

## KENDALI PAPARAN UVB BERBASIS ARDUINO UNTUK APLIKASI LABORATORIUM

Muhamad Nurussyaifullah

Teknik Informatika, Universitas Indraprasta PGRI  
nuruss@gmail.com

*Submitted December 24, 2026; Revised April 1, 2026; Accepted April 5, 2026*

### Abstrak

Paparan sinar ultraviolet jenis UVB telah banyak dimanfaatkan dalam aplikasi penelitian laboratorium. Penelitian ini mengembangkan sistem kontrol paparan sinar UVB berbasis Arduino Nano dengan menggunakan LED yang memiliki panjang gelombang 310 nm sebagai sumber radiasi. Sistem dirancang untuk memberikan dosis paparan yang presisi dan terkendali melalui antarmuka pengguna dengan LCD 16x2 dan tombol *input*. Rangkaian elektronik meliputi *driver* LED, *relay* kontrol daya, *buzzer* notifikasi, dan *power supply* yang terintegrasi dalam *casing portable*. Alat ini dapat mengatur dosis dalam satuan mili Joule dengan jarak antar LED 5 cm dan irradiansi 0.2 mW/cm<sup>2</sup>. Pengujian fungsionalitas menunjukkan bahwa sistem berhasil mengontrol waktu paparan sesuai dengan dosis yang diinginkan dengan rentang akurasi sebesar 96-97%. Hasil penelitian ini menghasilkan alat UVB *chamber portabel* yang efisien, mudah digunakan, dan dapat diterapkan di laboratorium.

**Kata Kunci:** UVB LED, Arduino, sistem kontrol, fototerapi, dosis radiasi

### Abstract

*Ultraviolet type B (UVB) radiation has been widely utilized in laboratory research applications. This research develops an Arduino Nano-based UVB radiation control system using 310 nm LED as the radiation source. The system is designed to provide precise and controlled exposure dosage through a user interface with a 16x2 LCD display and push buttons. Electronic circuits include LED driver, power control relay, notification buzzer, and integrated power supply in a portable casing. The device can adjust the dosage in mili Joule units with inter-LED spacing of 5 cm and irradiance of 0.2 mW/cm<sup>2</sup>. Functionality testing shows that the system successfully controls exposure time according to the desired dosage with accuracy of 96-97%. This research results in a portable and efficient UVB chamber tool that is easy to use and can be applied in laboratories.*

**Keywords:** UVB LED, Arduino, control system, phototherapy, radiation dosage

## 1. PENDAHULUAN

Radiasi ultraviolet (UV) merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik dengan panjang gelombang 100–400 nm, dibagi menjadi tiga kategori: UVA (320–400 nm), UVB (280–320 nm), dan UVC (100–280 nm)[1][2][3]. Di antara ketiga jenis tersebut, UVB memiliki peran penting dalam berbagai aplikasi kesehatan dan penelitian ilmiah, khususnya dalam bidang fototerapi dan penelitian tentang penuaan sel[4][5]. Selain itu paparan UVB telah terbukti efektif dalam pengobatan berbagai penyakit kulit seperti psoriasis, vitiligo, dan

dermatitis atopik melalui mekanisme modulasi sistem imun dan stimulasi regenerasi sel kulit [6][7][8].

Dalam implementasinya, penggunaan UVB *chamber* di laboratorium maupun fasilitas medis memerlukan sistem kendali yang mampu mengatur dosis paparan secara presisi. Dosis UVB yang tidak terkontrol dapat menyebabkan efek samping, seperti eritema atau kerusakan jaringan, sehingga akurasi pengaturan waktu dan intensitas menjadi aspek yang sangat krusial [8][9]. Pada umumnya, sistem konvensional masih menggunakan lampu UV berbasis uap

merkuri yang memiliki beberapa kelemahan, antara lain konsumsi energi yang tinggi, waktu pemanasan yang relatif lama, serta potensi bahaya terhadap lingkungan akibat kandungan bahan beracun.

Seiring dengan perkembangan teknologi semikonduktor, LED UVB berdaya tinggi mulai banyak dikembangkan sebagai alternatif sumber radiasi. Teknologi ini menawarkan berbagai keunggulan, seperti efisiensi energi yang lebih baik, umur pakai yang lebih panjang, ukuran yang lebih kompak, serta kemampuan untuk dikontrol secara lebih presisi dibandingkan lampu konvensional [6][8][10–12]. Selain itu, LED UVB memungkinkan implementasi sistem kendali berbasis elektronik yang lebih fleksibel, terutama dalam pengaturan dosis paparan yang berbasis waktu dan intensitas.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan perangkat fototerapi berbasis narrowband UVB (NB-UVB) 311 nm, termasuk sistem portabel dengan fitur pengaturan jarak dan timer, serta sistem iradiasi UVB untuk keperluan penelitian biologis [9][13–15]. Meskipun demikian, sebagian besar sistem tersebut masih memiliki keterbatasan dalam hal pengaturan dosis paparan secara langsung, karena kontrol yang digunakan umumnya hanya berbasis waktu tanpa mempertimbangkan hubungan kuantitatif antara irradiansi dan dosis. Hal ini menjadi kendala dalam menghasilkan paparan yang konsisten dan terukur, terutama untuk kebutuhan penelitian yang menuntut *reproducibility* tinggi. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kendali paparan UVB berbasis mikrokontroler yang mampu mengatur dosis secara lebih akurat. Sistem yang diusulkan menggunakan sumber LED UVB dengan panjang gelombang 310 nm dan dikendalikan oleh Arduino Nano

sebagai unit pemrosesan utama. Sistem dilengkapi dengan fitur pengaturan dosis berbasis *input* pengguna, tampilan LCD sebagai antarmuka visual, serta modul *relay* untuk mengontrol daya pada LED UVB. Dalam sistem ini, nilai dosis yang dimasukkan pengguna akan dikonversi menjadi durasi waktu paparan berdasarkan hubungan antara dosis dan irradiansi, sehingga memungkinkan kontrol paparan yang lebih terukur dan sistematis. Pemanfaatan platform Arduino dalam penelitian ini didasarkan pada keunggulannya sebagai sistem *open-source* yang mudah diprogram, fleksibel, dan memiliki biaya implementasi yang relatif rendah. Selain itu, Arduino mendukung pengembangan sistem kontrol *real-time* dengan integrasi berbagai modul *input-output*, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi instrumentasi berbasis mikrokontroler [9][10][16][17].

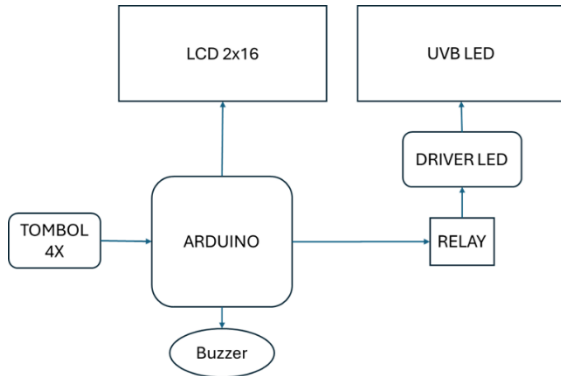
Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan alat UVB *chamber* yang lebih efisien, ekonomis, dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam pengaturan dosis paparan. Selain itu, sistem yang dikembangkan juga berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut ke arah integrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk monitoring dan kontrol jarak jauh, sehingga dapat meningkatkan fleksibilitas dan skalabilitas penggunaan di masa mendatang [16][18].

## 2. METODE PENELITIAN

### Rancangan Sistem

Penelitian ini mengembangkan sistem kendali paparan UVB berbasis mikrokontroler dengan pendekatan *embedded system*. Sistem dirancang menggunakan Arduino Nano sebagai pusat kendali yang terintegrasi dengan modul pengontrol daya, antarmuka pengguna, serta sistem notifikasi. Desain sistem mengadopsi konsep modular guna

meningkatkan fleksibilitas integrasi, kemudahan perawatan, dan *troubleshooting*. Blok diagram sistem untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Secara umum, sistem terdiri dari beberapa subsistem utama, yaitu mikrokontroler, sumber radiasi UVB, pengontrol daya LED, antarmuka pengguna, serta output notifikasi. Mikrokontroler Arduino Nano berfungsi sebagai unit pemrosesan utama dengan frekuensi clock 16 MHz yang menjalankan firmware untuk mengatur seluruh proses sistem. Sumber radiasi menggunakan *array* LED UVB dengan panjang gelombang 310 nm yang menghasilkan irradiansi sebesar 0.2 mW/cm<sup>2</sup> pada jarak 15 cm. Pengontrol daya LED menggunakan kombinasi *buck converter* untuk regulasi arus dan modul *relay* sebagai *switching* daya. Antarmuka pengguna terdiri dari LCD 16×2 karakter dan empat tombol *input* untuk pengaturan sistem, sedangkan *buzzer* digunakan sebagai indikator akhir paparan.

### Komponen Elektronik

Komponen elektronik yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Arduino Nano berbasis ATmega328P sebagai pengendali utama, LED UVB 310 nm sebagai sumber radiasi, *driver* LED sebagai pengatur arus, *relay module* untuk kendali daya, LCD sebagai media tampilan, *push button* sebagai *input* pengguna, *power supply* sebagai sumber tenaga, serta *buzzer* sebagai

indikator audio. Seluruh komponen dipilih berdasarkan spesifikasi teknis yang mendukung kestabilan sistem dan akurasi pengendalian dosis UVB. Komponen penyusun alat UVB dapat dilihat dengan jelas pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen Penyusun alat UVB

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
Arduino Nano	Microcontroller Atmega 328P, 5V, 14 digital I/O, 6 analog input	Kontrol logika dan proses input/output
LED UVB 310 nm	Wavelength 310±10 nm, Forward Voltage 5-6V, Pmax 0.5W	Sumber radiasi UVB
Driver LED	Tegangan input 5-40V DC, Output 1.25-30V DC, Arus max 8A	Pengontrol arus LED dengan regulasi arus
Relay Module	1-channel 5V 30A, coil voltage 5V	Kendali daya AC/DC untuk LED
LCD Display	16x2 karakter, 5V	Tampilan dosis dan status sistem
Push Button	2 pin, momentary switch, 10x10 mm	Input pengguna untuk pengaturan dosis
Power Supply	AC 220V to DC 12V 3A dan 36V 2 A	Sumber daya utama sistem
Buzzer	5V active buzzer, 85 dB, 2.3 kHz	Notifikasi akhir paparan

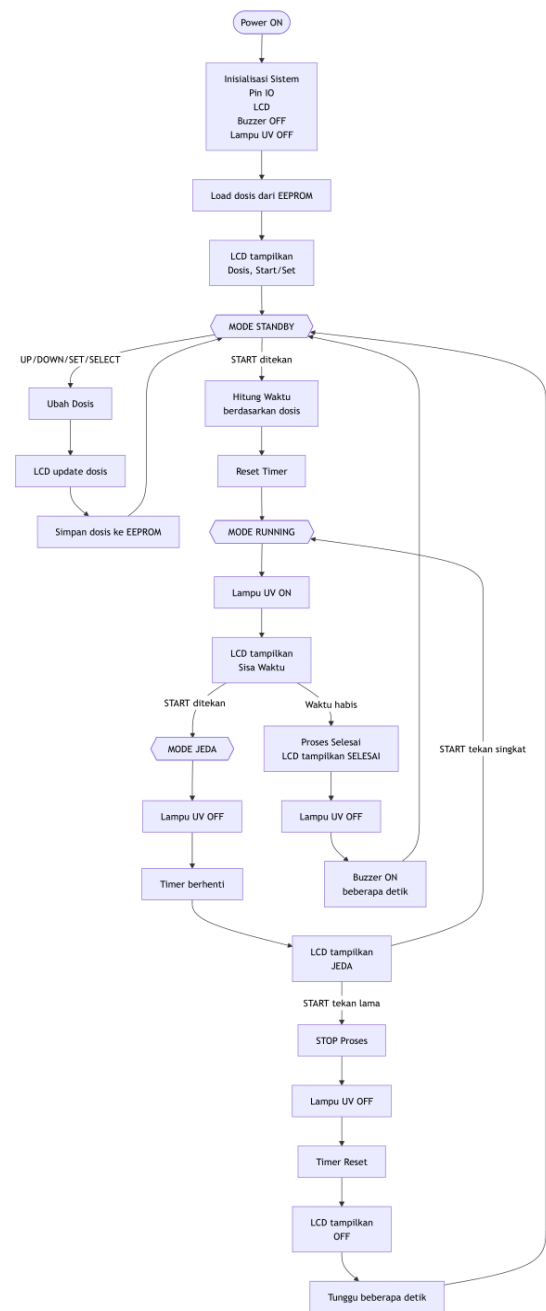
### Skematik Rangkaian

Perancangan rangkaian elektronik dilakukan dengan mempertimbangkan aspek keselamatan, efisiensi, dan keandalan sistem. Sistem dilengkapi dengan diode *flyback* pada *relay* untuk melindungi rangkaian dari tegangan induksi balik serta kapasitor filter pada sumber daya untuk mengurangi *noise*.

Koneksi utama sistem meliputi *input* digital dari empat *push button* yang terhubung ke *pin* analog Arduino (A1–A4), koneksi LCD dalam mode 4-bit pada *pin* digital (4–9), serta pengendalian *relay* melalui *pin* A5 dengan tambahan transistor sebagai penguat sinyal. *Buzzer* dihubungkan pada *pin* digital 12 sebagai *output* notifikasi dengan menghasilkan suara pada saat paparan telah berakhir.

### Flowchart Sistem

*Flowchart* sistem menggambarkan alur kerja program mulai dari inisialisasi sistem, proses input dosis, perhitungan waktu paparan, hingga eksekusi penyinaran UVB dan notifikasi akhir. Diagram ini digunakan sebagai acuan dalam pengembangan *firmware* agar alur logika sistem berjalan secara terstruktur dan sistematis. *Flowchart* sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



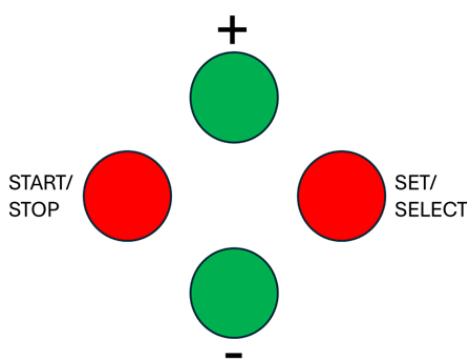
Gambar 2. Flowchart

### Firmware Arduino

*Firmware* pada sistem kendali paparan UVB dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++ yang disusun secara modular untuk meningkatkan keterbacaan, fleksibilitas, dan kemudahan pengembangan. Pada tahap awal, sistem melakukan proses inisialisasi

yang meliputi konfigurasi LCD *display*, inisialisasi EEPROM untuk penyimpanan nilai dosis, serta pengaturan *pin input* dan *output* sesuai dengan kebutuhan perangkat keras yang digunakan. Selain itu, variabel-variabel utama yang berkaitan dengan nilai dosis dan waktu paparan juga diinisialisasi untuk memastikan sistem dapat menampilkan informasi secara akurat pada LCD.

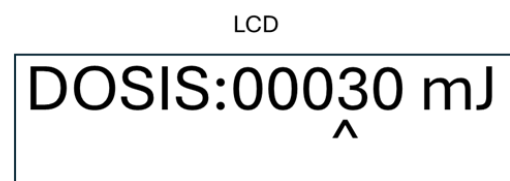
Sistem dirancang memiliki beberapa mode operasional yang bekerja secara terintegrasi dalam satu alur program. Pada kondisi awal, sistem berada dalam mode *standby*, di mana perangkat siap menerima *input* dari pengguna. Ketika pengguna melakukan pengaturan, sistem akan masuk ke mode *setting* untuk menentukan nilai dosis paparan dalam satuan  $\text{mJ}/\text{cm}^2$  melalui tombol *input*. Nilai dosis yang dimasukkan kemudian digunakan untuk menghitung durasi waktu paparan berdasarkan hubungan antara dosis dan irradiansi sumber UVB. Perhitungan ini menjadi dasar dalam mengaktifkan sumber radiasi pada mode *active*, di mana LED UVB akan menyala selama waktu yang telah ditentukan. Pengaturan dosis dengan menggunakan tombol-tombol yang ada di Gambar 3.



Gambar 3. Tombol antar muka

Selama proses penyinaran berlangsung, sistem juga menyediakan fitur *pause* dan *resume* yang memungkinkan pengguna untuk menghentikan sementara paparan tanpa menghilangkan data waktu yang tersisa. Selain itu, sistem dilengkapi dengan

mekanisme penghentian total (*stop*) yang dapat diaktifkan melalui penekanan tombol dalam durasi tertentu untuk mengembalikan sistem ke kondisi awal. Seluruh proses dikontrol secara *real-time* oleh mikrokontroler sehingga sinkronisasi antara input pengguna, tampilan LCD (Gambar 4.), dan output sistem dapat berjalan dengan baik. Implementasi *firmware* ini memastikan bahwa sistem mampu mengontrol durasi paparan UVB secara akurat dan responsif sesuai dengan nilai dosis yang diatur.



Gambar 4. Tampilan Lcd pada Mode Pengaturan Dosis

### Metode Pengujian

Metode pengujian dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem kendali paparan UVB secara menyeluruh, meliputi aspek fungsionalitas, akurasi, dan stabilitas operasional. Pengujian dimulai dengan verifikasi fungsi dasar sistem untuk memastikan seluruh mode operasional, yaitu *standby*, *setting*, *active*, *pause*, dan *stop*, dapat berjalan sesuai dengan rancangan. Selain itu, responsivitas tombol input juga diuji untuk memastikan sistem mampu merespons perintah pengguna dalam waktu yang cepat dan konsisten. Akurasi tampilan LCD turut diamati dengan membandingkan nilai dosis dan waktu yang ditampilkan terhadap nilai perhitungan teoritis.

Pengujian akurasi sistem dilakukan dengan membandingkan waktu paparan yang dihitung oleh sistem dengan waktu aktual yang diukur menggunakan alat UVB. Selisih antara kedua nilai tersebut dianalisis untuk menentukan tingkat akurasi sistem dalam mengontrol durasi penyinaran.

Mengingat dosis UVB merupakan fungsi langsung dari waktu dan irradiansi, maka evaluasi akurasi waktu juga merepresentasikan akurasi dosis yang dihasilkan oleh sistem. Dengan menggunakan nilai irradiansi konstan sebesar  $0.2 \text{ mW/cm}^2$ , dosis aktual dihitung berdasarkan waktu paparan yang terukur untuk melihat kesesuaian antara nilai teoritis dan hasil eksperimen.

Selain itu, pengujian stabilitas termal dilakukan dengan memonitor suhu LED UVB dan komponen elektronik lainnya selama sistem beroperasi secara kontinu. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem tetap bekerja dalam batas suhu yang aman dan tidak mengalami penurunan kinerja akibat peningkatan temperatur. Seluruh rangkaian pengujian ini dirancang untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki performa yang andal, akurat, dan stabil dalam mengendalikan paparan UVB sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Implementasi Hardware

Alat UVB chamber berbasis Arduino telah berhasil direalisasikan dengan dimensi  $35 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$  dan massa  $2 \text{ kg}$  dengan menggunakan material PMMA atau sering dikenal dengan akrilik. PMMA atau akrilik banyak digunakan sebagai material enclosure pada sistem LED karena memiliki transmitansi optik yang tinggi dan mampu berfungsi sebagai diffuser untuk meningkatkan homogenitas distribusi cahaya. Selain itu, karakteristik penyerapan terhadap radiasi UV menjadikan material ini berpotensi digunakan untuk mengurangi kebocoran radiasi pada sistem UV berbasis LED [19][20].



Gambar 5. Hasil Alat UVB Chamber

#### Hasil Pengujian Fungsionalitas

Pengujian operasional menunjukkan bahwa semua mode kontrol berfungsi sesuai spesifikasi desain. Respon tombol *input* dicatat dalam rentang 20 milidetik, memastikan *user experience* yang responsif. Akurasi LCD display dalam menampilkan nilai dosis dan *countdown timer* tercatat dengan tingkat akurasi 96-97% (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Pengujian Operasional Alat

No	Dosis ( $\text{mJ/cm}^2$ )	Waktu UVB (detik)	Waktu aktual (detik)	Akurasi (%)
1	2	10	10,4	96
2	4	20	20,6	97
3	6	30	30,9	97
4	12	60	61,8	97
5	24	120	123,6	97
6	36	180	186,3	96,5
7	60	300	312	96

#### Hasil Pengujian Mode Operasional

Hasil pengujian mode operasional menunjukkan cara penggunaan alat sudah sesuai dengan standar operasional yang memperlihatkan keberhasilan dalam menggunakan alat tersebut. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Hasil Pengujian Menu Operasional Alat UVB**

Mode	Kondisi Test	Status	Catatan
Standby	Power ON	✓ OK	LCD menampilkan pilihan start/set
Setting Dosis	Input: 30 mJ	✓ OK	Navigasi cursor smooth, increment ±1 mJ
Active (LED ON)	Dosis 30 mJ	✓ OK	Duration ≈15 detik, irradiansi stabil
Pause/Resume	Tekan START di mode Active	✓ OK	Timer terheda, LED off, dapat dilanjutkan
Stop	Tekan START lama >3s	✓ OK	Reset ke standby

### Pembahasan Hasil

Keberhasilan implementasi sistem kendali paparan UVB berbasis Arduino menunjukkan bahwa platform embedded system open-source dapat diadaptasi untuk aplikasi medis-laboratoris dengan presisi tinggi. Hasil ini konsisten dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa Arduino Nano mampu mengontrol berbagai perangkat elektronik dengan akurasi mikrokontroler grade [15][16][18]. Hasil yang konsisten ini menunjukkan bahwa alat yang dibuat dengan komponen yang lebih ekonomis hasil penelitian ini dapat

digunakan dengan fungsi yang sama dengan alat pabrikan.

Akurasi kontrol waktu paparan merupakan faktor kritis dalam fototerapi UVB, khususnya untuk penelitian yang melibatkan sel biologis atau sampel sensitif[8][11][13]. Oleh sebab itu dalam pembuatan alat dalam harus dibuat seakurat mungkin. Pada penelitian ini menunjukkan hasil yang akurat dengan range 96-97%.

Mode operasional alat yang dihasilkan menunjukkan fleksibel (*pause/resume, dosis adjustable, display real-time*) yang baik. Hal ini memperlihatkan kontrol penuh kepada operator dan meningkatkan *safety* dalam aplikasi klinis. Fitur notifikasi buzzer dan LCD *countdown timer* mengurangi risiko *over-exposure* yang tidak disengaja.

Dibandingkan dengan perangkat UVB chamber komersial yang umumnya memiliki harga yang tinggi antara 45 juta hingga 75 juta rupiah, alat ini dapat dikembangkan dengan total biaya yang jauh lebih murah sekitar 15 juta. Hal ini menjadikan teknologi ini *accessible* untuk institusi pendidikan dan klinik dengan budget terbatas.

### Limitasi dan Konsiderasi Pengembangan

Beberapa limitasi yang teridentifikasi adalah: (1) sistem belum dilengkapi dengan sensor UV *real-time* untuk *feedback* kontrol *loop* tertutup; (2) data thermal stability jangka panjang (>100 jam) belum dilakukan; (3) validasi efektivitas terapeutik pada sampel biologi belum dilakukan. Pengembangan selanjutnya dapat mencakup integrasi UV sensor, konektivitas WiFi untuk *remote* monitoring, dan logging data ke *cloud storage* untuk analisis tren jangka panjang.

## 4. SIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan sistem kendali paparan sinar UVB 310 nm berbasis Arduino Nano

dengan fitur kontrol dosis presisi, antarmuka pengguna yang intuitif, dan portabilitas tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua mode operasional berfungsi sesuai spesifikasi. Alat ini memiliki potensi signifikan untuk diterapkan dalam laboratorium penelitian sebagai alternatif yang lebih efisien dan terjangkau dibandingkan perangkat konvensional.

Kontribusi utama penelitian ini adalah: (1) membuktikan viabilitas Arduino sebagai platform kontrol untuk aplikasi UVB chamber grade laboratoris; (2) menghasilkan desain sistem yang modular dan scalable; (3) menyediakan dokumentasi open-source yang dapat diadopsi dan dikembangkan lebih lanjut oleh komunitas maker dan peneliti.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. dan W. B., "Solar Radiation And Human Health," *Rep. Prog. Phys.*, vol. 74, pp. 1–58, 2011.
- [2] S. A. Hamouda, N. K. Alshawish, Y. K. Abdalla, dan M. K. Ibrahim, "Ultraviolet Radiation: Health Risks and Benefits," *Saudi J. Eng. Technol.*, vol. 6272, pp. 533–541, 2022.
- [3] E. Maverakis, Y. Miyamura, M. P. Bowen, G. Correa, dan H. Goodarzi, "Light, Including Ultraviolet," *Natl. Inst. Heal.*, vol. 34, no. 3, pp. 1–22, 2011.
- [4] K. J. Gromkowska, K. A. Puścion, R. Markiewicz, dan K. J. Gromkowska, "The impact of ultraviolet radiation on skin photoaging — review of in vitro studies," *J. Cosmet. Dermatol.*, vol. 20, pp. 3427–3431, 2021.
- [5] S. A. Umar, "Photophagy: Unveiling a Novel Cellular Mechanism in Induced Skin Aging and Resilience," *Int. J. Dermatol.*, vol. 64, pp. 1774–1777, 2025.
- [6] J. Lee, M. Oh, dan K. Son, "Short-Term Ultraviolet (UV)-A Light-Emitting Diode (LED) Radiation Improves Biomass and Bioactive Compounds of Kale," *Front. Plant Sci.*, vol. 10, pp. 1–13, 2019.
- [7] S. Wunderlich, T. Griffiths, dan F. Baines, "UVB-Emitting LEDs For Reptile Lighting: Identifying The Risks Of Nonsolar UV Spectra," *Zoobiology*, pp. 1–14, 2023.
- [8] M. Pire, S. Caserman, P. Ferk, dan M. Topic, "Compact UV LED Lamp With Low Heat Emissions For Biological Research Applications," *Electronics*, vol. 8, no. 343, pp. 1–18, 2019.
- [9] J. Choi et al., "Construction of a Secondary Enclosure for UVB Irradiation of Mice," *JID Innov.*, vol. 3, no. 100164, pp. 1–5, 2023.
- [10] C. Chen, J. Zhang, C. Wang, Y. Chang, dan P. S. Yeh, "Constant Optical Power Operation of an Ultraviolet LED Controlled by a Smartphone," *Sensors*, vol. 21, no. 4707, pp. 1–11, 2021.
- [11] D. U. V. Dose, "Development of UVB LED Lighting System Based on UV Dose Calculation Algorithm to Meet Individual Daily UV Dose," *Appl. Sci.*, vol. 9, pp. 1–13, 2019.
- [12] S. Oh dan J. Lim, "Development and Effect Analysis of UVB-LED General Lighting to Support Vitamin D Synthesis," *Appl. Sci.*, vol. 10, pp. 1–10, 2020.
- [13] M. E. Segura-Jiménez, E. E. Reza-Zaldívar, A. Gastélum, dan D. A. Jacobo-Velázquez, "Short-term postharvest UVB light treatment immediately enhances phenolic content, antioxidant activity, and anti-inflammatory potential of amaranth leaves," *CyTA - J. Food*, vol. 23, no. 1, pp. 1–9, 2025.
- [14] M. Syafaat dan W. F. Safari, "Perancangan Dan Pembuatan Alat Fototerapi Nb-Uvb Portabel Untuk

- Psoriasis Dan Vitiligo,” *J. Elektro Telekomun. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 957–964, 2021.
- [15] H. Febrianto, M. Subekti, N. H. Yuninda, dan P. Teknik, “Pengembangan Alat Desinfeksi Air Minum Dengan UVGI (Ultraviolet Germecidal Irradiation) Berbasis Arduino,” *J. Electr. Vocat. Educ. Technol.*, vol. 2, pp. 1–5, 2015.
- [16] N. T. Tsebesebe, K. Mpofu, S. Sivarasu, dan P. Mthunzi, “Arduino-Based Devices In Healthcare And Environmental Monitoring,” *Discov. Internet Things*, vol. 5, no. 46, pp. 1–31, 2025.
- [17] W. Fabián, U. Rojas, dan J. E. Porras, “Biomedical Instrumentation Applications Using psoc Microcontrollers,” *Electron. Vis.*, vol. 7, no. 1, pp. 70–81, 2014.
- [18] R. Hassan, F. Qamar, M. Hasan, dan A. Ahmed, “Internet of Things and Its Applications: A Comprehensive Survey,” *Symmetry (Basel)*, vol. 12, no. 1674, pp. 1–29, 2020.
- [19] A. Jalal, L. Hakim, dan N. Shafiq, “Mechanical and Post-Cracking Characteristics of Fiber Reinforced Concrete Containing Copper-Coated Steel and PVA Fibers in 100% Cement and Fly Ash Concrete,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 1048, pp. 1–14, 2021.
- [20] T. L. Ceramics et al., “Impact of Phase Structure on Piezoelectric Properties,” *Crystals*, vol. 3, pp. 1–10, 2020.