

Sistem Pengendalian Jumlah Orang dan Otomasi Sterilisasi Ruang Kelas Menggunakan Far-UVC 222 nm dalam Mencegah Penyebaran SARS-CoV-2 (Desember 2020)

Fierrananda Prajakinasih¹, Luthfan Nuha R.², Muhammad Angga Faizal³, Nailia Ziyada Rahma⁴, dan Samuel Efrat L. G.⁵

¹ 18/425000/TK/46695

² 18/425008/TK/46703

³ 18/431102/TK/47695

⁴ 18/425013/TK/46708

⁵ 18/428681/TK/47183

Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Corresponding author: Fierrananda Prajakinasih (e-mail: fierrananda@mail.ugm.ac.id).

ABSTRAK Pandemi COVID-19 telah menjadi wabah yang menyebabkan darurat kesehatan untuk seluruh dunia saat ini. Kondisi ini menuntut kita untuk merubah sistem tatanan kehidupan agar mampu beradaptasi dalam menghadapi *new normal* atau kebiasaan baru. Kebiasaan baru yang akan dijalani harus didukung dengan sistem yang memadai agar dapat berjalan dengan lancar. Salah satu sistem tersebut adalah otomasi pada sebuah bangunan yang biasa digunakan sebagai tempat aktivitas, agar bisa mendukung proses adaptasi terhadap kebiasaan baru. Sistem otomasi yang dirancang pada penelitian ini adalah sistem kendali pintu otomatis yang bertujuan untuk membatasi jumlah orang dalam ruang kelas TN-7 Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada. Selain itu dirancang juga sistem sterilisasi ruangan dengan menggunakan sinar UV 222 nm yang bertujuan untuk melumpuhkan virus sehingga dapat memutus mata rantai penyebaran. Sistem kendali pintu otomatis menggunakan dua buah sensor PIR yang diletakkan di dalam dan di luar ruangan berada disebelah pintu. Kedua sensor ini bertujuan untuk mendeteksi gerakan orang yang akan masuk dan keluar dari ruang kelas dengan jangkauan maksimal 8 meter. Mikrokontroler Arduino UNO digunakan untuk menerima sinyal *output* dari kedua sensor PIR dan memproses sinyal tersebut untuk menghitung data jumlah orang yang keluar dan masuk dengan sistem *data log*, serta motor servo digunakan sebagai aktuator untuk membuka dan menutup pintu. Pada sistem sterilisasi digunakan 31 buah lampu sinar UV 222 nm dengan jarak antar lampu 2 m dan ketinggian 2,5 m. Sterilisasi dilakukan setiap 15 menit sekali dengan durasi 275 detik.

KATA KUNCI sinar UV 222 nm, sterilisasi, sistem kendali pintu otomatis

I. PENDAHULUAN

Novel Coronavirus (COVID-19), atau sekarang bernama coronavirus 2 (SARS-Cov-2) adalah penyakit pernapasan akut yang parah, dimulai di Wuhan, provinsi Hubei, China, dan telah menjadi masalah darurat kesehatan masyarakat serta mengundang perhatian internasional [1,2]. Adapun jumlah orang yang terinfeksi oleh penyakit ini terus meningkat secara eksponensial dari awal kasus ini terekam. Tercatat sampai pada tanggal 16 Desember 2020, terdapat 73,4 juta kasus orang terinfeksi di dunia. Di Indonesia sendiri jumlah kasus orang yang terinfeksi telah mencapai angka 623 ribu, dimana 511 ribu orang diantaranya dinyatakan sembuh dan 18 ribu orang dinyatakan meninggal dunia [3].

Diagnostik cepat, obat dan vaksin bukanlah satu-satunya strategi untuk menghentikan COVID-19. Regulasi dan mendisiplinkan diri sendiri juga sama pentingnya untuk

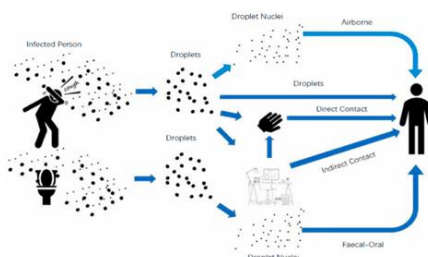
mencegah penyebaran virus ini agar tak muncul lagi di masa depan [4]. Masyarakat harus dapat mengatur dirinya dengan mengikuti prosedur yang diberikan oleh pemerintah serta tidak melanggarnya. Untuk menghadapi pandemi ini, pemerintah Indonesia menerapkan protokol kesehatan *new normal*.

Pandemi COVID-19 banyak memberikan dampak hampir di semua sektor kegiatan. Beberapa contoh sektor yang terdampak pandemi ini antara lain pembatasan transportasi umum, penutupan sekolah, resesi ekonomi secara global, konflik politik, rasisme, dan hal-hal terkait misinformasi dan kontroversi. Sektor pendidikan menjadi salah satu yang terdampak cukup besar. Dikarenakan ketidak-tersediaan vaksin dan obat yang secara khusus dapat mengatasi virus ini, maka kegiatan belajar-mengajar yang tidak dapat

dilakukan secara daring harus direncanakan sedemikian rupa sehingga sesuai dengan protokol kesehatan yang berlaku [5].

Perekayasa *smart classroom* menjadi salah satu alternatif pengkondisian pembelajaran secara luring pada masa pandemi ini. *Smart classroom* secara umum mengacu pada sebuah ruang kelas yang terintegrasi dengan teknologi untuk meningkatkan kemampuan guru dalam kegiatan belajar-mengajar dan kemampuan siswa untuk berpartisipasi dalam pembelajaran melampaui apa yang dapat diperoleh ketika berada dalam kelas biasa tanpa terintegrasi dengan teknologi [6]. Berkaitan dengan situasi *new normal* maka *smart classroom* yang dirancang tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan dan keaktifan belajar siswa namun juga untuk mencegah atau mengurangi kemungkinan penyebaran virus di dalam ruang kelas.

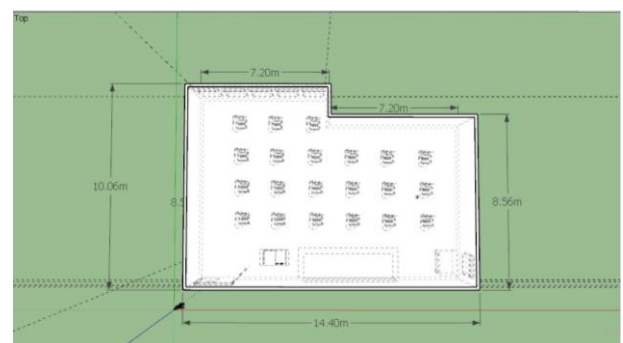
COVID-19 dapat ditransmisikan melalui droplet yang dikeluarkan ketika orang yang terinfeksi batuk atau mengeluarkan nafas. Kemudian, droplet akan jatuh pada objek dan permukaan di dekatnya, sehingga mengkontaminasinya. Orang disekitar bisa terinfeksi dengan cara menyentuh benda tersebut kemudian menyentuh mulut atau hidung mereka [7]. Selain itu, droplet yang memiliki ukuran lebih kecil seperti aerosol (droplet nuklei) akan cenderung melayang di udara selama jarak dan waktu tertentu menyebabkan orang yang menghirupnya bisa terinfeksi. Berbagai studi telah menunjukkan bahwa SARS-Cov-2 bisa bertahan sampai 3 jam dalam wujud aerosol, apabila berada dalam wujud droplet ia dapat bertahan selama 4 jam di permukaan tembaga, 24 jam di permukaan *cardboard*, serta 2-3 hari di permukaan plastik dan *stainless steel* dibawah kondisi laboratorium dengan kelembaban relatif 40%-65% serta suhu 21-23°C [8]. Sehingga untuk mencegah penyebaran virus COVID-19 perlu untuk melakukan proses sterilisasi ruangan, terutama pada permukaan-permukaan yang disentuh oleh orang secara langsung, misalkan gagang pintu, meja, dan kursi di dalam ruang kelas. Sterilisasi adalah proses membunuh atau menghilangkan mikroorganisme yang dapat bergerak seperti virus. Selain proses sterilisasi, diperlukan juga sebuah sistem yang dapat membatasi jumlah orang dalam ruangan di satu waktu. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kontak fisik dan percakapan jarak dekat agar probabilitas penyebaran virus dapat ditekan.



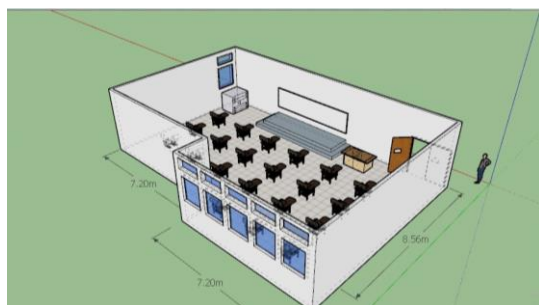
Gambar 1. Mekanisme penyebaran virus di dalam bangunan [9]

Sterilisasi untuk mencegah transmisi virus dapat dilakukan dengan menonaktifkan virus-virus tersebut sebelum bereproduksi lebih banyak. Biasanya cahaya GUV (*Germicidal Ultraviolet*) dengan panjang gelombang 254 nm efektif digunakan dalam hal tersebut. Namun penggunaan GUV dapat membahayakan kulit dan mata manusia apabila terpapar secara langsung. Oleh karena itu digunakan cahaya far-UVC dengan panjang gelombang 222 nm yang juga dapat secara efisien membunuh patogen tanpa membahayakan jaringan tubuh manusia. Hal ini dikarenakan cahaya far-UVC memiliki rentang panjang gelombang yang tidak dapat menembus sel-sel kulit atau mata manusia. Namun karena virus memiliki ukuran yang sangat kecil, cahaya far-UVC dapat menembus mereka dan menonaktifkan atau membunuh mereka. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Manuela Buonanno, David Welch, Igor Shuryak, dan David J. Brenner (2020) diketahui bahwa dosis kecil sebesar 1,7 dan 1,2 mJ/cm² masing-masing dapat menonaktifkan 99,9% virus corona 229E dan OC43 yang terdapat dalam wujud aerosol atau droplet. Oleh karena virus corona yang menginfeksi manusia memiliki ukuran genomik yang mirip, cahaya far-UVC diprediksi dapat menunjukkan hasil yang serupa dalam menonaktifkan virus corona jenis lain termasuk virus COVID-19 atau SARS-Cov-2 [10].

Ruang yang digunakan sebagai objek perancangan sistem ini adalah ruang TN-7 Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada. Ruangan ini memiliki dimensi 14,4 m x 8,56 m x 3,5 m. Terdapat dua sisi ruangan yang menghadap ke lingkungan luar yaitu sisi sebelah kiri dan sisi belakang. Pada sisi sebelah kiri ruangan terdapat satu jendela kecil dan satu jendela besar yang menghadap langsung ke arah luar ruangan. Pada sisi belakang ruangan terdapat lima jendela kecil dan lima jendela besar yang juga menghadap langsung ke luar ruangan.



Gambar 2. Denah ruang TN-7 DTNTF UGM



Gambar 3. Denah ruang TN-7 DTNTF UGM dalam tiga dimensi

Adapun tujuan dari disusunnya *paper* ini adalah untuk merancang suatu sistem otomasi pintu otomatis dan sterilisasi ruangan menggunakan cahaya far-UVC 222 nm di ruang kelas TN-7 Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada. Sistem ini diharapkan mampu menjadikan ruang kelas tetap steril dari virus COVID-19 agar meminimalisir kemungkinan transmisi virus melalui droplet dan aerosol yang terdapat di ruangan dan permukaan-permukaan sekitar.

II. METODE YANG DIUSULKAN

Pada perancangan sistem otomasi sterilisasi ruangan dan pengendalian sistem pintu otomatis dibutuhkan sistem sensor dan aktuatur dengan komponen sebagai berikut :

1. RELAY

Relay adalah suatu perangkat elektromekanik yang dapat digunakan untuk menyambungkan atau memutus hubungan listrik yang dikendalikan dengan sinyal listrik. *Relay* biasanya terdiri dari beberapa bagian mekanis yaitu elektromagnet yang dapat menghasilkan medan magnet akibat adanya arus yang mengalir pada lilitan pada bagian elektromagnet. *Armature* yang berfungsi untuk membuat atau memutus koneksi dengan kontak. Kontak adalah konduktor yang tersambung dengan terminal. *Relay* memiliki 2 kondisi operasi secara umum yaitu *normally closed* dan *normally open*. *Relay* dengan kondisi *normally closed* memiliki *default* pada posisi tertutup yang berarti bahwa rangkaian tertutup, kecuali ada ketentuan kondisi yang lain. *Relay* dengan kondisi *normally open* memiliki kondisi *default* posisi terbuka yang berarti bahwa ketika relay tidak digunakan, maka tidak ada kontak antar rangkaian. Pada kondisi ini ketika ada suplai daya yang dikenakan pada *relay*, rangkaian akan menjadi tertutup sehingga aliran listrik dapat mengalir [11, 12].



Gambar 4. Relay [13]

2. Far-UVC 222 nm

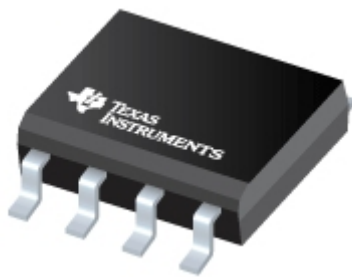
UV-C termasuk ke dalam spektrum ultraviolet yang memiliki panjang gelombang antara 200-280 nm yang diketahui dapat membunuh hingga 99,9% patogen. UVC yang biasa digunakan sebelumnya adalah UVC dengan panjang gelombang 254 nm. Namun karena pada panjang gelombang ini UVC memiliki dampak buruk maka para peneliti kemudian memfokuskan penelitian pada UVC pada panjang gelombang 222 nm atau dikenal dengan far-UVC. Far-UVC memiliki kemampuan yang sama dengan UVC 254 nm dalam membunuh patogen namun tidak membahayakan jaringan sel tubuh manusia [14]. Cahaya far-UVC dapat dihasilkan oleh *krypton-chlorine excimer lamp*. Jendela keluaran dari lampu ditutup dengan *bandpass filter* yang didesain untuk memfilter emisi panjang gelombang selain panjang gelombang 222 nm. Spektrometer UV dengan sensitivitas 190 nm dan 400 nm digunakan untuk memverifikasi emisi dari lampu adalah 222 nm. Kemudian lampu deuterium juga digunakan untuk mengkalibrasi spektrometer UV secara radiometri [15,16]. Alternatif sensor yang dapat digunakan adalah Care222 U3 yang mode aktivasinya dapat ON/OFF, kontinyu, dan/atau terintegrasi dengan sensor.



Gambar 5. Lampu far-UVC 222 nm [17]

3. 555 Timer

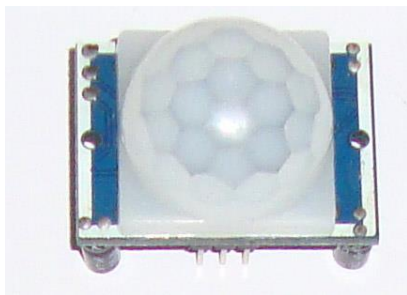
555 timer adalah suatu IC (*Integrated Circuit*) yang digunakan pada berbagai aplikasi *timer*, penghasil pulsa, dan osilator. 555 timer dapat digunakan untuk memberikan *delay* waktu. Tegangan suplai yang digunakan berkisar antara 3-15V. 555 timer memiliki 3 mode operasi, yaitu yang pertama mode operasi *monostable*, *astable*, dan *bistable* [18]. Mode operasi yang digunakan untuk rancangan ini adalah 555 timer dengan mode *monostable* karena pada mode ini 555 timer dapat berfungsi sebagai penghasil pulsa yang diaplikasikan sebagai *timer*. Salah satu tipe 555 timer adalah NA555 dari *Texas Instrument* dengan karakteristik operasi sebagai berikut.



Gambar 7. 555 timer [19]

4. Sensor Passive Infrared (PIR)

Sensor PIR adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi adanya pancaran sinar infra merah. Sensor PIR ini bersifat pasif, artinya sensor ini tidak memancarkan sinar inframerah tetapi hanya menerima radiasi sinar infra merah dari luar. Sesuai dengan namanya *passive*, sensor ini hanya merespon energi dari pancaran sinar inframerah pasif yang dimiliki oleh setiap benda yang terdeteksi olehnya. Benda yang bisa dideteksi oleh sensor ini biasanya adalah tubuh manusia [21]. Sensor PIR memiliki tiga buah pin yaitu pin *Power* (Vcc) yang harus dihubungkan pada tegangan *input* 4,5V - 12 V, pin *Signal* yang akan menghasilkan pulsa digital *HIGH* apabila pergerakan manusia terdeteksi dan digital *LOW* apabila tidak ada pergerakan, serta pin *GROUND* yang harus dihubungkan pada *ground*.



Gambar 8. Sensor PIR [20].

5. Motor Servo

Motor servo adalah sebuah motor DC dengan sistem umpan balik tertutup dimana posisi rotornya akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian *gear*, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor [23].

Motor servo adalah motor yang berputar lambat, dimana biasanya ditunjukkan oleh *rate* putarannya yang lambat, namun demikian memiliki torsi yang kuat karena

internal gear-nya. Lebih dalam dapat digambarkan bahwa sebuah motor servo memiliki:

- Tiga jalur kabel: *ground*, *power*, dan *control*
- Sinyal kontrol mengendalikan posisi
- Operasional dari motor servo dikendalikan oleh sebuah pulsa selebar ± 20 ms, dimana lebar pulsa antara 0,5 ms dan 2 ms menyatakan akhir dari rentang sudut maksimum

Konstruksi di dalamnya meliputi *internal gear*, potensiometer, dan *feedback control* [23].



Gambar 9. Motor servo [22]

6. Arduino UNO



Gambar 10. Arduino UNO [24]

Arduino UNO adalah board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino UNO memiliki 14 pin *digital input/output* (enam diantaranya dapat digunakan sebagai *output PWM*), enam *input* analog, sebuah osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah ICSP *header*, dan sebuah tombol *reset* [24]. Berikut adalah spesifikasi dari Arduino UNO menurut [24].

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V

Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pins	40 mA
DC Current for 3.3 V Pins	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EFROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

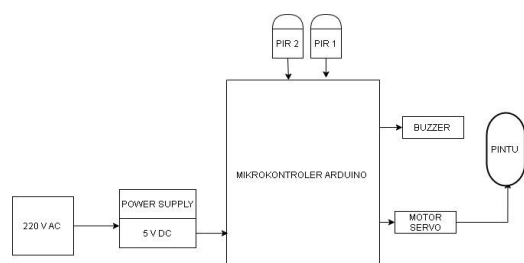
Tabel 1. Spesifikasi Arduino UNO

7. Buzzer

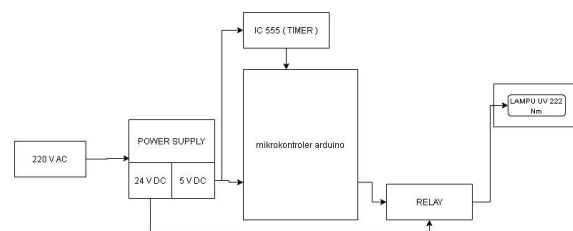
Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi getaran. *Buzzer* terdiri dari kumparan yang dialiri oleh arus listrik pada diafragma sehingga menjadi elektromagnet. Kumparan tersebut akan tertarik ke dalam atau ke luar tergantung dari arah arus dan polaritas magnet karena kumparan dipasang pada diafragma maka setiap gerakan kumparan akan menggerakkan diafragma secara bolak-balik sehingga menggetarkan udara di sekitarnya [25].

III. SISTEM KENDALI

Blok diagram sistem kendali pintu otomatis terdiri dari dua buah sensor PIR yang diletakan di atas pintu bagian dalam dan di atas pintu bagian luar, satu buah mikrokontroler Arduino UNO yang diletakan di atas pintu bagian dalam, satu buah motor servo sebagai aktuator, satu buah *power supply*, serta satu buah *buzzer* sebagai indikator ketika pintu terbuka.



Gambar 11. Diagram blok kendali pintu otomatis



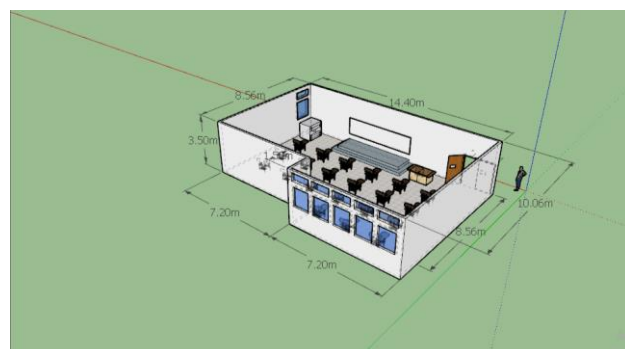
Gambar 12. Diagram blok sterilisasi ruangan

Diagram blok sterilisasi ruangan terdiri dari power supply 24 V DC dan 5 V DC, satu buah *timer* dengan IC 555, sebuah relay, dan 31 buah lampu far-UVC 222 nm.

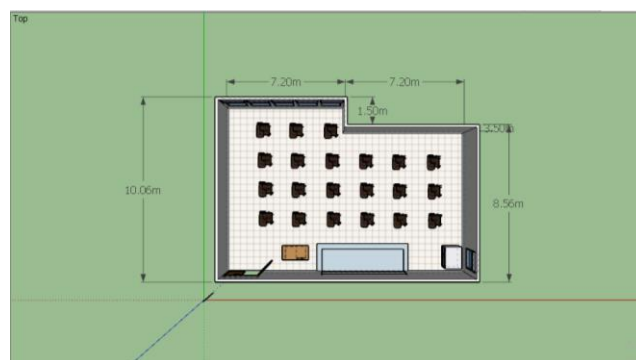
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Desain Model 3D Ruang TN-7

Berikut design model 3D sesuai dengan denah pada bangunan DTNTF yang dibuat dengan menggunakan *software Sketchup* :



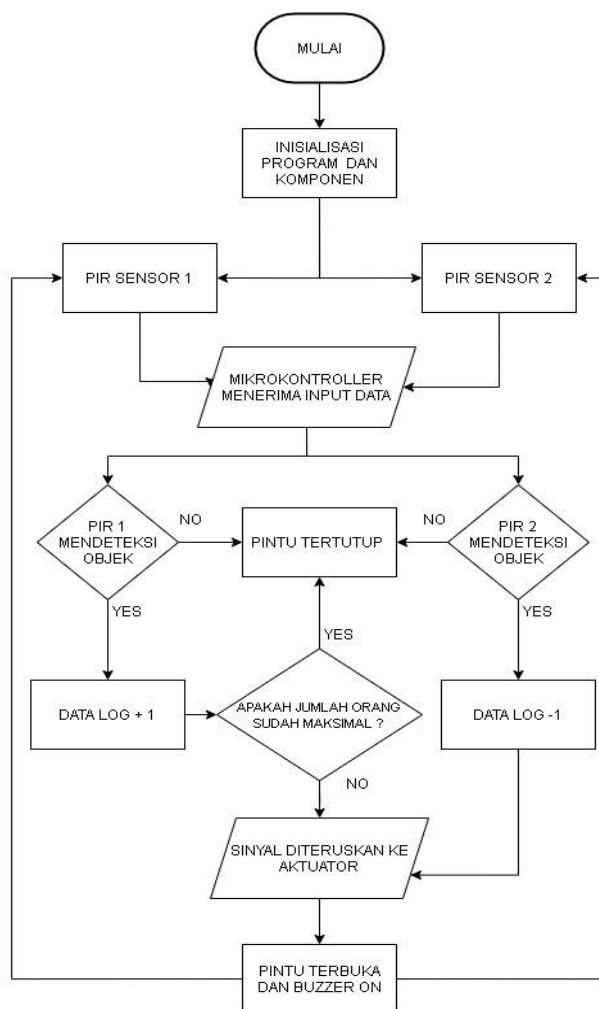
Gambar 13. Design model 3D TN-7 dengan *Sketchup*



Gambar 14. Design Tampak Atas TN-7 dengan *Sketchup*

2. Sistem Kendali Pintu Otomatis

Berikut adalah *flow chart* dari sistem otomasi kendali pintu otomatis.



Gambar 15. Skema flow chart sistem kendali pintu otomatis

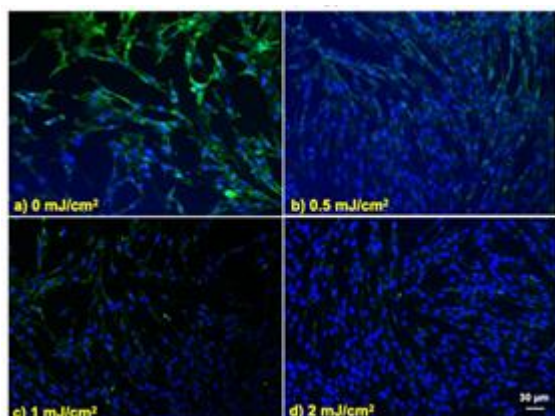
Sistem kendali pintu otomatis bertujuan untuk membatasi jumlah orang dalam ruang kelas TN-7 dan mencegah penyebaran virus melalui droplet pada gagang pintu jika disentuh. Sistem ini menggunakan dua sensor PIR, mikrokontroler Arduino UNO, *buzzer*, dan aktuator motor servo. Satu buah sensor PIR diletakkan di luar kelas untuk mendeteksi orang yang akan masuk kelas dan satu buah sensor PIR diletakkan di dalam kelas untuk mendeteksi orang yang akan keluar kelas. Cara kerja dari sensor PIR yaitu ketika ada makhluk hidup (manusia) tepat berada di depan sensor PIR dan tidak melakukan gerakan, maka sensor PIR akan menghitung panjang gelombang yang dihasilkan oleh tubuh manusia dengan hasil yang konstan. Ini menyebabkan energi panas yang dihasilkan akan digambarkan hampir sama dengan kondisi lingkungan di sekitarnya. Akan tetapi ketika manusia melakukan gerakan,

maka tubuh manusia itu akan menghasilkan pancaran sinar inframerah pasif dengan panjang gelombang yang bervariasi sehingga menghasilkan panas yang berbeda dan akan ditangkap oleh sensor PIR sebagai sinyal *output HIGH*. Sensor PIR ini memiliki kemampuan mendeteksi objek dengan jarak maksimal 8 meter dan jangkauan sudut 360° [26].

Sistem kendali pintu otomatis ini bekerja dengan 3 kondisi yaitu pada kondisi pertama kedua sensor tidak mendeteksi gerakan manusia maka sinyal *output* dari sensor PIR akan berlogika *low* sehingga aktuator motor servo tidak menerima sinyal *input* dan pintu akan tertutup. Pada kondisi kedua ketika ada orang yang akan masuk ke ruangan kelas maka sensor PIR 1 akan mendeteksi gerakan dan memberikan sinyal *output high* pada mikrokontroler. Kemudian mikrokontroler akan menghitung jumlah orang pada sistem dengan data log+1, jika jumlah orang yang ada di kelas ditambah satu orang yang akan masuk masih memenuhi kapasitas orang yang disediakan, maka sinyal akan diteruskan ke motor servo untuk membuka pintu dan *buzzer* akan menyala sebagai indikatornya. Keadaan sebaliknya jika jumlah orang yang ada di kelas ditambah satu orang yang akan masuk sudah penuh dan tidak memenuhi kapasitas orang yang disediakan, maka sinyal tidak akan diteruskan ke motor servo dan pintu akan tertutup. Pada kondisi terakhir ketika ada orang yang akan keluar dari ruangan kelas maka sensor PIR 2 akan mendeteksi gerakan dan memberikan sinyal *output high* ke mikrokontroler. Kemudian mikrokontroler akan menghitung jumlah orang dalam sistem dengan data log-1 dan meneruskan sinyal ke aktuator motor servo untuk membuka pintu. Kapasitas kelas maksimal yang disediakan pada sistem ini yaitu dengan mengurangi jumlah orang menjadi 50 % dari kapasitas biasanya. Hal ini dilakukan untuk keperluan jaga jarak dan tidak berkerumun.

3. Sistem Kendali Sterilisasi dengan Far-UVC 222 nm

Penelitian yang dilakukan oleh Manuela Buonanno, David Welch, Igor Shuryak, dan David J. Brenner (2020) menguji infeksi sel paru-paru fibroblast manusia oleh aerosol alfa HCoV-229E, beta HCoV-OC43, dan influenza A (H1N1) yang diiradiasi menggunakan dosis tertentu Far-UVC 222 nm. Hasil penelitian ditunjukkan pada gambar fluoresensi representasi dari MRC-5 fibroblast paru-paru manusia normal yang terinfeksi melalui paparan dalam bentuk aerosol. Bagian berwarna hijau secara kualitatif menunjukkan sel yang terinfeksi. Masing-masing percobaan menggunakan dosis paparan Far-UVC sebesar 0 mJ/cm², 0,5 mJ/cm², 1 mJ/cm², dan 2 mJ/cm². **Gambar 16** menunjukkan hasil percobaan infeksi sel manusia menggunakan beta HCoV-OC43 yang berasal dari genus beta coronavirus layaknya SARS-CoV-2. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disusun tabel estimasi nilai (konstanta tingkat inaktivasi atau *susceptibility factor*), nilai D₉₀, D₉₉, dan D_{99,9} (dosis sinar untuk inaktivasi 90%, 99%, dan 99,9% virus) pada pemaparan 222 nm Far-UVC [10].



Gambar 15. Fuoresensi Fibroblast Terinfeksi beta HCoV-OC43 [10]

Species	k (cm ² /mJ)	D_{90} (mJ/cm ²)	D_{99} (mJ/cm ²)	$D_{99.9}$ (mJ/cm ²)
HCoV-229E	4.1	0.56	1.1	1.7
HCoV-OC43	5.9	0.39	0.78	1.2
Influenza A (H1N1)*†	1.8	1.3	2.6	3.8

Tabel 2 Dosis Penyinaran untuk Inaktivasi Virus [10]

Penelitian lain dilakukan oleh Hiroki Kitagawa, Thoshihito Nomura, Tanuza Nazmul, Keitaro Omori, Norifumi Shigemoto, Takemasa Sakaguchi, dan Hiroki Ohge menggunakan sel VeroE6/TMPRSS2 yang mengekspresikan TMPRSS2 manusia yang dipropagasikan dalam minimum esensial medium elang yang dimodifikasi, ditambah dengan 10% serum janin anak sapi dan streptomisin. Sel dikultur pada suhu dalam . Sel Vero6/TMPRSS2 terinfeksi virus dan diinkubasi. Ketika efek sitopatik berkembang sepenuhnya, supernatant kultur dipanen dan disaring menggunakan 0,45 mm filter. Selanjutnya dilakukan desinfeksi menggunakan UV 222 nm untuk 10, 30, 60, dan 300 detik. Intensitas sinar yang mencapai permukaan sel diukur sebesar . **Tabel 3** menunjukkan hasil dari percobaan ini. Fraksi virus yang tereduksi setelah penyinaran dihitung menggunakan persamaan [27].

$$Fr(\%) = \left(1 - \frac{1}{10^{\text{Log reduction}}}\right) \times 100\%$$

	UVC irradiation time				
	Control	10 seconds	30 seconds	60 seconds	300 seconds
Mean viable SARS-CoV-2 (TCID ₅₀ /mL) (SD)	2.05 ± 1.21 × 10 ⁴	2.34 ± 0.86 × 10 ³	6.32 ± 0.0 × 10 ¹	6.32 ± 0.0 × 10 ¹	6.32 ± 0.0 × 10 ¹
Log reduction		0.94	2.51	2.51	2.51
Mean SARS-CoV-2 RNA* (copies/test) (SD)	2.12 ± 0.27 × 10 ⁷	5.75 ± 0.82 × 10 ⁷	3.41 ± 1.08 × 10 ⁷	2.95 ± 0.41 × 10 ⁷	3.03 ± 1.73 × 10 ⁷

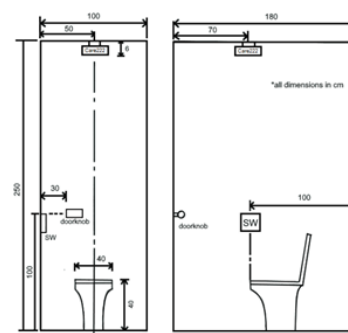
Tabel 3 Efficacy dari UVC 222 nm dalam mereduksi viable SARS-CoV-2 [27]

Berdasarkan hasil percobaan pertama, dapat diketahui bahwa inaktivasi beta HCoV-OC43 sebesar dapat tercapai dengan dosis penyinaran $D_{99.9} = 1,2 \text{ mJ/cm}^2$. Sementara berdasarkan hasil percobaan kedua, dapat dicapai reduksi virus sebanyak 99,69% dengan waktu penyinaran 30 detik hingga 300 detik. Dosis penyinaran dapat dihitung menggunakan persamaan

$$D = I t$$

Di mana D merupakan variable yang mewakili besarnya dosis penyinaran (mJ/cm²), I adalah variable untuk menyatakan besarnya intensitas penyinaran (mW/cm²), dan t menyatakan besaran waktu (s). Sehingga dosis penyinaran untuk mereduksi 99,69% virus adalah sebesar 3 mJ/cm² hingga 30 mJ/cm².

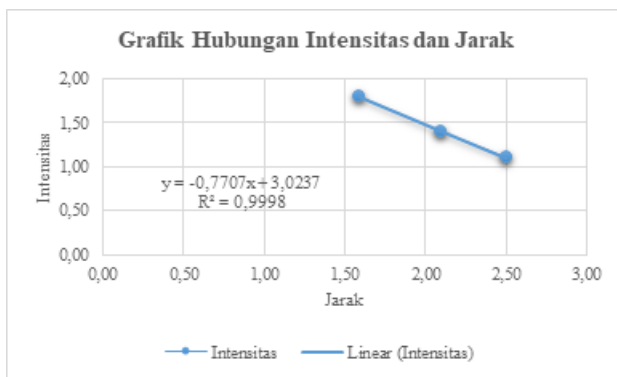
White paper yang diterbitkan Uchio America, Inc. memberikan gambaran intensitas penyinaran pada titik ukur dengan jarak tertentu dari sumber sinar UVC 222 nm. Pengukuran dilakukan pada ruangan seperti pada **Gambar 16**. Terdapat tiga titik pengukuran intensitas cahaya yakni pada lantai,udukan toilet, dan knob pintu. Masing-masing titik berjarak 2,5 m ; 2,1 m ; dan 1,59 m dari penempatan lampu Far-UVC 222 nm. Hasil percobaan dan kurva linearitas diberikan pada **Tabel 4** dan **Gambar 17** [28].



Gambar 16. Dimensi Ruangannya Pengukuran

Titik Pengukuran	Jarak Titik (m)	Intensitas ($\mu\text{W/cm}^2$)
Lantai	2,50	1,10
Dudukan Toilet	2,10	1,40
Knob Pintu	1,59	1,80

Tabel 4. Hasil Pengukuran Intensitas Penyinaran UV di Setiap Titik



Gambar 17. Grafik Hubungan Linear Jarak dan Intensitas Penyinaran

Berdasarkan data hasil pengukuran, dapat diketahui bahwa intensitas sinar UV ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) memiliki hubungan yang linier dengan jarak (m) dengan nilai $R^2 = 0,9998$ dan dengan persamaan linearitas

$$y = -0,7707x + 3,0237$$

Di mana merupakan besar intensitas cahaya ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) dan merupakan jarak titik ke posisi sinar UV (m). Berdasarkan persamaan linearitas tersebut, dapat diketahui bahwa jarak terjauh yang dapat dicapai oleh sinar UV yang dipancarkan modul Care222 berkisar 3,8 m. Dengan mengasumsikan bahwa jarak terjauh yang dicapai oleh sebuah modul UV 222 nm adalah 2,5 m dan dosis penyinaran yang diharapkan untuk setiap kali dilakukan sterilisasi adalah 3 mJ/cm^2 , maka dapat ditentukan durasi penyinaran dengan persamaan

$$t = D/I$$

Konfigurasi UV pada ruangan selanjutnya disesuaikan supaya jarak pancaran maksimal sejauh 2,5 m. Waktu penyinaran yang diperlukan supaya dapat terpenuhi dosis 3 mJ/cm^2 untuk setiap kali dilakukan sterilisasi adalah 275 detik.

Berdasarkan metode *contact tracing* pasien terinfeksi SARS-CoV-2 oleh WHO, seorang yang melakukan kontak didefinisikan berada dalam radius satu meter dari pasien terinfeksi SARS-CoV-2 dalam rentang waktu lebih dari 15 menit [29]. Oleh karena itu perlu dilakukan pemutusan kontak secara berkala pada kumpulan orang yang ada di dalam suatu ruang. Pemutusan kontak dapat dilakukan melalui pembatasan waktu berkumpul atau desinfeksi berkala. Pembatasan waktu akan sulit dilakukan pada kegiatan belajar mengajar, sehingga diperlukan desinfeksi berkala ruang kelas untuk mencegah terjadinya penularan infeksi virus.

Metode desinfeksi yang digunakan menggunakan modul Care222 yang memancarkan gelombang UVC dengan panjang 222 nm. Merujuk pada riset yang dilakukan Manuela Buonanno, et al, memberikan hasil bahwa cahaya dalam rentang 220 nm – 222 nm tidak dapat menembus sitoplasma sel mamalia serta semua jaringan dengan stratum corneum. Hal tersebut mengakibatkan amat sedikit kerusakan yang ditimbulkan karena limitasi kemampuan penetrasi pada sampel biologis namun dapat melintasi mikroba yang ukurannya jauh lebih kecil ($< 1\mu\text{m}$) daripada sel mamalia pada umumnya (diameter $10\mu\text{m} - 25\mu\text{m}$) [30]. Oleh karena itu, desinfeksi menggunakan Far-UVC 222 nm dapat dilakukan secara berkala selama 275 detik tanpa mengganggu aktivitas di dalam ruangan.

Periode penyinaran diatur menggunakan IC Timer 555 setiap 15 menit dengan waktu penyinaran yang diatur melalui kontroler selama 275 detik. Pengaturan tata letak modul Far-UVC Care222 dilakukan supaya setiap bagian dari ruang kelas memperoleh pancaran sinar sedikitnya dan ditunjukkan pada **Gambar 18**.

Setelah membuat model 3D, menentukan lama periode penyinaran dan waktu penyinaran, dan tata letak modul Far-UVC 222 nm, langkah selanjutnya adalah simulasi dengan bantuan *software Dialux*. Lampu yang digunakan adalah 274 95 60 SUPERNOVA 65 FDH buatan *Delta Light* dengan *photometric data* :

$$\text{Luminaire luminous flux} = 5240 \text{ lm}$$

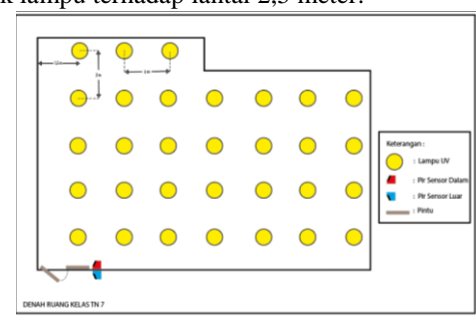
$$\text{Light output ratio} = 59.2 \%$$

$$\text{Connected load} = 144.0 \text{ W}$$

$$\text{Luminous efficacy} = 36.4 \text{ lm/W}$$

$$\text{Fitting} = 274 \text{ 95 60 SUPERNOVA 65 FDH} \mid 8850 \text{ lm} \mid 4000 \text{ K} \mid 15.0 \text{ W} \mid$$

Lampu yang digunakan untuk sistem ini adalah UVC 222 nm, dikarenakan keterbatasan *plugin* pada *Dialux* yang tidak menyediakan lampu UVC 222 nm, maka dilakukan pendekatan simulasi menggunakan lampu SUPERNOVA 274 95 60. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui penyebaran cahaya jika jarak antar lampu dibuat 2 meter dan jarak lampu terhadap lantai 2,5 meter.



Gambar 18. Denah 2D Lokasi Peletakan Lampu

Berikut model 3D dengan memasang lampu di dalam kelas TN-7:

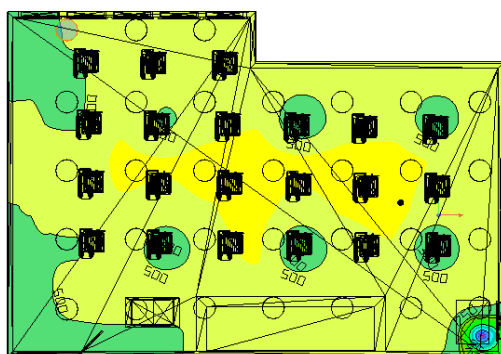


Gambar 19. Model desain 3D TN-7 dengan Dialux



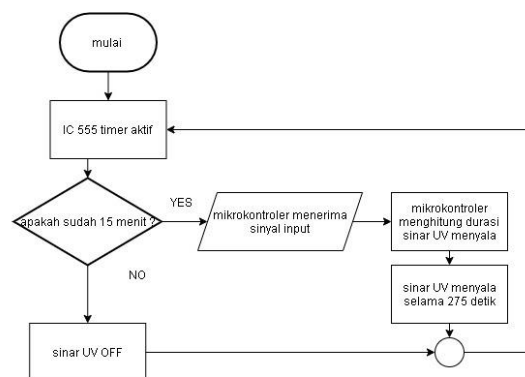
Gambar 20. Model desain 3D TN 7 dengan Dialux

Berikut hasil simulasi persebaran cahaya dengan software Dialux :



Gambar 21. Hasil simulasi persebaran cahaya

Dan berikut ini adalah skema flow chart cara kerja dari sistem kendali sterilisasi ruangan.



Gambar 22. Skema flow chart sistem sterilisasi

V. KESIMPULAN

Perekayasa *smart classroom* dengan sistem otomasi kendali pintu otomatis dan sterilisasi ruangan menggunakan far-UVC 222 nm di ruang kelas TN-7 Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada dirancang tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan dan keaktifan belajar mahasiswa namun juga untuk mencegah atau mengurangi kemungkinan penyebaran COVID-19 di dalam ruang kelas.

Sistem otomasi kendali pintu otomatis berfungsi untuk membatasi jumlah orang dalam ruangan di satu waktu dan mencegah penyebaran virus melalui droplet di permukaan gagang pintu. Sistem ini menggunakan detektor PIR untuk menghitung jumlah orang yang ada di dalam ruangan. Selain itu, sinyal keluaran digital yang dihasilkan sensor PIR diolah oleh kontroler sehingga mampu menjadi variabel masukan yang dapat mengatur kerja aktuator dalam membuka atau menutup pintu.

Sistem otomasi sterilisasi ruangan dengan menggunakan far-UVC 222 nm berfungsi untuk melakukan proses desinfeksi ruang kelas setiap 15 menit sekali dengan durasi penyinaran selama 275 detik. Penyinaran ruang kelas dilakukan menggunakan far-UVC dengan panjang gelombang 222 nm dan dosis lebih dari 3 mJ/cm² pada seluruh permukaan. Dengan demikian dapat diperoleh kondisi inaktivasi virus mencapai 99,69%.

VI. REFERENSI

- [1] C. Huang, Y. Wang, X. Li, I. Ren, J. Zhao, Y. Hu, "Clinical Features of Patients Infected With 2019 Novel Coronavirus in Wuhan, China," pp. 497–506, 2020.
- [2] "Coronavirus disease (COVID-19)," *World Health Organization*, 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>. [Accessed: 17-Dec-2020].

- [3] "Coronavirus Cases," *Worldometer*, 2020. [Online]. Available: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>. [Accessed: 16-Dec-2020].
- [4] S. Li, Y. Wang, J. Xue, N. Zhao, T. Zhu, "The impact of COVID-19 epidemic declaration on psychological consequences: a study on active weibo users," *Health*, vol. 17, pp. 2032–2040, 2020.
- [5] J. Z. Tria, "The COVID-19 Pandemic through the Lens of Education in the Philippines: The New Normal," *International Journal of Pedagogical Development and Lifelong Learning*, vol. 1, p. 1, 2020.
- [6] J. MacLeod, H. H. Yang, S. Zhu and Y. Li, "Understanding students' preferences toward the smart classroom learning environment: Development and validation of an instrument," *Computers & Education*, no. 122, pp. 80-91, 2018.
- [7] *Centers for Disease Control and Prevention*, 2020. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/about/transmission.html>. [Accessed: 16-Dec-2020].
- [8] N. V. Doremalen, T. Bushmaker, D. H. Morris, M. G. Holbrook, A. Gamble, B. N. Williamson, A. Tamin, J. L. Harcourt, N. J. Thornburg, S. I. Gerber, J. O. Lloyd-Smith, E. D. Wit, and V. J. Munster, "Aerosol and surface stability of HCoV-19 (SARS-CoV-2) compared to SARS-CoV-1," 2020.
- [9] "REHVA COVID-19 guidance document, April 3, 2020," 2020. [Online]. Available: https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_ver2_20200403_1.pdf. [Accessed: 16-Dec-2020].
- [10] M. Buonanno, D. Welch, I. Shuryak and D. J. Brenner, "Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses," *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, 2020.
- [11] V. Thonti, "Basic Working Principle of Relay - Construction and Types," *Circuit Digest*, 17-Nov-2020. [Online]. Available: <https://circuitdigest.com/article/relay-working-types-operation-applications>. [Accessed: 17-Dec-2020].
- [12] J. Johnson, "What Are Normally Closed Relays," *Amperite*, 6 May 2019. [Online]. Available: <https://amperite.com/blog/normally-closed-relays/#:~:text=Normally%20open%20relay%3A%20Normally%20open,allowing%20power%20to%20flow%20through>. [Accessed 17 December 2020].
- [13] "Electrical Relay," *Electrical Relay Manufacturers, Suppliers & Exporters*. [Online]. Available: <https://www.tradeindia.com/manufacturers/electrical-relays.html>. [Accessed: 18-Dec-2020].
- [14] B. Tornberg, "What's the difference between UV-C and Far-UVC?," *Lighting Insights*, 8 September 2020. [Online]. Available: <https://insights.regencylighting.com/uv-c-vs-faruv-c>. [Accessed 17 December 2020].
- [15] J. Wallace, "UV Sterilization: Far-UVC light kills airborne flu viruses without danger to humans," *Laser Focus World*, 1 April 2018. [Online]. Available: <https://www.laserfocusworld.com/lasers-sources/article/16555364/uv-sterilization-faruv-c-light-kills-airborne-flu-viruses-without-danger-to-humans>. [Accessed 17 December 2020].
- [16] D. Welch, M. Buonanno, V. Grilj, I. Shuryak, C. Crickmore, A. W. Bigelow, G. Randers-Pehrson, G. W. Johnson and D. J. Brenner, "Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases," *Scientific Reports*, vol. 8, no. 2752, 2018.
- [17] "Ushio Care222® Filtered Far UV-C Disinfection Technology." [Online]. Available: <https://www.ushio.eu/care222-uv-disinfection/>. [Accessed: 17-Dec-2020].
- [18] A. WIn, C. MyatNwe and KyawZinLatt, "RFID Based Automated Toll Plaza System," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 4, no. 6, 2014.
- [19] *NA555, NE555, SA555, SE555 Precision Timers Datasheet*, Jun-2006. [Online]. Available: <https://datasheet.octopart.com/NE555P-Texas-Instruments-datasheet-7284017.pdf>. [Accessed: 17-Dec-2020].
- [20] "HC-SR501 PIR Sensor," *Components101*. [Online]. Available: <https://components101.com/hc-sr501-pir-sensor>. [Accessed: 16-Dec-2020].
- [21] Desmira, D. Aribowo, W. D. Nugroho, and Sutarti, "Penerapan Sensor Passive Infrared (PIR) Pada Pintu Otomatis di PT. LG Electronic Indonesia," *PROSISKO*, vol. 7, pp. 1–7, Mar. 2020.
- H. Kitagawa, T. Nomura, T. Nazmul, K. Otori, N. Shigemoto, T. Sakaguchi and H. Ohge, "Effectiveness of 222-nm ultraviolet light on disinfecting SARS-CoV-2 surface contamination," *American Journal of Infection Control*, pp. 1-3, 2020.
- [22] "SERVO MOTOR SG90 DATA SHEET - Instructables." [Online]. Available:

<https://content.instructables.com/ORIG/FH6/PVZJ/KGUU9I4B/FH6PVZJKGUU9I4B.pdf>. [Accessed: 16-Dec-2020].

[23] H. Ahmad, and M. Saiful, "Pemanfaatan Motor Servo Sebagai Penggerak CCTV Untuk Melihat Alat-Alat Monitor dan Kondisi Pasien di Ruang ICU" Gema Teknologi, vol. 17, no. 2, pp.95-99, 2012.

[24] "ARDUINO UNO REV3 Arduino - Distributors, Price Comparison, and Datasheets: Octopart component search," Octopart, 2020. [Online]. Available: <https://octopart.com/arduino-uno-rev3-arduino-27999717>. [Accessed: 16-Dec-2020].

[25] Purnamasari, Widya and R. Wijaya, "Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Sensor Getaran dengan Output Suara Berbasis PC," *Jurnal Mantik Penusa*, vol. 21, no. 1, 2017.

[26] Pristianto, Eko Joni, Yusuf Nur Wijayanto, Dayat Kurniawan, Budi Prawara, and Hana Arisesa. "Sistem Kendali Alat Sterilisasi Ruangan Menggunakan Lampu UVC254 Nm Dengan Android." In *SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)*, vol. 2, pp. 9-15. 2020.

[27] H. Kitagawa, T. Nomura, T. Nazmul, K. Omori, N. Shigemoto, T. Sakaguchi, and H. Ohge, "Effectiveness of 222-nm ultraviolet light on disinfecting SARS-CoV-2 surface contamination," *American Journal of Infection Control*, pp. 1–3, 2020.

[28] "Home," *Ushio America, Inc.*, 21-Sep-2020. [Online]. Available: <https://www.ushio.com/product/care222-filtered-far-uv-c-excimer-lamp-module/>. [Accessed: 18-Dec-2020].

[29] "Contact tracing in the context of COVID -19." [Online]. Available: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332049/WHO-2019-nCoV-Contact_Tracing-2020.1-eng.pdf. [Accessed: 18-Dec-2020].

[30] "Germicidal Efficacy and Mammalian Skin Safety of 222-nm UV ...," 22-Feb-2017. [Online]. Available: <http://www.columbia.edu/~djb3/papers/Germicidal%20Efficacy%20and%20Mammalian%20Skin%20Safety%20of%20222-nm%20UV%20Light.pdf>. [Accessed: 18-Dec-2020].