milidetik hingga detik, menunjukkan tingkat responsivitas yang dapat diterima dalam penggunaan sehari-hari. Hasil pengujian tidak menunjukkan adanya *outlier* pada data waktu tanggapan yang menunjukkan tidak adanya kondisi tertentu yang mempengaruhi waktu respons setiap modul perangkat keras sterilisasi. Variabilitas waktu tanggap modul perangkat keras ini lebih dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal, seperti jaringan intranet dan internet. Pengaruh faktor ini perlu dipertimbangkan dalam implementasi kinerja sistem sterilisasi pada kondisi nyata.

Pada pengujian sensor volume cairan disinfektan, diperoleh rata-rata kesalahan sebesar 7% per liter. Tingkat kesalahan ini dapat diterima karena pembacaan volume cairan hanya digunakan untuk memberikan informasi perkiraan volume cairan yang ada dalam tangki penampung disinfektan. Volume disinfektan ini digunakan untuk memperkirakan sisa lama waktu *fogging* yang dapat dilakukan dengan membagi nilai volume disinfektan dalam tangki (data sensor volume) dengan besar debit pompa cairan disinfektan, seperti dalam Persamaan 4.

$$T_{fog} = \frac{(H_{tangki} - S_{sensor} - 2) \times L_{tangki}}{D_{pompa}} \quad (4)$$

Selain pengujian fungsi, pengamatan fungsi modul ketika proses pengujian juga dilakukan untuk menganalisis dan memperoleh wawasan mengenai kinerja dan performa modul-modul penyusun sistem sterilisasi. Data pengamatan ini dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa seluruh modul dapat diintegrasikan dalam sistem perangkat keras sterilisasi. Modul IoT ESP32 juga mampu mengendalikan semua fungsi modul dengan baik sehingga perangkat keras sistem sterilisasi dapat berfungsi sesuai rancangan yang telah dibuat. Berdasarkan data pengamatan tersebut, dapat disimpulkan bahwa perangkat keras penyusun sistem sterilisasi memiliki kemampuan untuk menjalankan fungsi-fungsi yang telah ditetapkan dengan sukses dalam sebagian besar kasus.

Hasil analisis data pengujian dan pengamatan fungsi perangkat keras juga menunjukkan bahwa sistem sterilisasi dapat berfungsi dengan baik untuk melakukan sterilisasi ruang secara luring (manual). Dengan hasil analisis ini, didapat pemahaman mengenai kinerja perangkat keras penyusun sistem sterilisasi, mengidentifikasi masalah yang mungkin akan timbul, dan mengoptimalkan fungsi modul untuk meningkatkan efisiensi dan keandalannya.

Tabel 2 Hasil Pengamatan Fungsi Perangkat Keras

No	Pengujian Modul Perangkat Keras	Fungsi	Pengamatan
1	IoT ESP32	Mengendalikan perangkat keras sterilisasi dan koneksi jaringan WiFi.	<ul style="list-style-type: none"> • Mampu mengendalikan <i>relay fogging</i>, UVC, <i>exhaust fan</i>, dan pompa disinfektan. • Mampu membaca sensor ultrasonik dan PIR. • Mampu melakukan koneksi ke jaringan WiFi
2	Penampil LCD	Menampilkan data sterilisasi dan jaringan WiFi	• Mampu menampilkan data proses sterilisasi secara <i>real time</i> dan konfigurasi koneksi WiFi
3	Sensor Volume Disinfektan	Mengukur jarak permukaan cairan disinfektan ke sensor ultrasonik.	• Penampil LCD menampilkan volume disinfektan dalam tangki dengan kesalahan 7%.
4	Pompa Cairan Disinfektan	Memompa cairan disinfektan dari tangki ke pemanas <i>fogging</i> .	• Mampu memompa cairan dengan debit 0,66 ml/detik sesuai dengan data teknis (<i>datasheet</i>).
5	Penggerak Motor Stepper	Menggerakkan <i>nozel</i> untuk mengarahkan <i>fogging</i> .	• Mampu menggerakkan <i>nozel fogging</i> ke kanan dan ke kiri.
6	Pemanas <i>Fogging</i>	Membuat asap <i>fogging</i>	• Mampu memanaskan cairan disinfektan menjadi asap <i>fogging</i> dan menyemburkannya ke luar <i>nozel</i> .
7	Penyinaran UVC	Menghidupkan lampu UVC.	• Mampu menghasilkan sinar UVC.
8	Deteksi Keberadaan	Mendeteksi pergerakan manusia	• Mampu mendeteksi keberadaan manusia dalam ruangan sejauh 6,01 meter yang berada di depan perangkat sterilisasi.
9	<i>Exhaust Fan</i>	Menyedot asap <i>fogging</i> keluar ruangan.	• <i>Exhaust fan</i> menyala/mati sesuai kondisi yang telah ditetapkan.

3.5 Pengujian Perangkat Lunak Sistem Sterilisasi

Pengujian berupa pengiriman perintah dan pembacaan data dari jaringan WiFi ke perangkat keras sterilisasi. Langkah pengujian berupa mengamati dan membandingkan hasil pengiriman perintah dan pembacaan data dengan fakta konkret dari proses yang terjadi pada perangkat sterilisasi. Hasil pengujian ini diperoleh data waktu akses seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Perangkat Lunak

No	Fungsi Perangkat Lunak	Rerata Waktu Akses	Satuan
1	Mengirim perintah <i>fogging</i>	1,2	detik
2	Mengirim perintah penyinaran UVC	1,1	detik
3	Mengirim data jadwal sterilisasi	1,6	detik
4	Membaca data jadwal sterilisasi	0,7	detik
5	Membaca status perangkat	0,5	detik

Data pengamatan perangkat lunak sistem sterilisasi dapat dilihat pada Tabel 4. Analisis data tabel pengujian modul perangkat lunak IoT berdasarkan waktu aksesnya memberikan gambaran yang baik tentang kinerja modul perangkat lunak IoT tersebut. Berikut hal yang dapat ditarik dari analisis data tersebut adalah adanya variasi waktu akses pada modul perangkat lunak IoT yang diuji, dengan rentang waktu yang beragam dari beberapa milidetik hingga lebih dari satu detik. Variasi ini disebabkan oleh faktor-faktor seperti kecepatan koneksi jaringan WiFi dan internet, atau pemrosesan lokal di dalam modul perangkat lunak. Selain itu nilai rerata waktu akses memberikan gambaran tentang kinerja rata-rata yang diharapkan dari modul perangkat lunak tersebut, seperti pembacaan data lebih cepat dari pada penulisan data dan/atau perintah sterilisasi metode *fogging* lebih lambat dari pada metode sterilisasi dengan penyinaran UVC. Tidak ada *outlier* dalam data waktu akses yang menunjukkan kondisi khusus atau kejadian yang mempengaruhi waktu akses sistem perangkat lunak secara keseluruhan.

Data pada Tabel 3 dan 4 menunjukkan pula bahwa proses pengiriman perintah dan data serta permintaan data status perangkat sterilisasi melalui jaringan Internet dapat dilakukan dengan hasil baik. Hal ini memiliki arti bahwa desain perangkat lunak dapat bekerja sesuai dengan rancangan, dimana sistem sterilisasi dapat diakses dan dijadwalkan secara remote melalui jaringan WiFi. Selain itu hasil analisis data tabel pengujian modul perangkat lunak IoT berdasarkan waktu aksesnya, dapat diidentifikasi area yang dapat ditingkatkan atau dioptimalkan performannya, seperti modul penjadwalan dan modul sterilisasi terkait dengan kinerja waktu akses modul perangkat lunak IoT.

Tabel 4 Hasil Pengamatan Fungsi Perangkat Lunak

No	Pengujian Modul Perangkat Keras	Fungsi	Pengamatan
1	Modul <i>fogging</i>	Menerima perintah sterilisasi dan melakukan proses sterilisasi menggunakan metode <i>fogging</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem sterilisasi melakukan pengasapan disinfektan selama 5 menit. • Berhenti 30 menit. • <i>Exhouse fan</i> berputar 30 menit.
2	Modul UVC	Menerima perintah sterilisasi dan melakukan proses sterilisasi menggunakan metode penyinaran UVC.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem sterilisasi melakukan penyinaran UVC selama 5 menit.
3	Modul jadwal	Menerima perintah penjadwalan dan melakukan penyimpanan data jadwal sterilisasi.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem sterilisasi menyimpan jadwal sterilisasi sesuai dengan yang dikirimkan
4	Modul baca jadwal	Menerima perintah pembacaan jadwal dan melakukan pengambilan data jadwal sterilisasi.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem sterilisasi mengirimkan data jadwal sterilisasi sesuai dengan yang tersimpan dalam sistem sterilisasi
5	Modul baca status	Menerima perintah pembacaan status dan melakukan pengambilan data status perangkat.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem sterilisasi mengirimkan data status sterilisasi sesuai dengan kondisi perangkat sterilisasi saat ini

3.6 Pengujian Aplikasi Sistem Sterilisasi

Langkah pengujian berupa skenario pengoperasian menu-menu aplikasi telepon pintar yang terhubung ke jaringan internet melalui jaringan seluler 4G/5G dan mengamati respons sistem perangkat sterilisasi yang terhubung ke internet melalui jaringan WiFi. Hasil pengujian ini diperoleh data waktu respon sistem perangkat sterilisasi seperti pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengujian Aplikasi Sterilisasi

No	Skenario Pengoperasian Aplikasi Sterilisasi	Rerata Waktu Respons	Satuan
1	Menekan (tab) menu <i>fogging</i>	2,7	detik
2	Menekan (tab) menu UVC	2,3	detik
3	Menekan (tab) menu <i>set</i> jadwal	2,8	detik
4	Menekan (tab) menu <i>get</i> jadwal	2,1	detik
5	Menekan (tab) menu <i>get status</i>	1,9	detik

Pengujian aplikasi sebagai pengendali perangkat sterilisasi memainkan peran penting dalam menyediakan aktifitas pengguna yang baik dan fungsional. Oleh karena itu, pengujian ini

difokuskan pada respons aplikasi terhadap aktivitas pengguna. Aktivitas mencakup interaksi pengguna dengan aplikasi, seperti perintah pembuatan jadwal sterilisasi, pembacaan jadwal sterilisasi dan statusnya, serta perintah melakukan sterilisasi langsung maupun terjadwal. Pengujian ini membantu memberikan gambaran kinerja mengenai respons aplikasi terhadap tindakan pengguna dan mengidentifikasi potensi masalah yang muncul. Waktu respons yang diuji adalah interval antara tindakan pengguna dan respons yang diberikan oleh aplikasi serta tindakan perangkat yang terjadi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rerata waktu respons aplikasi berkisar antara satu sampai tiga detik yang mengindikasikan tidak terdapat masalah kinerja atau kesalahan dalam aplikasi.

Skenario pengoperasian aplikasi untuk pengujian pengoperasian aplikasi ditujukan sebagai gambaran tindakan dan langkah-langkah yang diharapkan dari pengguna saat mengoperasikan aplikasi untuk mengendalikan perangkat sterilisasi. Data pengamatan respons sistem sterilisasi dapat dilihat pada Tabel 6. Hasil ini memberikan kesimpulan sementara bahwa aplikasi memiliki kinerja baik, responsif, dan sesuai dengan desain yang telah dirancang. Secara keseluruhan, data pada Tabel 5 dan 6 menunjukkan bahwa skenario pengoperasian menu-menu aplikasi sterilisasi pada telepon pintar melalui jaringan Internet dapat dilakukan dengan hasil baik. Hal ini memiliki arti bahwa desain aplikasi telepon pintar dapat bekerja sesuai dengan rancangan, dimana sistem sterilisasi dapat diakses dan dijadwalkan secara daring.

Tabel 6 Hasil Pengamatan Skenario Pengoperasian Aplikasi Sterilisasi

No	Skenario Pengoperasian	Fungsi	Pengamatan
1	Menu <i>fogging</i>	Mengirim perintah sterilisasi metode <i>fogging</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem sterilisasi melakukan pengasapan disinfektan selama 5 menit. • Berhenti 30 menit. • <i>Exhouse fan</i> berputar 30 menit. • Aplikasi menampilkan <i>progress bar</i> proses <i>fogging</i>.
2	Menu UVC	Mengirim perintah sterilisasi metode penyinaran UVC.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem sterilisasi melakukan penyinaran UVC selama 5 menit. • Aplikasi menampilkan <i>progress bar</i> proses penyinaran UVC.
3	Menu <i>Set</i> Jadwal	Mengirim perintah <i>set</i> jadwal dan data jadwal sterilisasi.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem sterilisasi menyimpan jadwal sterilisasi sesuai dengan yang dikirimkan oleh aplikasi. • Aplikasi menampilkan status penyetelan jadwal sterilisasi.
4	Menu <i>Get</i> Jadwal	Mengirim perintah <i>get</i> jadwal dan menerima data jadwal sterilisasi.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem sterilisasi mengirimkan data jadwal sterilisasi sesuai dengan yang tersimpan dalam sistem sterilisasi. • Aplikasi menampilkan jadwal sterilisasi yang berlaku saat ini.
5	Menu <i>Get</i> Status	Mengirim perintah <i>get</i> status dan menerima data status perangkat.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem sterilisasi mengirimkan data status sterilisasi sesuai dengan kondisi perangkat sterilisasi saat ini. • Aplikasi menampilkan status perangkat yang berlaku saat ini.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melalui proses kajian teknologi, desain prototipe perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, dan pengujian sistem sterilisasi, maka diperoleh kesimpulan penelitian dari hasil analisis sebagai berikut:

- a. Prototipe sistem sterilisasi ruangan berbasis IoT dengan pendeteksi keberadaan telah dikembangkan dan memberikan solusi yang inovatif serta efektif dalam proses sterilisasi. Dengan menggunakan teknologi IoT, perangkat sterilisasi dapat terhubung ke jaringan internet dan dapat dikendalikan secara jarak jauh. Fitur penjadwalan dapat beroperasi dengan baik dan mampu menunda proses sterilisasi ketika sensor PIR mendeteksi keberadaan manusia dalam ruangan. Fitur ini telah melengkapi rancangan sistem sterilisasi menggunakan robot yang telah dikembangkan peneliti sebelumnya, dimana faktor deteksi manusia sebagai pertimbangan proses sterilisasi belum dikembangkan.

- b. Prototipe sistem sterilisasi dapat bekerja secara otonom atau terjadwal untuk diimplementasikan pada lingkungan tertutup dengan banyak ruangan. Pengelolaan sterilisasi dilakukan secara daring melalui perangkat telepon pintar berbasis sistem operasi Android. Dengan ruangan yang banyak dan jumlah petugas terbatas, keberadaan manusia merupakan faktor penting yang perlu dideteksi. Dengan adanya deteksi keberadaan manusia, risiko terhadap keselamatan dan kesehatan dapat dikurangi, karena perangkat sterilisasi dapat dihentikan atau dikendalikan secara otomatis jika ada manusia yang berada di sekitarnya.
- c. Prototipe sistem sterilisasi ruangan mampu mendeteksi keberadaan manusia hingga jarak 6,01 meter dari sisi depan perangkat sterilisasi dan memiliki kemampuan dua ragam sterilisasi, yaitu *fogging* disinfektan dan penyinaran UVC yang belum dikembangkan peneliti sebelumnya. Jangkauan terjauh pada ragam sterilisasi *fogging* disinfektan adalah 5,73 meter dengan debit cairan disinfektan adalah 0,66 mililiter/detik.
- d. Prototipe sistem sterilisasi ruangan dengan fitur sterilisasi langsung dan terjadwal menyediakan fleksibilitas waktu dan tenaga manusia pada proses sterilisasi di ruangan publik maupun privat dalam rangka memaksimalkan sumber daya yang tersedia.
- e. Dalam penelitian ini, data hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem sterilisasi ruangan berbasis IoT dengan deteksi keberadaan dapat memberikan performa yang baik. Kemampuan perangkat dalam mendeteksi manusia dan menghentikan operasi sterilisasi secara otomatis memberikan tingkat keamanan yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia atas dukungan yang diberikan berupa bantuan dana penelitian dalam skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun pelaksanaan 2022

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Andriyani *et al.*, “Dampak Sosial Ekonomi Kebijakan Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) di Indonesia,” in *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 2021, p. 2.
- [2] N. Mustafa, “Impact of the 2019 – 20 coronavirus pandemic on education,” *Int. J. Heal. Prefer. Res.*, pp. 1–36, 2020.
- [3] Kementerian Kesehatan RI, “Panduan Desinfeksi dalam Rangka Pencegahan Penularan Covid-19,” *InfeksiEmerging, Media Informai Terkini Penyakit Infeksi Emergiing*, p. 15, 2020. [Online]. Available: https://covid19.kemkes.go.id/download/Panduan_Desinfeksi_dalam_Rangka_Pencegahan_Penularan_Covid19.pdf
- [4] C. for D. C. and P. (CDC), “Cleaning and disinfecting in School Classrooms.” U.S. Department of Health & Human Services, 2020. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/downloads/community/schools-childcare/cleaning-disinfecting-school-classrooms.pdf>
- [5] Keputusan Bersama Menteri, “Panduan Penyelenggaraan Pembelajaran Pada Tahun Ajaran Dan Tahun Akademik Baru Di Masa Pandemi Corona Virus Disease (Covid-19).” Komite Penanganan Covid-19 dan Pemulihan Ekonomi Negara, 2020. [Online]. Available: <https://covid19.go.id/p/protokol/panduan-penyelenggaraan-pembelajaran-pada-tahun-ajaran-dan-tahun-akademik-baru-di-masa-pandemi-corona-virus-disease-covid-19>
- [6] M. Kchaou, K. Abuhasel, M. Khadr, F. Hosni, and M. Alquraish, “Surface disinfection to protect against microorganisms: Overview of traditional methods and issues of emergent

- nanotechnologies,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 17, 2020, doi: 10.3390/app10176040.
- [7] M. Jayaweera, H. Perera, B. Gunawardana, and J. Manatunge, “Transmission of COVID-19 virus by droplets and aerosols: A critical review on the unresolved dichotomy,” *Environ. Res.*, vol. 188, no. June, 2020, doi: 10.1016/j.envres.2020.109819.
- [8] M. Ochowiak, A. Krupińska, S. Włodarczak, M. Matuszak, S. Woziwodzki, and T. Szulc, “Analysis of the possibility of disinfecting surfaces using portable foggers in the era of the SARS-CoV-2 epidemic,” *Energies*, vol. 14, no. 7, 2021, doi: 10.3390/en14072019.
- [9] H. Hartati, L. Dahlia, V. Asih, P. Sokibi, and S. Parman, “Rancang Bangun Sistem Penyemprot Disinfektan Otomatis Berbasis IoT Untuk Mencegah Penyebaran Virus Corona,” *Digit*, vol. 12, no. 1, pp. 33–43, 2022.
- [10] R. Maulana, A. Fauzi, and ..., “Implementasi Sistem Bilik Disinfektan Otomatis Berbasis Iot Dengan Nodemcu Dan Sensor Ultrasonic,” in *CIASTECH 2021*, 2021, no. Ciastech, pp. 445–454. [Online]. Available: <http://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/ciastech/article/view/3340%0Ahttps://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/ciastech/article/viewFile/3340/1797>
- [11] M. Novaria *et al.*, “Rancang Bangun Alat Penyemprot Disinfektan Otomatis untuk Mencegah Penyebaran Virus Corona,” *J. Informatics Educ.*, vol. 3, no. 1, pp. 2019–2022, 2020.
- [12] A. L. Habel and M. E. Rivaldi, “Penggunaan Sinar Uv Sebagai Sterilisasi Pada Masa Pandemi Covid-19,” *Desainpedia J. Urban Des. Lifestyle Behav.*, vol. 1, no. 1, pp. 24–28, 2022, doi: 10.36262/dpj.v1i1.563.
- [13] M. Pavia, E. Simpser, M. Becker, W. K. Mainquist, and K. A. Velez, “The effect of ultraviolet-C technology on viral infection incidence in a pediatric long-term care facility,” *Am. J. Infect. Control*, vol. 46, no. 6, pp. 720–722, 2018, doi: 10.1016/j.ajic.2018.01.014.
- [14] T. T. Nguyen *et al.*, “The Effectiveness of Ultraviolet-C (UVC) Irradiation on the Viability of Airborne *Pseudomonas aeruginosa*,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 20, 2022, doi: 10.3390/ijerph192013706.
- [15] Q. Fitriyah, Y. D. Siahaan, and M. P. E. Wahyudi, “Alat Sterilisasi Lampu UVC Portable Berbasis IOT,” *J. Integr.*, vol. 14, no. 14, pp. 8–13, 2022.
- [16] P. R. Maulana and S. Gunawan, “Perancangan Lampu Uvc Untuk Disinfektan Ruangan Berbasis Internet Of Things (IoT),” *J. Kaji. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 82–87, 2022.
- [17] I. Sulistiyowati and M. I. Muhyiddin, “Disinfectant Spraying Robot to Prevent the Transmission of the Covid-19 Virus Based on the Internet of Things (IoT),” *JET-UMY*, vol. 5, no. 2, pp. 61–67, 2021.
- [18] Y. Apriani, W. A. O. Anwar, and E. Suarni, “Kendali Robot Spray Disinfektan Otomatis,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 4, p. 800, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i4.800.
- [19] A. G. Sanchez and W. D. Smart, “Surface Disinfection using Ultraviolet Light with a Mobile Manipulation Robot,” *ArXiv*, 2021, [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33907701%0Ahttp://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC8077578>
- [20] R. Ruuhwan, R. Rizal, and R. Kurniawan, “Pendeteksi Gerakan Menggunakan Sensor PIR untuk Sistem Keamanan di Ruang Kamar Berbasis SMS,” *J. Inform. Univ. Pamulang*, vol. 5, no. 3, p. 281, 2020, doi: 10.32493/informatika.v5i3.5706.
- [21] W. H. O. (WHO), “Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations,” *Geneva World Heal. Organ.*, vol. Available, pp. 1–10, 2020, [Online]. Available: <https://www.who.int/publications-detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>
- [22] C. B. Kolanur, R. M. Banakar, and G. Rajneesh, “Design of IoT based Platform Development for Smart Home Appliances Control,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1969, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1969/1/012052.
- [23] M. Lualdi *et al.*, “Ultraviolet C lamps for disinfection of surfaces potentially contaminated

- with SARS-CoV-2 in critical hospital settings: examples of their use and some practical advice,” *BMC Infect. Dis.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1186/s12879-021-06310-5.
- [24] A. Gidari *et al.*, “Sars-cov-2 survival on surfaces and the effect of UVC light,” *Viruses*, vol. 13, no. 3, pp. 2–9, 2021, doi: 10.3390/v13030408.
- [25] M. Urushidani, A. Kawayoshi, T. Kotaki, K. Saeki, Y. Mori, and M. Kameoka, “Inactivation of SARS-CoV-2 and influenza A virus by dry fogging hypochlorous acid solution and hydrogen peroxide solution,” *PLoS One*, vol. 17, no. 4 April, pp. 1–14, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0261802.
- [26] A. Ramschie, J. Makal, R. Katuuk, and ..., “Pemanfaatan ESP32 Pada Sistem Keamanan Rumah Tinggal Berbasis IoT,” in *The 12th Industrial Workshop and National Seminar*, 2021, pp. 175–181. [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/2688/2076>
- [27] A. Poth, J. Jacobsen, and A. Riel, *A systematic approach to agile development in highly regulated environments*, vol. 396. Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-58858-8_12.
- [28] P. Runeson, M. Host, A. Rainer, and B. Regnell, “Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming,” in *22nd International Conference on Agile Software Development*, 2021, p. 241.
- [29] M. F. Wicaksono and M. D. Rahmatya, “Implementasi Arduino dan ESP32 CAM untuk Smart Home,” *J. Teknol. dan Inf.*, vol. 10, no. 1, pp. 40–51, 2020, doi: 10.34010/jati.v10i1.2836.
- [30] F.- Puspasari, I.- Fahrurrozi, T. P. Satya, G.- Setyawan, M. R. Al Fauzan, and E. M. D. Admoko, “Sensor Ultrasonik HCSR04 Berbasis Arduino Due Untuk Sistem Monitoring Ketinggian,” *J. Fis. dan Apl.*, vol. 15, no. 2, p. 36, 2019, doi: 10.12962/j24604682.v15i2.4393.
- [31] A. Prafanto, E. Budiman, P. P. Widagdo, G. M. Putra, and R. Wardhana, “Pendeteksi Kehadiran menggunakan ESP32 untuk Sistem Pengunci Pintu Otomatis,” *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 7, no. 1, p. 37, 2021, doi: 10.31884/jtt.v7i1.318.
- [32] R. A. Bowen, P. Gilgunn, A. E. Hartwig, and J. Mullen, “Prevention of Airborne Transmission of SARS-CoV-2 by UVC Illumination of Airflow,” *Covid*, vol. 1, no. 3, pp. 602–607, 2021, doi: 10.3390/covid1030050.