

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Penelitian yang Relevan

Untuk mendukung penyelesaian penelitian, diperlukan referensi dari beberapa jurnal yang menjadi pedoman dalam penulisan penelitian ini. Oleh karena itu, yang dimanfaatkan termasuklah:

1. (Fitriyah et al., 2022), Penelitian yang dilakukan oleh Qoriatul Fitriyah, Yeni Delfiana Siahaan, dan Muhammad Prihadi Eko Wahyudi (Sistem Sterilisasi Mikroorganisme Dengan Penyinaran Ultra Violet Berbasis Internet Of Things, 2022) (Sutiari, 2023) (Ayu Waluyo, 2025) (Aini Afida, 2022)(2022) dengan judul *“Alat Sterilisasi Lampu UV Portable Berbasis IoT”* bertujuan untuk meningkatkan efektivitas proses sterilisasi menggunakan sinar Ultraviolet (UV). Penelitian ini mengembangkan alat sterilisasi portable yang dapat mengatur durasi penyinaran secara otomatis berdasarkan luas ruangan serta dilengkapi dengan sistem kendali jarak jauh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan sinar UV dengan dosis tertentu mampu menurunkan jumlah mikroorganisme di udara maupun pada permukaan benda. Penelitian ini memiliki keterkaitan dengan kajian terdahulu mengingat keduanya mengkaji topik serupa penggunaan teknologi sterilisasi untuk mengurangi mikroorganisme di lingkungan.
2. (M.Najib Fikri Fadillah, 2022), Penelitian yang dilakukan oleh M. Najib Fikri Fadillah, Ratna Mustika Yasi, dan Charis Fathul Hadi (2022) berjudul *“Rancang Bangun Alat Sterilisator UV Ruangan Berbasis IoT di RSUD Blambangan”* bertujuan untuk merancang alat sterilisasi ruangan menggunakan sinar ultraviolet yang dapat dikontrol dengan otomatis melalui sistem berbasis *Internet of Things (IoT)*. Pada sistem ini, mikrokontroler NodeMCU ESP32 digunakan sebagai pengendali utama, yang terhubung dengan jaringan internet serta aplikasi android untuk mengendalikan lampu UV dari jarak jauh. Penelitian ini menghasilkan temuan yang menunjukkan bahwa alat sterilisator UV yang dikembangkan dapat digunakan dengan baik dan dinilai layak digunakan dengan tingkat kelayakan sebesar 92,88%.

Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi UV dapat dimanfaatkan sebagai metode sterilisasi ruangan untuk membantu menjaga kebersihan lingkungan, khususnya di fasilitas kesehatan.

3. (Kajian & Elektro, 2022), dengan judul “*Perancangan Lampu UV untuk Disinfektan Ruangan Berbasis Internet of Things (IoT)*” Penelitian ini bertujuan merancang sistem sterilisasi ruangan dengan menggunakan lampu ultraviolet yang dapat dikendalikan secara daring melalui jaringan internet. dikembangkan untuk membantu proses sterilisasi ruangan, khususnya pada masa pandemi, agar lingkungan tetap bersih dan aman dari mikroorganisme. Dalam penelitian tersebut digunakan lampu UV dengan daya 36 watt yang dirancang untuk mensterilkan ruangan dengan ukuran tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan beberapa lampu UV dapat mempercepat proses sterilisasi, di mana empat lampu UV mampu mensterilkan ruangan dalam waktu sekitar 9,5 menit serta berpotensi membunuh hingga 90% virus yang terdapat di dalam ruangan. Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi UV dapat dimanfaatkan sebagai metode efektif dalam proses sterilisasi lingkungan.
4. (Sofwan et al., n.d.), Penelitian yang dilakukan oleh Agus Sofwan, Abdul Muis, dan Muhamad Juliarto dengan judul “*Sistem Sterilisasi Mikroorganisme dengan Penyinaran Ultraviolet Berbasis Internet of Things*” bertujuan untuk merancang sistem sterilisasi menggunakan sinar ultraviolet yang dapat dikendalikan melalui *teknologi Internet of Things (IoT)*, ini dirancang untuk membantu proses sterilisasi ruangan dengan memanfaatkan lampu ultraviolet yang dikontrol secara otomatis sehingga dapat mengurangi paparan langsung manusia terhadap radiasi UV. Penelitian yang di dapatkan lebih relevan sesuai karna memanfaatkan teknologi ultraviolet dan sistem IoT untuk mendukung proses sterilisasi .

1.2. Landasan Teori

2.2.1 Sinar Ultra Violet

Sinar ultraviolet termasuk dalam spektrum radiasi elektromagnetik dan memiliki panjang gelombang yang lebih singkat dibandingkan cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia, yaitu berada pada rentang sekitar 100–400 nm. Energi yang tinggi ini

memungkinkan sinar UV merusak struktur sel berbagai mikroorganisme seperti bakteri, virus, maupun jamur (Sutiari, 2023).

Sinar ultraviolet tipe UV telah banyak digunakan sebagai teknologi sterilisasi karena kemampuannya dalam menghambat aktivitas mikroorganisme. Radiasi UV bekerja dengan menembus sel mikroorganisme dan menyebabkan kerusakan pada materi genetiknya, yang mengakibatkan terhentinya proses perkembangbiakan. Kerusakan pada struktur genetik tersebut menyebabkan bakteri dan virus kehilangan kemampuan untuk berkembang biak dan akhirnya mengalami kematian. Oleh karena itu, teknologi UV sering dimanfaatkan pada berbagai sistem sterilisasi seperti peralatan medis, air, maupun ruangan untuk membantu menjaga kebersihan lingkungan dan menekan risiko penyebaran penyakit menular (Aini Afida, 2022). Selain digunakan pada peralatan dan permukaan benda, sinar ultraviolet juga banyak dimanfaatkan dalam sistem sterilisasi udara di dalam ruangan. Teknologi ini bekerja dengan memanfaatkan radiasi UV untuk menonaktifkan mikroorganisme yang berada di udara sehingga dapat membantu meningkatkan kualitas udara pada ruangan tertutup. Penggunaan lampu UV dalam sterilisasi ruangan dinilai efektif untuk mengurangi jumlah bakteri maupun virus yang berpotensi menimbulkan penyakit menular, terutama pada lingkungan dengan risiko tinggi seperti fasilitas kesehatan atau ruang perawatan pasien (Ayu Waluyo et al., n.d.)

2.2.2 Internet Of Things

Perkembangan *Internet of Things (IoT)* dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan peningkatan yang signifikan, terutama dalam jumlah penelitian dan penerapannya di berbagai bidang. *Internet of Things*, juga dikenal sebagai singkatan dari IoT, adalah sebuah konsep yang dirancang untuk memperluas manfaat dari koneksi Internet yang berkelanjutan. (Budi, 2022). *Internet of Things (IoT)* mengacu pada penggunaan teknologi informasi, konektivitas jaringan internet dan sensor yang memungkinkan perangkat yang bukan komputer untuk dapat terhubung satu sama lain melalui jaringan internet (Prayitno, 2019). IoT adalah teknologi yang memungkinkan perangkat fisik terkoneksi melalui jaringan internet dan melakukan pertukaran data secara otomatis tanpa interaksi langsung dari manusia. Melalui sistem ini, proses pengumpulan dan pengolahan data dapat berlangsung secara langsung (real-time) yang

berdampak pada peningkatan efisiensi, akurasi, serta efektivitas dalam berbagai aktivitas, baik pada sektor industri, lingkungan, maupun kehidupan sehari-hari.(Oten, 2024).

Contoh implementasi Internet of Things (IoT) dapat ditemukan pada berbagai sistem dalam kehidupan sehari-hari, seperti sistem keamanan pintu rumah, termostat pintar, serta pengendali *pencahayaan* otomatis. Dengan menghubungkan perangkat-perangkat tersebut ke dalam jaringan internet, pengguna memiliki kemampuan untuk mengakses, mengontrol, serta memantau kinerja perangkat dari jarak jauh. Selain itu, perangkat juga mampu mengirimkan notifikasi maupun data secara real-time sehingga memberikan kemudahan dalam pengambilan keputusan dan peningkatan efisiensi penggunaan sistem. Dalam proses komunikasinya, perangkat IoT memanfaatkan berbagai teknologi transmisi data yang disesuaikan dengan kebutuhan sistem. Teknologi nirkabel seperti Wi-Fi umumnya digunakan untuk menghubungkan perangkat ke jaringan internet lokal, sedangkan Bluetooth lebih sering dimanfaatkan untuk komunikasi jarak dekat dengan perangkat seperti smartphone atau tablet. Di sisi lain, Zigbee merupakan salah satu teknologi yang dirancang khusus untuk jaringan sensor dengan konsumsi daya rendah. Selain itu, beberapa perangkat IoT juga mengandalkan jaringan seluler seperti 3G, 4G, hingga 5G, terutama untuk sistem yang memerlukan koneksi langsung ke internet tanpa bergantung pada jaringan lokal

2.2.3 Relay

Relay adalah komponen listrik yang berperan sebagai saklar dan bekerja dengan memanfaatkan prinsip elektromagnetik. Dalam penerapannya bersama mikrokontroler seperti Arduino, relay digunakan untuk mengendalikan perangkat secara otomatis serta sebagai penghubung antara rangkaian bertegangan rendah dengan perangkat yang memerlukan tegangan lebih tinggi. Dengan demikian, relay memungkinkan sistem berbasis mikrokontroler untuk mengoperasikan beban listrik yang tidak dapat langsung ditangani oleh Arduino. Fungsi dari modul relay adalah bertindak sebagai saklar listrik yang dapat diaktifkan secara otomatis berdasarkan perintah logika yang diterima. Biasanya, relay 5 volt DC digunakan dalam proyek-proyek di mana salah satu komponennya memerlukan tegangan tinggi atau menggunakan arus bolak-balik (AC)

Secara lebih rinci, relay dimanfaatkan untuk beberapa keperluan, antara lain menjalankan fungsi logika dari mikrokontroler seperti Arduino, mengontrol tegangan tinggi dengan bantuan tegangan rendah, mengurangi terjadinya penurunan tegangan, menerapkan fitur penundaan waktu (time delay), melindungi komponen lain dari lonjakan tegangan yang berpotensi menyebabkan korsleting, serta menyederhanakan rangkaian agar menjadi lebih efisien dan ringkas



Gambar 2. 1 Relay

Sumber ([Songle SRD Series Datasheet](#))

2.2.4 Pembangkit Tenaga Surya



Gambar 2. 2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sumber (<https://share.google/images/bjvUNwSZiTUaxrDL2>)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan dan potensial untuk dikembangkan, baik secara mandiri maupun terintegrasi dengan sistem listrik yang sudah ada. Meskipun memiliki keunggulan dalam

pemanfaatan energi matahari, PLTS memiliki kelemahan berupa ketergantungan terhadap kondisi cuaca yang menyebabkan output daya tidak stabil. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial di Indonesia adalah energi tenaga surya karena Indonesia terletak di garis katulistiwa, yang mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia (Prayitno, 2022). Oleh karena itu, diperlukan perancangan dan pengelolaan sistem yang optimal agar kinerja PLTS tetap efisien, andal, dan mampu mendukung kebutuhan energi listrik secara berkelanjutan” (Julianto et al., n.d.). Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dikenal memiliki tiga jenis konfigurasi instalasi, yaitu on-grid, off-grid, dan hybrid. Dalam konteks perancangan alat ini, konfigurasi yang diterapkan adalah sistem off-grid. Sistem ini beroperasi secara independen dan tidak memiliki koneksi dengan jaringan listrik milik PLN, sehingga pasokan energi yang digunakan sepenuhnya bergantung pada hasil konversi energi matahari.

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dikenal memiliki tiga jenis konfigurasi instalasi, yaitu on-grid, off-grid, dan hybrid. Dalam konteks perancangan alat ini, konfigurasi yang diterapkan adalah sistem off-grid. Sistem ini beroperasi secara independen dan tidak memiliki koneksi dengan jaringan listrik milik PLN, sehingga pasokan energi yang digunakan sepenuhnya bergantung pada hasil konversi energi matahari. Oleh karena itu, sistem off-grid umumnya dilengkapi dengan komponen penyimpanan energi seperti baterai yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan pada siang hari agar dapat digunakan pada malam hari atau saat intensitas cahaya matahari rendah. Selain itu, penggunaan sistem ini sangat sesuai diterapkan pada daerah yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional, sehingga mampu menjadi solusi dalam meningkatkan akses energi listrik secara mandiri. Namun demikian, perancangan sistem off-grid memerlukan perhitungan kapasitas yang tepat, baik dari sisi panel surya, baterai, maupun beban, agar sistem dapat bekerja secara optimal, efisien, dan memiliki tingkat keandalan yang tinggi dalam memenuhi kebutuhan energi listrik secara berkelanjutan. (Timotius et al., n.d.)

2.2.5 Blynk

Blynk adalah aplikasi yang dirancang untuk mendukung implementasi Internet of Things (IoT), khususnya dalam mengendalikan perangkat keras dari jarak jauh. Aplikasi ini tersedia pada sistem operasi iOS dan Android, serta digunakan untuk mengontrol berbagai perangkat seperti Arduino, Raspberry Pi, ESP8266, dan modul lainnya melalui koneksi internet. Sejak diperkenalkan pada tahun 2014, Blynk menjadi cukup populer karena kemudahan penggunaannya, serta memungkinkan pengguna untuk merancang antarmuka sendiri dengan metode drag and drop menggunakan widget yang telah disediakan.

Terdapat tiga komponen utama dalam aplikasi ini yaitu:

1. Aplikasi Blynk (Blynk App)

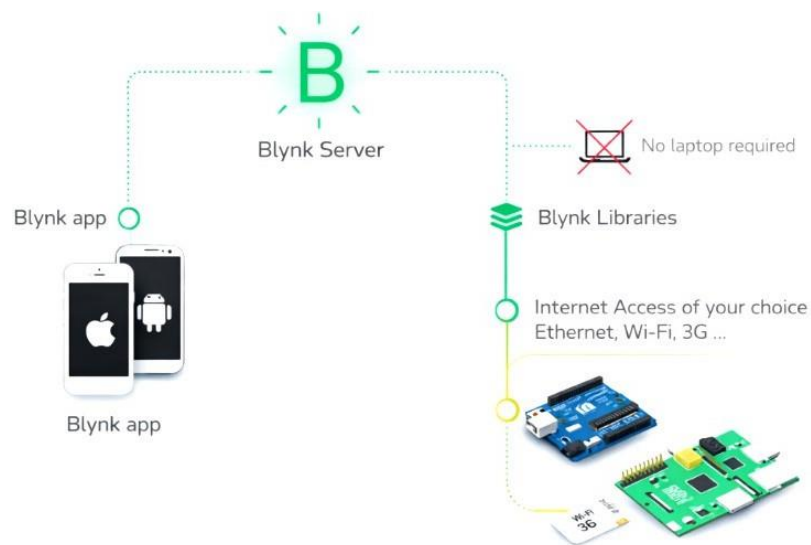
Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk membuat tampilan antarmuka yang menarik pada proyek yang sedang dikembangkan dengan memanfaatkan berbagai widget yang telah tersedia.

2. Blynk Server

Komponen ini berperan dalam mengelola seluruh proses komunikasi data antara perangkat keras dan perangkat lunak. Pengguna dapat menggunakan layanan Blynk Cloud maupun menjalankannya secara lokal. Selain itu, komponen ini bersifat open-source dan kompatibel dengan berbagai platform, termasuk Raspberry Pi.

3. Blynk Libraries.

Bagian ini digunakan untuk mendukung komunikasi antara server dan perangkat, baik dalam proses input maupun output. Berikut merupakan ilustrasi mekanisme kerja Blynk:



Gambar 2. 3 alur pengoprasian Blynk

Sumber (<https://docs.blynk.io/en>)

Pada awalnya, aplikasi ini dikenal dengan nama Blynk Legacy. Namun, pada Mei 2021, pihak pengembang secara resmi mengumumkan bahwa versi tersebut tidak lagi dikembangkan. Sebagai penggantinya, mereka merilis versi terbaru yaitu Blynk 2.0 atau yang dikenal juga sebagai Blynk IoT.(Herlina A, 2022)

2.2.6 ESP 32

Modul WiFi ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler yang dirancang dengan sistem daya rendah (low power) serta telah terintegrasi dengan fitur Wi-Fi dan Bluetooth. Perangkat ini dikembangkan oleh perusahaan Espressif Systems sebagai pengembangan lanjutan dari seri sebelumnya, yaitu ESP8266. Pada penelitian ini, jenis modul ESP32 yang digunakan adalah NodeMCU ESP-WROOM-32. (Made Adrian Pramuditya, 2023)



Gambar 2. 4 NodeMCU ESP-WROOM- 32

Sumber (Espressif ESP32 Series Datasheet)

2.2.7 Tuberkulosis dan *Mycobacterium tuberculosis*

Tuberkulosis (TBC) merupakan salah satu penyakit infeksi menular yang masih menjadi permasalahan kesehatan masyarakat di berbagai negara, termasuk Indonesia. Penyakit ini disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang termasuk dalam kelompok bakteri tahan asam (BTA). Bakteri tersebut memiliki kemampuan bertahan hidup pada kondisi lingkungan tertentu sehingga dapat menyebabkan infeksi terutama pada organ paru-paru. Selain menyerang paru-paru, infeksi *Mycobacterium tuberculosis* juga dapat menyebar ke organ lain seperti tulang, kelenjar getah bening, dan sistem saraf apabila tidak mendapatkan penanganan yang tepat.

Mycobacterium tuberculosis merupakan bakteri berbentuk batang (basil) dengan karakteristik khusus berupa dinding sel yang kaya akan lipid atau asam mikolat. Struktur dinding sel tersebut menyebabkan bakteri memiliki ketahanan terhadap kondisi lingkungan tertentu serta menjadi salah satu faktor yang menyebabkan proses eliminasi bakteri menjadi lebih sulit dibandingkan beberapa jenis bakteri lainnya. Karakteristik tersebut juga menyebabkan *Mycobacterium tuberculosis* membutuhkan metode pengendalian yang efektif untuk mengurangi keberadaannya pada lingkungan yang memiliki risiko penularan tinggi. (Kartini et al., n.d.)

Penularan penyakit TBC terutama terjadi melalui udara (*airborne transmission*) ketika penderita TBC aktif mengeluarkan droplet atau aerosol yang mengandung bakteri saat batuk, bersin, maupun berbicara. Partikel berukuran kecil yang mengandung *Mycobacterium tuberculosis* dapat bertahan di udara dalam waktu tertentu dan berpotensi terhirup oleh individu lain yang berada dalam ruangan yang sama. Risiko penularan semakin meningkat pada ruangan tertutup dengan ventilasi yang kurang baik, kepadatan penghuni tinggi, serta durasi paparan yang lama.

Lingkungan ruangan memiliki peranan penting terhadap proses penyebaran TBC. Ruangan dengan sirkulasi udara yang rendah dapat menyebabkan partikel aerosol yang membawa bakteri lebih sulit mengalami pengenceran secara alami. Kondisi tersebut menyebabkan konsentrasi mikroorganisme di udara dapat meningkat sehingga peluang terjadinya transmisi menjadi lebih besar. Oleh karena itu, pengendalian kualitas lingkungan ruangan menjadi salah satu pendekatan penting dalam upaya mengurangi risiko penyebaran penyakit berbasis udara. (Salah satu lingkungan yang memiliki tingkat

risiko penularan tinggi adalah ruang perawatan pasien TBC. Pada ruangan tersebut, keberadaan pasien dengan infeksi aktif memungkinkan terjadinya pelepasan aerosol yang mengandung *Mycobacterium tuberculosis*. Upaya pengendalian tidak hanya dilakukan melalui pengobatan pasien, tetapi juga melalui pengendalian lingkungan seperti peningkatan ventilasi, penggunaan sistem filtrasi udara, serta penerapan metode disinfeksi atau sterilisasi tambahan. (Kartini et al., n.d.)

2.2.8 Sterilisasi dan Disinfeksi Ruangan

Pengendalian mikroorganisme di dalam ruangan merupakan salah satu bagian penting dalam menjaga kualitas lingkungan, terutama pada ruangan yang memiliki risiko penyebaran penyakit melalui udara. Proses pengendalian mikroorganisme dapat dilakukan menggunakan metode fisik maupun kimia. Salah satu metode fisik yang banyak dikembangkan adalah penggunaan radiasi ultraviolet. Radiasi tersebut digunakan untuk menginaktivasi mikroorganisme pada udara maupun permukaan tanpa memerlukan kontak langsung dengan bahan yang akan diberikan perlakuan.

Pada penerapan UV, keberhasilan proses pengendalian mikroorganisme umumnya dinilai berdasarkan penurunan jumlah mikroorganisme hidup setelah proses penyinaran. Oleh karena itu, istilah inaktivasi digunakan untuk menunjukkan hilangnya kemampuan mikroorganisme untuk bertahan hidup atau berkembang biak. Penelitian Lindblad et al. (2020) menunjukkan bahwa keberhasilan proses dekontaminasi ruangan menggunakan UV tidak hanya dipengaruhi oleh keberadaan sumber radiasi, tetapi juga oleh jumlah dosis UV yang diterima pada setiap bagian ruangan. Dosis yang diterima pada permukaan dalam satu ruangan dapat berbeda karena pengaruh jarak dan keberadaan benda yang menghalangi radiasi UV. Dalam penelitian ini, istilah sterilisasi ruangan digunakan secara operasional untuk menggambarkan proses pengurangan atau inaktivasi mikroorganisme melalui penyinaran UV. Efektivitas proses tersebut dapat ditinjau berdasarkan intensitas radiasi, dosis UV, waktu penyinaran, serta perubahan jumlah mikroorganisme sebelum dan sesudah proses penyinaran. Apabila tidak dilakukan pengujian mikrobiologi, hasil perhitungan dosis UV digunakan sebagai pendekatan teoritis terhadap potensi inaktivasi mikroorganisme dan tidak secara langsung membuktikan kondisi steril pada seluruh bagian ruangan. (Lindblad et al., n.d)

2.2.9 Sinar Ultraviolet sebagai Radiasi Germisidal

Radiasi ultraviolet merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang lebih pendek dibandingkan cahaya tampak. UV merupakan bagian spektrum ultraviolet yang banyak dimanfaatkan dalam teknologi pengendalian mikroorganisme karena memiliki kemampuan germisidal.

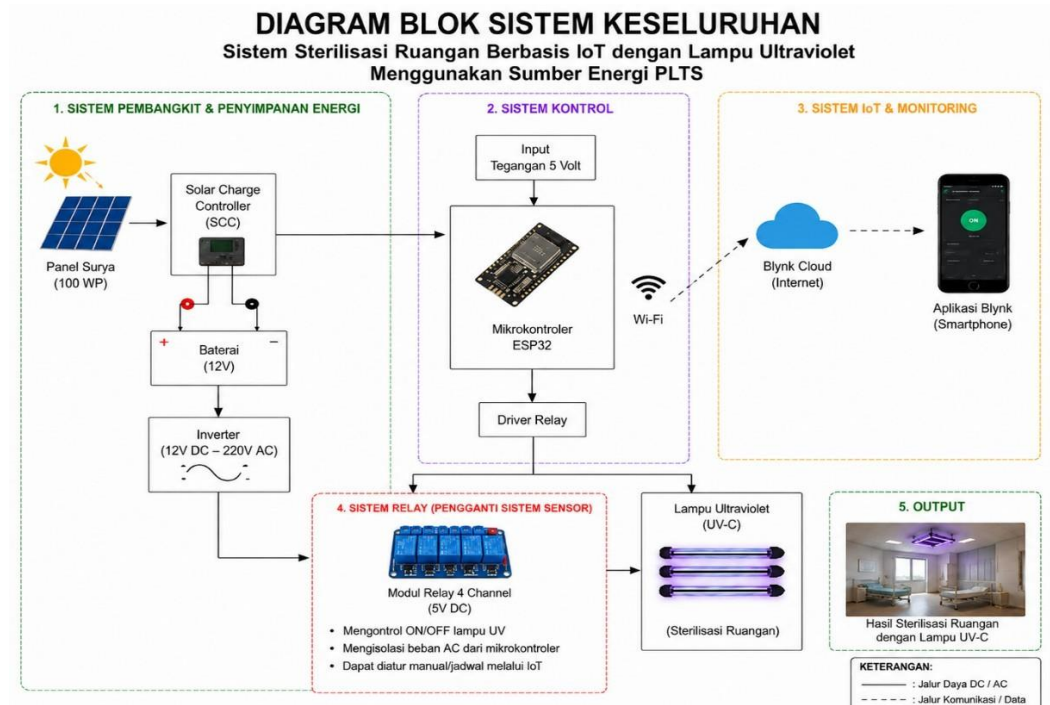
Paparan UV dapat menyebabkan kerusakan pada materi genetik mikroorganisme sehingga mengganggu kemampuan replikasi dan perkembangan sel. Tingkat inaktivasi yang dihasilkan tidak hanya bergantung pada jenis mikroorganisme, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik radiasi dan kondisi lingkungan. melakukan pengujian UV terhadap *Mycobacterium bovis* BCG sebagai mikroorganisme model yang berkaitan dengan pengendalian Tuberkulosis. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa respons inaktivasi mikroorganisme di udara dipengaruhi oleh paparan ultraviolet dan kondisi kelembapan relatif udara. (Dharmadhikari et al., n.d.)

Pemanfaatan ultraviolet dalam pengendalian Tuberkulosis di lingkungan ruangan juga telah diuji dalam kondisi fasilitas kesehatan. menguji sistem upper-room ultraviolet germicidal irradiation dengan pencampuran udara dalam kondisi rumah sakit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan ultraviolet germisidal efektif dalam menurunkan transmisi Tuberkulosis dengan efektivitas sekitar 80 persen pada kondisi pengujian tersebut. Temuan ini menunjukkan bahwa radiasi ultraviolet dapat digunakan sebagai bagian dari pengendalian lingkungan untuk menurunkan risiko transmisi mikroorganisme melalui udara.

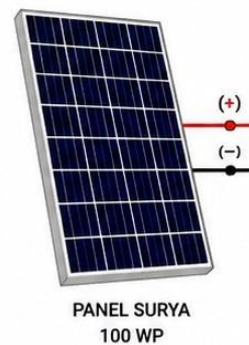
Pada sistem yang dirancang dalam penelitian ini, lampu UV berfungsi sebagai komponen utama dalam proses inaktivasi mikroorganisme. Lampu UV dioperasikan dalam ruangan simulasi dan dikendalikan melalui sistem berbasis Internet of Things. Pengendalian jarak jauh digunakan agar proses penyinaran dapat dilakukan tanpa mengharuskan pengguna berada di dekat sumber UV. (Peccia et al., n.d.)

2.2.10 Diagram Blok

1. Panel Surya (Sumber Energi Utama)



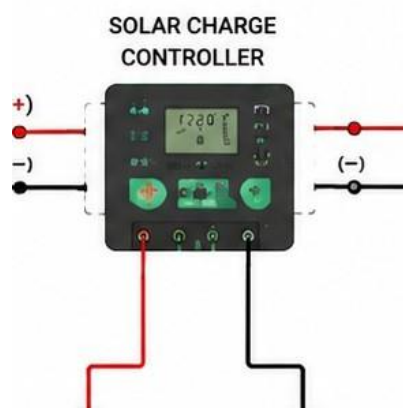
Gambar 2.5 Diagram Blok



Gambar 2.6 panel surya

Panel surya mengubah energi cahaya matahari menjadi listrik DC yang menjadi sumber utama sistem. Panel surya ini merupakan sumber energi terbarukan yang memanfaatkan sinar matahari, diubah menjadi arus listrik searah (DC). Energi ini selanjutnya diatur dan disalurkan ke modul kontrol dan baterai. Efisiensi konversi panel sangat berpengaruh terhadap ketersediaan daya sistem secara keseluruhan.

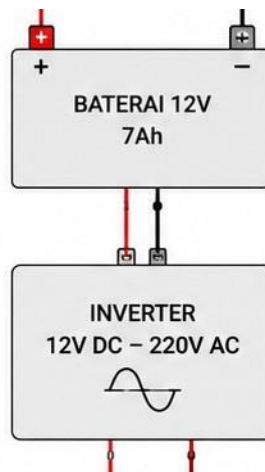
2. Solar Charge Controller (SCC)



Gambar 2.7 Solar Charge Controller (SCC)

SCC mengatur pengisian baterai agar stabil dan mencegah kerusakan akibat overcharge. Solar Charge Controller tidak hanya mengatur pengisian baterai, tetapi juga melindungi sistem dari arus balik dan fluktuasi tegangan. Ini penting untuk menjaga umur baterai dan kestabilan suplai listrik ke mikrokontroler.

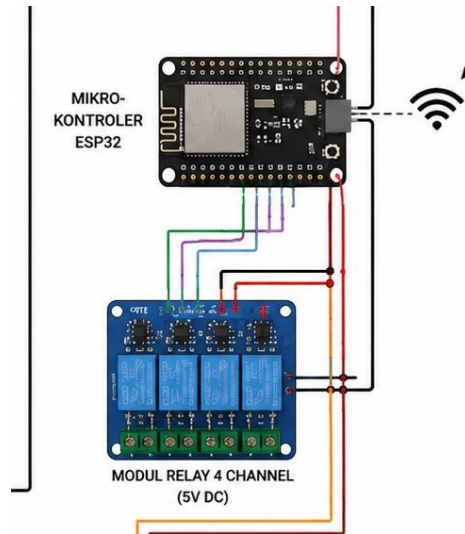
3. Baterai 12V Inverter12V



Gambar 2.8 Baterai 12V Inverter 12V

Baterai berfungsi sebagai penyimpanan energi untuk suplai saat tidak ada cahaya matahari. Baterai 12V menyimpan energi untuk suplai saat matahari tidak tersedia. Kapasitasnya mempengaruhi lama sistem dapat beroperasi secara mandiri. Selain itu, baterai juga berfungsi sebagai buffer untuk menjaga kestabilan tegangan.

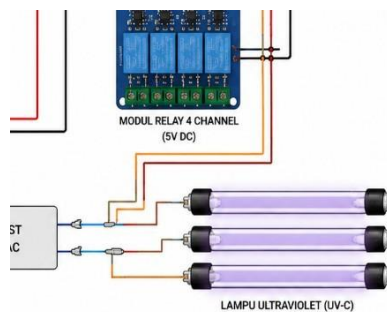
4. Sistem Kontrol



Gambar 2.9 perangkat keras sistem control

ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali dan komunikasi IoT melalui WiFi. Mikrokontroler ESP32 bertanggung jawab memproses perintah dari IoT, mengirimkan sinyal digital ke relay, dan menerima data sensor jika terpasang. ESP32 juga mengelola komunikasi nirkabel ke cloud sehingga sistem dapat dipantau secara real-time.

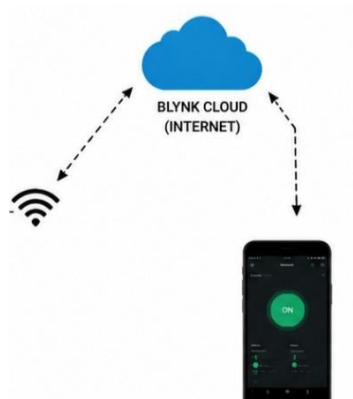
5. Modul Relay



Gambar 2.10 saklar/relay

Modul relay bekerja sebagai saklar elektronik untuk menghubungkan dan memutus arus listrik menuju lampu UV. Relay ini memastikan arus hanya mengalir saat perintah dikirim, sehingga sistem aman dan efisien. Relay digunakan sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan lampu UV. Modul relay bekerja sebagai saklar elektronik untuk menghubungkan dan memutus arus listrik menuju lampu UV. Relay ini memastikan arus hanya mengalir saat perintah dikirim, sehingga sistem aman dan efisien.

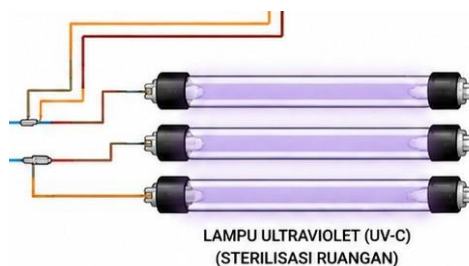
6. Sistem IoT Blynk



Gambar 2.11 perangkat lunak sistem control

Platform Blynk memfasilitasi pengendalian jarak jauh, monitoring status lampu, dan notifikasi ke pengguna. Hal ini meningkatkan fleksibilitas operasional dan memungkinkan pemantauan real-time. Blynk Cloud memungkinkan monitoring dan kontrol sistem secara real-time. Platform Blynk memfasilitasi pengendalian jarak jauh, monitoring status lampu, dan notifikasi ke pengguna. Hal ini meningkatkan fleksibilitas operasional dan memungkinkan pemantauan real-time.

7. Output Lampu UV



Gambar 2.12 output beban

Lampu UV menjadi aktuator utama pada sistem penyinaran ruangan. Lampu memancarkan radiasi ultraviolet yang digunakan untuk membantu proses inaktivasi mikroorganisme. Pengoperasian lampu dikendalikan melalui ESP32 dan relay, sedangkan durasi penyinaran ditetapkan sebagai bagian dari pengujian operasional sistem. Penentuan intensitas dan dosis UV aktual tetap memerlukan radiometer yang sesuai dengan panjang gelombang UV.

2.3 Persamaan / rumus

2.3.1 Perhitungan Energi Harian yang di hasilkan

$$E=P \times t \quad (2.1)$$

Keterangan:

E = energi listrik (Wh)

P = daya beban (W)

t = waktu operasi (jam)

Persamaan tersebut digunakan untuk menghitung kebutuhan energi suatu beban berdasarkan besar daya dan lama waktu operasinya. Perhitungan kebutuhan energi harian pada sistem yang dirancang beserta nilainya diuraikan pada Bab IV.

2.3.2 Perencanaan Kapasitas Baterai

Baterai berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Kapasitas baterai harus disesuaikan dengan kebutuhan energi, tegangan sistem, dan *depth of discharge* atau DoD.

Kapasitas baterai dapat dihitung menggunakan persamaan:

Keterangan:

= kapasitas baterai (Ah)

= kebutuhan energi rencana (Wh)

= tegangan sistem baterai (V)

= *depth of discharge* baterai

Pada metode perancangan PV *standalone*, kapasitas baterai dipengaruhi oleh kebutuhan energi, tegangan sistem, DoD, efisiensi sistem, serta kebutuhan hari otonomi apabila sistem dirancang untuk tetap bekerja tanpa produksi energi surya selama beberapa hari.

2.3.3 Perencanaan Kapasitas Panel Surya

Kapasitas panel surya dapat ditentukan berdasarkan kebutuhan energi harian, peak sun hour (PSH), dan efisiensi keseluruhan sistem. Metode PSH digunakan sebagai pendekatan awal dalam perancangan sistem PV *standalone*.

Kapasitas panel surya dihitung menggunakan persamaan:

Keterangan:

= kapasitas panel surya (Wp)

= kebutuhan energi harian (Wh/hari)

= peak sun hour (jam/hari)

= efisiensi keseluruhan sistem

2.3.4 Perencanaan Solar Charge Controller

Solar Charge Controller digunakan untuk mengatur proses pengisian baterai dari panel surya. Kapasitas arus SCC perlu disesuaikan dengan kapasitas panel surya dan tegangan sistem.

Pendekatan arus sistem dapat dihitung menggunakan persamaan:

Keterangan:

= arus pengendali pengisian (A)

= kapasitas panel surya (W)

= tegangan sistem (V)

2.3.5 Perhitungan Kapasitas Inverter

Inverter digunakan untuk mengubah tegangan DC baterai menjadi AC 220 V ketika lampu UV menggunakan beban AC. Kapasitas minimum inverter dihitung dari total daya beban dan faktor kapasitas.

$$P_{inv} = P_{beban} \times F_k \quad (2.5)$$

Keterangan:

P_{inv} = kapasitas minimum inverter (W);

P_{beban} = total daya beban (W);

F_k = faktor kapasitas inverter.

2.3.6 Perhitungan Total Daya Beban

Total daya sistem ditentukan berdasarkan penjumlahan daya seluruh perangkat yang digunakan. Total daya dihitung menggunakan persamaan:

$$(2.6)$$

Keterangan:

= total daya beban (W)

= daya masing-masing komponen (W)

= jumlah komponen

Persamaan tersebut digunakan untuk menentukan total kebutuhan daya sesaat dari lampu UV, ESP32, relay, dan komponen listrik lain yang digunakan pada sistem. Nilai total daya menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan energi dan kapasitas inverter.

2.3.7 Perhitungan Kebutuhan Energi

Energi listrik yang digunakan oleh suatu perangkat ditentukan berdasarkan daya beban dan lama waktu operasi, sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (2.1).

Apabila sistem terdiri atas beberapa beban dengan waktu operasi berbeda, total energi dapat dihitung menggunakan persamaan:

(2.7)

Keterangan:

= total kebutuhan energi (Wh/hari)

= daya komponen ke-i (W)

= lama operasi komponen ke-i (jam)

Perhitungan kebutuhan energi merupakan tahap awal dalam menentukan kapasitas panel surya dan baterai pada sistem PLTS *off-grid*. Metode perancangan sistem PV *standalone* menggunakan kebutuhan energi harian sebagai dasar penentuan kapasitas sistem pembangkit dan penyimpanan energi.

Untuk memberikan cadangan energi, kebutuhan energi rencana dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_{rencana} = E_{total} \times (1 + f_c) \quad (2.8)$$

Keterangan:

= kebutuhan energi rencana (Wh/hari)

= kebutuhan energi harian (Wh/hari)

= faktor cadangan

2.3.8 Perhitungan Daya Listrik

Daya listrik menyatakan laju energi listrik yang dihasilkan atau dikonsumsi oleh suatu perangkat pada satuan waktu tertentu. Pada sistem pembangkit listrik tenaga surya, daya keluaran panel tidak diukur secara langsung, melainkan diperoleh dari hasil pengukuran tegangan dan arus pada terminal panel. Daya listrik dihitung menggunakan

persamaan:

$$P = V \times I \quad (2.9)$$

Keterangan:

P = daya listrik (W)

V = tegangan (V)

I = arus listrik (A)

Nilai daya yang diperoleh merupakan daya sesaat pada waktu pengukuran dilakukan dan dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, sudut datang cahaya, serta suhu permukaan panel.

2.3.9 Perhitungan Daya Rata-rata

Pengukuran daya panel surya pada beberapa waktu yang berbeda menghasilkan sejumlah nilai daya sesaat. Untuk memperoleh gambaran umum kemampuan panel selama periode pengukuran, nilai-nilai tersebut dirata-ratakan menggunakan persamaan:

$$P_{rata-rata} = (P_1 + P_2 + \dots + P_n) / n \quad (2.10)$$

Keterangan:

$P_{rata-rata}$ = daya rata-rata hasil pengukuran (W)

P_n = daya hasil pengukuran ke-n (W)

n = jumlah titik waktu pengukuran

Nilai daya rata-rata tidak dapat langsung dikalikan dengan lama penyinaran untuk memperoleh energi harian panel surya, karena penentuan energi harian memerlukan pencatatan daya secara berkala sepanjang periode penyinaran.

2.3.10 Perhitungan Energi Nominal Baterai

Kapasitas baterai umumnya dinyatakan dalam satuan ampere-jam (Ah). Agar dapat dibandingkan dengan kebutuhan energi sistem yang dinyatakan dalam watt-jam (Wh), nilai kapasitas arus-jam dikonversi dengan mengalikannya terhadap tegangan nominal baterai menggunakan persamaan:

$$E_{baterai} = V_{baterai} \times C_{baterai} \quad (2.11)$$

Keterangan:

$E_{baterai}$ = energi nominal baterai (Wh)

$V_{baterai}$ = tegangan nominal baterai (V)

$C_{baterai}$ = kapasitas arus-jam baterai (Ah)

Energi nominal merupakan kapasitas total baterai dalam kondisi terisi penuh dan belum menggambarkan energi yang benar-benar dapat digunakan oleh sistem.

2.3.11 Perhitungan Energi Pakai Baterai

Pengosongan baterai hingga seluruh kapasitasnya terpakai akan mempercepat penurunan umur pakai baterai. Oleh karena itu ditetapkan batas kedalaman pengosongan atau depth of discharge (DoD). Energi yang dapat dimanfaatkan dihitung menggunakan persamaan:

$$E_{usable} = E_{baterai} \times \text{DoD} \quad (2.12)$$

Keterangan:

E_{usable} = energi baterai yang dapat digunakan (Wh)

$E_{baterai}$ = energi nominal baterai (Wh)

DoD = *depth of discharge* baterai

Nilai DoD untuk baterai jenis lithium umumnya berkisar antara 80% hingga 90%, sedangkan untuk baterai jenis lead acid umumnya ditetapkan sekitar 50%.

2.3.12 Perhitungan Lama Operasi Baterai

Lama operasi baterai menyatakan durasi maksimum sistem dapat bekerja dengan hanya mengandalkan energi yang tersimpan pada baterai. Nilai tersebut dihitung menggunakan persamaan:

$$t_{operasi} = E_{usable} / P_{beban} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$t_{operasi}$ = lama operasi baterai (jam)

E_{usable} = energi baterai yang dapat digunakan (Wh)

P_{beban} = total daya beban yang bekerja (W)

Lama operasi yang diperoleh bersifat teoritis karena belum memperhitungkan rugi-rugi daya pada inverter, penurunan tegangan selama pengosongan, serta pengaruh suhu terhadap kapasitas baterai.

2.3.13 Perhitungan Arus Rencana Solar Charge Controller

Arus yang mengalir dari panel surya menuju baterai dapat melebihi nilai perhitungan teoritis pada kondisi radiasi matahari yang tinggi. Untuk menjaga keamanan kerja perangkat, kapasitas arus solar charge controller ditetapkan lebih besar

menggunakan persamaan:

$$I_{rencana} = I_{SCC} \times F_k \quad (2.15)$$

Keterangan:

Irencana = arus rencana solar charge controller (A)

ISCC = arus hasil perhitungan Persamaan (2.4) (A)

Fk = faktor keamanan arus

Faktor keamanan umumnya ditetapkan sebesar 1,25 atau setara dengan penambahan cadangan sebesar 25%.