

Rancang Bangun Smart Box Sterilizer Berbasis UV-C dengan Mist Maker dan Kendali Otomatis

Ainil Syafitri^{1*}, Leonardus Tedja²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

Abstrak. Penyebaran mikroorganisme melalui permukaan benda mendorong kebutuhan solusi sterilisasi yang efektif dan minim kontak. Penelitian ini merancang dan menguji Smart Box Sterilizer berbasis UV-C yang dipadukan dengan mist maker (berbahan hand sanitizer 70%) serta sistem kendali otomatis menggunakan Arduino Uno, sensor penghalang IR, servo, dan LCD I²C. Pengujian meliputi :jangkauan deteksi sensor IR, kinerja servo (sudut dan waktu buka/tutup), karakterisasi irradiansi UV-C dan estimasi dosis, serta efektivitas reduksi bakteri pada tujuh benda sehari-hari. Pada kondisi uji utama, irradiansi terukur sekitar 1,01 mW/cm² dengan durasi penyinaran 90 s (dosis $\pm$ 90,9 mJ/cm²). Hasil menunjukkan sensor IR efektif mendeteksi hingga $\approx$ 4–5 cm, servo membuka/menutup $\approx$ 60° dalam $\approx$ 2,5 s, dan rata-rata reduksi bakteri mencapai $\approx$ 68% (tertinggi $\approx$ 87,5% pada salah satu objek). Temuan ini mengindikasikan bahwa rancangan mampu menurunkan kontaminasi mikroba pada permukaan benda dan beroperasi secara otomatis tanpa kontak langsung.

Kata kunci— UV-C, sterilizer, mist maker, Arduino, sensor inframerah, servo, reduksi bakteri

1. PENDAHULUAN

Infeksi terkait pelayanan kesehatan (HAIs) masih menjadi tantangan utama karena sebagian besar patogen mampu bertahan pada permukaan lingkungan klinis sehingga usaha dekontaminasi ruangan yang efektif sangat krusial untuk memutus rantai transmisi. Berbagai studi uji-lapangan menunjukkan bahwa terminal room disinfection berbasis UV-C dapat menurunkan akuisisi organisme resisten dan *C. difficile* ketika digunakan sebagai adjuvan pembersihan rutin [1, 2]. Secara fotobiologis, pita UV-C ($\approx$ 200–280 nm) bersifat germisidal karena diserap kuat oleh DNA/RNA sehingga memicu dimerisasi pirimidin dan kerusakan genom. Kemajuan UV-C LED pada rentang 266–279 nm membuat disinfeksi menjadi lebih ringkas, hemat energi, dan mudah diintegrasikan ke perangkat portabel[3]. Pandemi COVID-19 menegaskan pentingnya kontrol penularan berbasis udara di ruang dalam. Beragam eksperimen *in vitro* menunjukkan SARS-CoV-2 sangat peka terhadap iradiasi UV-C, meski besaran dosis efektif dipengaruhi panjang gelombang dan matriks sampel [4, 5]. Temuan ini memperkuat rasional penggunaan UV-C sebagai lapisan pengendalian rekayasa selain ventilasi dan filtrasi. Di antara teknologi terbaru, far-UV-C 222 nm (lampu KrCl yang difilter) menawarkan potensi disinfeksi udara seluruh-ruang dengan risiko paparan yang jauh lebih rendah terhadap jaringan manusia karena penetrasi yang dangkal. Studi laboratorium dan ruang-bio-aerosol skala ruangan memperlihatkan inaktivasi patogen aerosol yang efisien pada intensitas di bawah batas paparan harian[6, 7]. Bukti dunia nyata semakin kuat, dengan adanya uji ruang berpenghuni (occupied room) menunjukkan pemasangan plafon 222 nm dapat menurunkan virus udara infeksius hingga $\approx$ 99,8% sambil tetap berada di bawah batas regulasi. Temuan ini memperlihatkan bahwa efektivitas *room-scale* bisa melampaui ekspektasi dari studi *bench-top* karena dinamika aliran udara nyata[6]. Meski demikian, desain sistem harus memperhitungkan keselamatan pemakai. Pemantauan klinis 36 bulan pada ruangan dengan iradiasi 222 nm penuh-ruang tidak menemukan temuan merugikan pada parameter okular ketika dosis dipertahankan dalam ambang yang direkomendasikan[8]. Aspek kualitas udara dalam ruang (IAQ)

* Corresponding author: ainil_syafitri@univpancasila.ac.id

juga perlu dikelola. Beberapa konfigurasi lampu UV-C, terutama pada pengaturan tertentu, dapat memicu kimia sekunder yang menghasilkan oksidan/oksidan sekunder sehingga perlu mitigasi melalui pemilihan sumber, penyaringan *out-of-band*, tata letak optik, serta kontrol ventilasi[9]. Berdasarkan penelitian diatas maka penelitian ini memfokuskan pada perancangan dan evaluasi sistem disinfeksi berbasis UV-C yang aman, efektif, dan kontekstual—yakni sesuai karakteristik ruang, pola hunian, serta kepatuhan batas paparan

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan fokus pada perancangan, perakitan, dan pengujian kinerja sebuah Smart Box Sterilizer berbasis radiasi UV-C dan kabut cairan pembersih (mist maker) yang dikendalikan otomatis. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi fungsi sistem kontrol, kinerja aktuator, intensitas UV-C, serta efektivitas penurunan jumlah bakteri pada permukaan benda.

a. Prosedur Pengujian Sistem

Pengujian Jarak Deteksi Sensor IR

1. Letakkan penghalang (misalnya tangan atau benda datar) dengan variasi jarak 1–15 cm dari sensor.
2. Catat jarak ketika sensor memberikan sinyal “terdeteksi”.
3. Tentukan jarak efektif sensor yang paling stabil.

Pengujian Kinerja Motor Servo

1. Perintah servo membuka dan menutup pintu dengan sudut yang sama setiap siklus.
2. Ukur waktu yang diperlukan untuk membuka/tutup penuh.
3. Nilai hasil stabil jika deviasi waktu antarsiklus rendah.

Pengukuran Intensitas UV-C

1. Letakkan UV sensor pada beberapa titik di dalam box (atas, tengah, sudut).
2. Catat hasil intensitas dalam satuan mW/cm².
3. Hitung dosis paparan menggunakan rumus:

$$D = I \times t \dots \dots \dots (1)$$

Dengan D = dosis (mJ/cm²)

I = intensitas UV-C (mW/cm²),

t = waktu penyinaran (detik).

Pengujian Efektivitas Sterilisasi

1. Ambil sampel mikroba dari permukaan benda sebelum sterilisasi menggunakan kapas steril.
2. Oleskan sampel pada slide kaca dan amati jumlah koloni menggunakan mikroskop.
3. Lakukan proses sterilisasi dengan durasi yang telah ditentukan (mis., 90 detik).
4. Ambil sampel kembali dengan metode yang sama.
5. Bandingkan jumlah mikroorganisme sebelum dan sesudah sterilisasi.

$$\text{Persentase Reduksi} = \frac{N_{awal} - N_{akhir}}{N_{awal}} \times 100\%$$

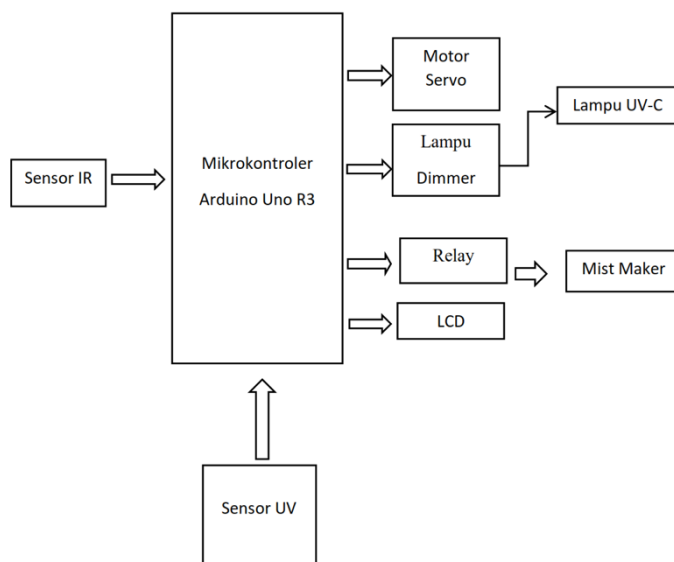
Dengan :

N_{awal} : Nilai awal jumlah mikroorganisme sebelum disterilisasi

N_{akhir} : Nilai akhir jumlah mikroorganisme setelah disterilisasi

a. Teknik Analisis Data

1. Data hasil sensor dan aktuator dianalisis secara deskriptif kuantitatif.
2. Intensitas UV-C dan dosis dihitung berdasarkan hasil pengukuran fisik.
3. Efektivitas sterilisasi dinilai berdasarkan persentase reduksi mikroba.
4. Hasil dibandingkan dengan literatur terkait efektivitas sterilisasi UV-C.



Gambar 1. Diagram Blok sistem

c. Spesifikasi Alat

Merupakan tahap untuk menjabarkan kebutuhan yang digunakan pada penelitian ini. Untuk membuat Rancang Bangun Smart Box Sterilizer, dibutuhkan beberapa perangkat sebagai berikut :

1. Perangkat Keras (Hard ware) meliputi :

- a. Lampu UV-C 8 Watt
- b. Dimmer module
- c. UV Sensor Index Module
- d. Motor Servo MG996R
- e. XL4005 Step Down Module
- f. Sensor Infrared Barrier Obstacle
- g. LCD 16x2 I2C
- h. Module Atmega32P Arduino Uno
- i. Adaptor Arduino
- j. Rangka Box plastik 44 x 41 x 31 cm
- k. Mist maker
- l. Konektor daya

2. Perangkat Lunak (Software) meliputi : Software IDE Arduino Uno

d. Rangkaian Penyimpanan Box

Untuk rangkaian alat digunakan kotak penyimpanan berbahan plastic dengan ukuran yaitu 40 x 35 x 25 cm. Mix maker dan Lampu UV-C yang terdapat pada bagian dalam nya diasumsikan sebagai sumber cahaya linier, yaitu dimana pada tiap titik yang t merupakan sumber titik cahaya dengan radiasi isotropik / radiasi surya baur dengan intensitas yang sama ke segala arah. Nilai takaran UV-C yang terdapat pada lampu yaitu berdasarkan integrasi dari semua intensitas yang dihasilkan dari sumber titik cahaya yang berada di lampu.

e. Arduino Uno R3

Pada pengendalian utama dari perancangan Sterilisasi Box ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3. Proses pengendalian diperoleh dari program coding yang sebelumnya dibuat pada Software Arduino IDE yang kemudian diupload untuk pengendalian di mikrokontroler. Digunakan beberapa pin pada board Arduino Uno meliputi sensor input serta output.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Pin Arduino yang digunakan.

Nama PIN	Kategori	Koneksi
Pin 2	Digital	Dimmer
Pin 3	Digital	Lampu Dimmer
Pin 4	Digital	Sensor IR
A0	Analog	Potensiometer
A1	Analog	Sensor UV
A2	Analog	

f. Motor Servo

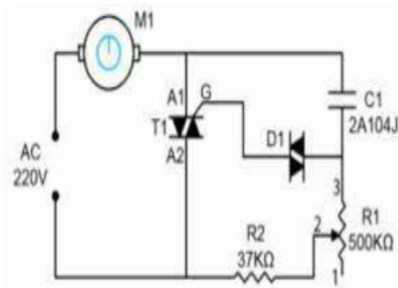
Pada kontrol dibagian penutup box sterilisasi penggunaan motor servo dimaksudkan untuk membantu menggerakkan pintu penutup baik membuka maupun menutup. Hal ini berdasarkan sinyal yang didapatkan dari sensor Infrared.

Keterangan:

1. Kaki input pada Servo dihubungkan pada pin D7 pada arduino
2. Kaki VCC pada Servo dihubungkan ke pin VCC pada arduino
3. Kaki GND pada Servo dihubungkan ke pin GND arduino

g. Dimmer

Pada prinsipnya rangkaian dimmer ini bekerja dengan mengatur tegangan yang diberikan untuk mengaktifkan lampu beban menggunakan TRIAC sebagai komponen utama. Rangkaian lampu dimmer dengan TRIAC ini bekerja dengan sumber tegangan AC 220 Volt. Rangkaian Pengatur beban, untuk pengendalian nya komponen TRIAC berfungsi sebagai pengaturan tegangan AC dan juga sebagai tempat mengalirnya arus yang melewati beban lampu. Komponen optotriac yang terdapat IC tersebut berfungsi sebagai penyalat TRIAC, sehingga hasil tegangan output yang akan melewati beban lampu dapat diatur. Rangkaian Zero-Cross detector, untuk komponen IC OP-Amp pada rangkaian ini digunakan sebagai komparator dan apabila sumber berada pada siklus positif, keluaran Zero-Cross detector sinyal berlogika "1", dan sebaliknya apabila saat sumber berada pada siklus negatif, maka keluaran sinyal berlogika "0".



Gambar 2. Rangkaian Dimmer

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian terhadap sensor UV untuk mendapatkan nilai intensitas Cahaya dilakukan dengan diawali pengetasan koneksi antar sensor dengan beban lampu UV-C untuk mengetahui bahwa sensor UV berfungsi dengan baik, maka dilakukan pengetasan koneksi antar sensor terhadap beban lampu UV-C. Untuk mengetahui bahwa sensor UV berfungsi dengan baik, maka dilakukan pengetasan koneksi antar sensor

terhadap beban lampu UV-C yang digunakan sehingga hasil data nilai radiasi intensitas. Untuk Dosis Intesnsitas Radiasi UV-C dalam membunuh 90% bakteri di air adalah sebesar $D_{90} : 21 \text{ J/m}^2$ dan diudara adalah sebesar $D_{90} : 6 \text{ J/m}^2$. Selanjutnya pengujian yang dilakukan yaitu dengan mengaktifkan lampu UV-C di dalam box. Lampu UV-C akan aktif secara otomatis setelah box telah tertutup dengan lamanya waktu penyinaran yang digunakan yaitu. Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan UV Sensor Index Module, diawali dengan menonaktifkan lampu UV-C dengan nilai awal sensor $0,02 \text{ mW/cm}^2$. Proses penyinaran secara otomatis berkerja ketika box ditutup dan lampu UV-C akan aktif berkerja secara otomatis setelah box ditutup dan proses penyinaran dimulai Berdasarkan hasil yang diperoleh dari Gambar 4.2, didapatkan bahwa nilai Intensitas radiasi cahaya yang diperoleh dari sensor UV untuk cahaya lampu UV-C 8 Watt sebesar $1,01 \text{ mW/cm}^2$, dengan menggunakan nilai dosis selama 90 detik $D_{90} = 21 \text{ J/m}^2$ sebagai acuan. Hasil pengujian pada gambar 4.3 dengan waktu tersebut dapat meminimalisir/ mengurangi bakteri Mikroba Bakteri hingga 90% dari alat sterilisasi yang digunakan, jika dikalkulasikan yaitu :

$$D_{90} = 1,01 \cdot 90 = 90,9 \text{ mJ/cm}^2 = 909 \text{ J/m}^2$$

Tabel 1. Hasil Pengujian UV-C

No	Titik	Intensitas 1 mW/cm^2	Dosis $D = i.t \text{ mJ/cm}^2$
1	Pusat	1.01	90.9
2	Kiri-Depan	0.88	79.2
3	Kanan-Depan	0.9	81.0
4	Kiri-Belakang	0.82	73.8
5	Kanan - Belakang	0.85	76.5

Tabel 2. Hasil Uji Sensor IR

No	Jarak (cm)	Terdeteksi	Jarak	Terdeteksi
1	1	Ya	6	Tidak
2	2	Ya	7	Tidak
3	3	Ya	8	Tidak
4	4	Ya	9	Tidak
5	5	Ya (lemah)	10	Tidak

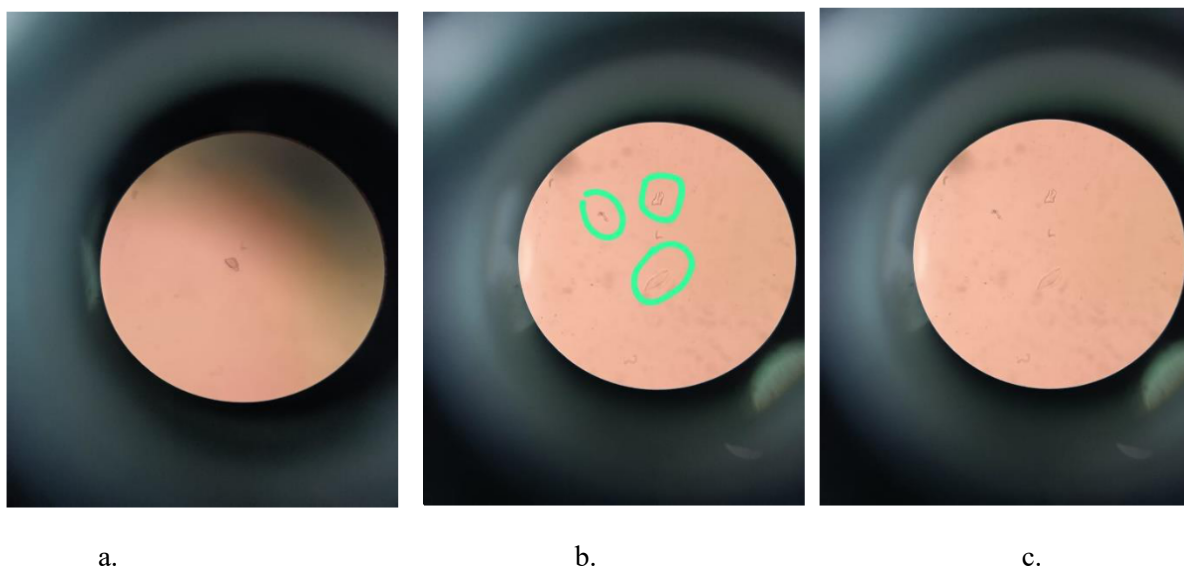
Tabel 3. Hasil Pengujian Servo

No	Siklus	Sudut	Waktu buka (s)	Waktu tutup
1	1	60	2.6	Tidak
2	2	60	2.5	Tidak
3	3	60	2.4	Tidak
4	4	60	2.6	Tidak
5	5	60	2.5	Tidak

a. Pengujian Kefektifan Alat

Tujuan dari penelitian ini adalah melihat seberapa efektifnya alat ini dalam mesterilkan bakteri menggunakan suatu metode uji bakteri kaca bening mikroskop.tahap kerja awal sampel dimasukkan didalam botol kecil berisi air lalu diaduk sampai air mengeruh kemudian air dari objek yang sudah diendapkan diambil sampelnya lalu ditetaskan diatas kaca bening,diambil sampel air dari objek agar lensa mikroskop tidak langsung menyentuh permukaan luaran objek yang kasar agar meminimalisir kerusakan pada lensa mikroskop yang sensitif dan mahal.kemudian diamati oleh mikroskop secara sederhana adalah lensa objektif akan membentuk bayangan benda yang bersifat nyata, terbalik, dan diperbesar. Bayangan benda oleh lensa objektif akan ditangkap sebagai benda oleh lensa okuler. Bayangan inilah yang tampak oleh mata. Lensa okuler letaknya ada di bagian atas mikroskop, dan fungsinya adalah memperbesar bayangan yang dihasilkan oleh lensa objektif, yaitu lensa yang letaknya berada dengan objek yang diamati dan fungsinya memperbesar

bayangan objek pengamatan. Nah, mikroskop tersebut menggunakan sumber cahaya untuk dipantulkan kembali ke lensa objektif. Selain itu, meja preparate merupakan tempat objek diletakkan. Cara kerja mikroskop ini berawal dari cahaya yang mengenai objek kemudian diteruskan oleh lensa objektif. Lensa objektif ini dapat mengetahui perbesaran yang dilakukan mikroskop. Selanjutnya, sinar yang sebelumnya diteruskan oleh lensa objektif, akan ditangkap oleh lensa okuler dan diteruskan pada mata. Dibawah ini Gambar Objek sebelum di uji menggunakan alat” Smart Box Sterilisasi “dan dilihat hasilnya menggunakan suatu metode uji bakteri kaca bening mikroskop. tahap kerja awal sampel dimasukkan didalam botol kecil berisi air lalu diaduk sampai air mengeruh kemudian air dari objek yang sudah diendapkan diambil sampelnya lalu ditetaskan diatas kaca bening, diambil sampel air dari objek agar lensa mikroskop tidak langsung menyentuh permukaan luaran objek yang kasar agar meminimalisir kerusakan pada lensa mikroskop yang sensitif dan mahal. kemudian diamati oleh mikroskop secara sederhana adalah lensa objektif akan membentuk bayangan benda yang bersifat nyata, terbalik, dan diperbesar. Bayangan benda oleh lensa objektif akan ditangkap sebagai benda oleh lensa okuler. Bayangan inilah yang tampak oleh mata. Di bawah ini adalah Hasil Uji Bakteri menggunakan alat Smart Box Sterilisasi yang diamati menggunakan Mikroskop dengan wadah kaca bening, Di gambar di tengah terdapat lingkaran hijau itu merupakan Baketri(cfu/ML) Colony Forming Units



Gambar 3. Kaca Bening berisi Bakteri yang diamati menggunakan Mikroskop

Berikut Hasil Tabel Uji Bakteri Test menggunakan Mikroskop sebagai alat untuk mengamati jumlah bakteri (cfu/mL) “Colony Forming Units) dan kaca bening sebagai wadah objek diamati oleh mikroskop secara sederhana adalah lensa objektif akan membentuk bayangan benda yang bersifat nyata, terbalik, dan diperbesar. Bayangan benda oleh lensa objektif akan ditangkap sebagai benda oleh lensa okuler. Bayangan inilah yang tampak oleh mata. Mikroskop Cahaya mempunyai perbesaran maksimum “1000 kali”. Mikroskop cahaya memiliki tiga sistem lensa yaitu lensa objektif, lensa okuler dan konduser

Tabel Hasil Uji Bakteri :

Kadar Bakteri (cfu/ML) Sebelum di sterilisasi menggunakan Smart Box Sterilisasi	Kadar Bakteri (cfu/ML) Sesudah di sterilisasi menggunakan Smart Box Sterilisasi
Gantungan Kunci 8 cfu/mL	Gantungan Kunci 3 cfu/mL
Kunci motor 7 cfu/mL	Kunci motor 2 cfu/mL
Pena 6 cfu/mL	Pena 2 cfu/mL
Sendok 8 cfu/mL	Sendok 1 cfu/mL
Piring 5 cfu/mL	Piring 2 cfu/mL
Gelas 7 cfu/mL	Gelas 3 cfu/mL
Casing Hp 10 cfu/mL	Casing Hp 3 cfu/mL

Satuan Bakteri : Cfu/mL

4. KESIMPULAN

1. Sensor IR dapat mendeteksi halangan/objek sampai sejauh 5 cm sebagai masukan untuk motor servo untuk dapat membuka otomatis tutup box.
2. Waktu yang dibutuhkan motor servo bekerja (forward dan reverse) pada penutup box yaitu 2,5 detik dengan sudut putarnya sebesar 60° dengan tegangan yang terukur yaitu 0,32 V (posisi 0°) dan 0,5 V (posisi 60°).
3. Intensitas Radiasi Cahaya Lampu UV- C yang terukur pada sensor UV saat lampu beban belum diaktifkan yaitu 0,02 mW/cm² dan saat lampu beban aktif mencapai 1,02 mW/cm² dengan waktu sterilisasi selama 90 detik.
4. Sinar UV dan Mist maker bekerja dengan optimal sehingga alat Smart Box Sterilisasi dapat berfungsi dengan baik dalam mesterilisasi bakteri di permukaan luar objek hingga 80%

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. F. C. Deverick J Anderson 1, David J Weber 3, Rebekah W Moehring 4, Sarah S Lewis 2, Patricia F Triplett 5, Michael Blocker 6, Paul Becherer 7, J Conrad Schwab 8, Lauren P Knelson 2, Yuliya Lokhnygina 9, William A Rutala 3, Hajime Kanamori 3, Maria F Gergen 3, Daniel J Sexton 2; CDC Prevention Epicenters Program, "Enhanced terminal room disinfection and acquisition and infection caused by multidrug-resistant organisms and *Clostridium difficile* (the Benefits of Enhanced Terminal Room Disinfection study): a cluster-randomised, multicentre, crossover study" *Nature scientific report* 2017.
- [2] A. B. Mara Biasin, Giovanni Pareschi, Adalberto Cavalleri, Claudia Cavatorta, Claudio Fenizia, Paola Galli, Luigi Lessio, Manuela Lualdi, Enrico Tombetti, Alessandro Ambrosi, Edoardo Maria Alberto Redaelli, Irma Saulle, Daria Trabattoni, Alessio Zanutta & Mario Clerici, "UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication" *Nature scientific report*, 2021.
- [3] D.-K. Kim, Kim, S.-J., & Kang, D.-H., "Bactericidal effect of 266 to 279 nm wavelength UVC-LEDs for inactivation of Gram positive and Gram negative foodborne pathogenic bacteria and yeasts.," *Food Research International*, 97, 280–287. Elsevier Pure, (2017).

-
- [4] M. • Biasin, Bianco, A., Pareschi, G., Cavalleri, A., Fenizia, C., Galli, P., ... Clerici, M. , "UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. ," *Nature scientific report*, (2021). .
- [5] T. C. L. Michael A Schuit 1, Melissa L Krause 3, Brian M Green 3, Brian P Holland 3, Stewart P Wood 3, Steven Grantham 2, Yuqin Zong 2, Clarence J Zarobila 2, Denise L Freeburger 3, David M Miller 3, Jordan K Bohannon 3, Shanna A Ratnesar-Shumate 3, Ernest R Blatchley 3rd 4, Xing Li 5, Paul A Dabisch 3, C Cameron Miller 2, "SARS-CoV-2 inactivation by ultraviolet radiation and visible light is dependent on wavelength and sample matrix " *PubMed*, 2022.
- [6] D. W. Manuela Buonanno, Igor Shuryak & David J. Brenner, "Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses " *Scientific Reports*, 2020.
- [7] W. H. Ewan Eadie, Louise Fletcher, Emma Tidswell, Paul O'Mahoney, Manuela Buonanno, David Welch, Catherine S. Adamson, David J. Brenner, Catherine Noakes & Kenneth Wood "Far-UVC (222 nm) efficiently inactivates an airborne pathogen in a room-sized chamber " *Scientific Reports Nature*, 2022.
- [8] S. K. Kazunobu Sugihara 1, Masahiro Sasaki 2, Sho Ichioka 1, Ichiya Sano 1, Katsunori Hara 1, Masaki Tanito 1, "Ocular safety of 222-nm far-ultraviolet-c full-room germicidal irradiation: A 36-month clinical observation " *PubMed*, 2025.
- [9] F. G. Y. L. G. Ehn*, "Unwanted Indoor Air Quality Effects from Using Ultraviolet C Lamps for Disinfection," *Environmental Science & Technology Letters*, vol. Vol 10/Issue 2, 2023.