



**RANCANG BANGUN SISTEM LAMPU UV MAJEMUK
DENGAN METODE SATU TABUNG DAN SISTEM
PEMBERSIH SLEVE OTOMATIS PADA ALAT STERILISASI AIR**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada Program
Diploma IV Teknik Listrik Industri Departemen Teknologi Industri Sekolah
Vokasi Universitas Diponegoro**

Disusun Oleh:
Firstyawan Esa Naufalabib
40040622650026

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

**LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN SISTEM LAMPU UV MAJEMUK
DENGAN METODE SATU TABUNG DAN SISTEM
PEMBERSIH SLEVE OTOMATIS PADA ALAT STERILISASI AIR**

Diajukan Oleh:

Firstyawan Esa Naufalabib

NIM : 40040622650026

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH

Dosen Pembimbing,



Dista Yoel Tadeus, S.T., M.T.

NIP. 198812282015041002

Mengetahui

Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Arkhan Subari, ST, M.Kom

NIP. 197710012001121002

Semarang, 23 Juli 2026

Semarang, 27 Juli 2026

**HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN SISTEM LAMPU UV MAJEMUK
DENGAN METODE SATU TABUNG DAN SISTEM
PEMBERSIH SLEVE OTOMATIS PADA ALAT STERILISASI AIR**

Diajukan Oleh:

Firstyawan Esa Naufalabib

NIM : 40040622650026

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal :

Hari : Selasa

Tanggal : 14 Juli 2026

Ketua Penguji



Fakhruddin Mangkusasmito, ST, MT

NIP. 198908202019031012

Penguji 1



Arkhan Subari, S.T., M.Kom.

NIP. 197710012001121002

Penguji II



Dista Yoel Tadeus, S.T., M.T.

NIP. 198812282015041002

Mengetahui,

Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Arkhan Subari, S.T. M.Kom.

NIP. 197710012001121002

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Firstyawan Esa Naufalabib
NIM : 40040622650026
Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Departemen
Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas
Diponegoro
Judul Tugas Akhir : **RANCANG BANGUN SISTEM LAMPU UV
MAJEMUK DENGAN METODE SATU TABUNG
DAN SISTEM PEMBERSIH SLEVE OTOMATIS
PADA ALAT STERILISASI AIR**

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah dituliskan atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No. 17 tahun 2010 dan peraturan perundang – undangan yang berlaku.

Semarang, 12 Juli 2026



Firstyawan Esa Naufalabib

NIM. 40040622650026

HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan tugas akhir ini dengan penuh rasa syukur dan terima kasih saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT atas segala nikmat dan rahmat-Nya, yang telah memberikan petunjuk serta kemudahan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua Orang Tua. Atas cinta, doa, dukungan, dan segala pengorbanan yang tiada henti. Kalian adalah alasan utama dan inspirasi bagi setiap langkah yang kuambil.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiyono, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
4. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Teknik Listrik Industri. Terima kasih atas perhatian dan dedikasi dalam memimpin program studi yang menjadi tempat saya menimba ilmu.
5. Dosen Pembimbing Tugas Akhir Dista Yoel Tadeus, ST, MT Terima kasih atas segala bimbingan, ilmu, dan kesabaran yang telah diberikan dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
6. Seluruh staf pengajar dan karyawan Program Studi Teknik Listrik Industri, atas segala bantuan dan ilmu yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
7. Semua rekan rekan Decibel dan EWS BARRACUDA yang telah berjuang bersama dan menimba ilmu dibidang robotika serta dinamika organisasi selama masa masa perkuliahan.
8. Semua rekan-rekan Teknik Listrik Industri yang selalu memberikan dukungan, kebersamaan, dan motivasi, menjadi teman perjalanan yang luar biasa dalam menempuh masa-masa perkuliahan.

ABSTRAK

Sterilisasi air menggunakan sinar ultraviolet (UV) merupakan metode yang efektif karena tidak menghasilkan residu kimia dan memiliki proses yang relatif sederhana. Namun, kinerja sistem UV dapat menurun akibat penumpukan kotoran pada permukaan sleeve lampu, sementara sistem konvensional pada umumnya belum dilengkapi mekanisme pembersihan otomatis maupun pemantauan kinerja secara terintegrasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat sterilisasi air menggunakan lampu UV majemuk dalam satu tabung reaktor yang dilengkapi dengan sistem pembersih sleeve otomatis dan pemantauan berbasis IoT. Alat yang dibangun menggunakan empat lampu UV Germilite 55W yang disusun secara melingkar dalam satu tabung reaktor berbahan akrilik. Mekanisme pembersih sleeve digerakkan oleh motor stepper NEMA17 melalui sistem *lead screw*, dikontrol oleh mikrokontroler ESP32 dengan antarmuka pengguna berupa LCD 20x4, rotary encoder, dan RTC DS3231. Sistem juga dilengkapi fitur data logging yang mengirimkan data parameter operasi ke platform Google Spreadsheet secara daring melalui Google Apps Script. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sleeve berbahan kuarsa menghasilkan transmisi radiasi UV yang jauh lebih baik dibandingkan sleeve akrilik, dan mendekati kondisi tanpa sleeve. Sistem pembersih otomatis berhasil beroperasi selama 38 siklus (± 19 jam) sebelum terjadi kegagalan mekanis pada *coupling* penghubung motor stepper dengan *lead screw*. Sistem monitoring IoT berhasil mengirimkan seluruh data tanpa kehilangan paket (missing data) dengan tingkat keberhasilan 100%. Analisis geometri reaktor menggunakan model sumber garis (*line source*) menunjukkan bahwa konfigurasi empat lampu menghasilkan irradiance total sebesar $40.612 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pada titik pusat reaktor, atau empat kali lebih tinggi dibandingkan konfigurasi lampu tunggal sebesar $10.153 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Kata kunci: sterilisasi UV, lampu UV majemuk, pembersih sleeve otomatis, ESP32, IoT, data logging, irradiance

ABSTRACT

Water sterilization using ultraviolet (UV) light is an effective method as it produces no chemical residues and involves a relatively simple process. However, UV system performance can degrade due to fouling on the lamp sleeve surface, while conventional systems generally lack automatic cleaning mechanisms and integrated performance monitoring. This study aims to design and develop a UV water sterilization device using a multi-lamp configuration within a single reactor tube, equipped with an automatic sleeve cleaning system and IoT-based monitoring. The device was built using four 55W Germilite UV lamps arranged circumferentially inside an acrylic reactor tube. The sleeve cleaning mechanism is driven by a NEMA17 stepper motor via a lead screw system, controlled by an ESP32 microcontroller with a user interface consisting of a 20x4 LCD, rotary encoder, and DS3231 RTC module. The system also features a data logging function that transmits operational parameters to a Google Spreadsheet platform over the internet via Google Apps Script. Test results indicate that quartz sleeve material provides significantly better UV transmission compared to acrylic sleeve, approaching the performance of a bare lamp without sleeve. The automatic cleaning system successfully operated for 38 cycles (approximately 19 hours) before a mechanical failure occurred at the coupling connecting the stepper motor to the lead screw. The IoT monitoring system transmitted all data without any missing packets, achieving a 100% delivery success rate. Reactor geometry analysis using the line source model showed that the four-lamp configuration produces a total irradiance of $40,612 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ at the reactor center, four times higher than the single-lamp configuration at $10,153 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Keywords: *UV sterilization, multi-lamp UV, automatic sleeve cleaning, ESP32, IoT, data logging, irradiance*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat-Nya sehingga pada kesempatan kali ini, kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **" RANCANG BANGUN SISTEM LAMPU UV MAJEMUK DENGAN METODE SATU TABUNG DAN SISTEM PEMBERSIH SLEVE OTOMATIS PADA ALAT STERILISASI AIR."**

Dalam kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih atas bimbingan, arahan, serta bantuan moril maupun materiil yang telah diberikan oleh pihak-pihak yang membantu sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Dengan hormat, kami menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala nikmat dan rahmat-Nya, yang telah memberikan petunjuk serta kemudahan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua Orang Tua. Atas cinta, doa, dukungan, dan segala pengorbanan yang tiada henti. Kalian adalah alasan utama dan inspirasi bagi setiap langkah yang kuambil.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
4. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Teknik Listrik Industri. Terima kasih atas perhatian dan dedikasi dalam memimpin program studi yang menjadi tempat saya menimba ilmu.
5. Dosen Pembimbing Tugas Akhir Dista Yoel Tadeus, ST, MT Terima kasih atas segala bimbingan, ilmu, dan kesabaran yang telah diberikan dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
6. Seluruh staf pengajar dan karyawan Program Studi Teknik Listrik Industri, atas segala bantuan dan ilmu yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
7. Semua rekan rekan Decibel dan EWS BARRACUDA yang telah berjuang bersama dan menimba ilmu dibidang robotika serta dinamika organisasi selama masa masa perkuliahan.

8. Semua rekan-rekan Teknik Listrik Industri yang selalu memberikan dukungan, kebersamaan, dan motivasi, menjadi teman perjalanan yang luar biasa dalam menempuh masa-masa perkuliahan.

Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penyusun maupun semua pihak terutama mahasiswa Teknik Listrik Industri. Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik

Semarang, 12 Juli 2026



Firstyawan Esa Naufalabib

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	21
1.1 Latar Belakang	21
1.2 Rumusan Masalah	24
1.3 Tujuan Penelitian.....	24
1.4 Manfaat Penelitian	25
1.5 Batasan Masalah.....	26
BAB II LANDASAN TEORI	27
2.1 Tinjauan Pustaka	27
2.2 Dasar Teori	28
2.2.1 Sterilisasi Air Menggunakan Sinar Ultraviolet (UV).....	28
2.2.2 Intensitas dan Dosis Radiasi UV	29

2.2.3	Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Sistem UV	30
2.2.4	Pengaruh Sleeve terhadap Intensitas Radiasi UV	31
2.2.5	Sistem Lampu UV Majemuk	32
2.2.6	<i>Reliability</i>	33
2.2.7	Motor Stepper Bipolar.....	34
2.2.8	<i>Driver</i> Motor Stepper	36
2.2.9	<i>Lead Screw</i>	36
2.2.10	RTC (<i>Real Time Clock</i>)	38
2.2.11	Rotary Encoder.....	39
2.2.12	LCD.....	40
2.2.13	Sensor Intensitas UV (GUVA-S12SD)	42
2.2.14	Mikrokontroler ESP32	43
2.2.15	Platform IO	44
2.2.16	Google Sheets & Apps Script.....	45
BAB III PERANCANGAN ALAT		47
3.1	Perancangan Hardware.....	47
3.1.1	Perancangan PCB Kontroler	47
3.1.2	Perancangan Kontroler Utama	48
3.1.3	Perancangan Pembersihan Sleeve Lampu UV	50
3.1.4	Perancangan Tabung Reaktor.....	51
3.1.5	Blok Diagram Alat	54
3.1.6	<i>Wiring</i> Diagram Keseluruhan Sistem.....	55
3.1.7	Rangkaian Power	56
3.1.8	Rangkaian Buzzer	57
3.1.9	Rangkaian LCD 20x4.....	57

3.1.10	Rangkaian Rotary Encoder	58
3.1.11	Rangkaian RTC DS3231	60
3.1.12	Rangkaian TB6600 dan Motor Stepper.....	61
3.1.13	<i>Schematic</i> Diagram PCB Kontroler Utama.....	63
3.2	Perancangan Software	64
3.2.1	Diagram Alir <i>Setting</i> Parameter	64
3.2.2	Diagram Alir Mekanisme Kalibrasi Alat.....	66
3.2.3	Diagram Alir Mekanisme Pembersihan Sleeve Lampu UV	68
3.3	Metode Pembuatan Alat	69
3.3.1	Metode Rancang Bangun	69
3.3.2	Metode Penelitian.....	70
BAB IV PEMBUATAN ALAT		71
4.1	Pembuatan Alat	71
4.2	Pembuatan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	73
4.2.1	Pembuatan PCB Kontroler.....	73
4.2.2	Pembuatan Kontroler Utama.....	79
4.2.3	Pembuatan Pembersihan Sleeve Lampu UV.....	81
4.2.4	Pembuatan Tabung Reaktor	83
4.3	Pembuatan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	87
4.3.1	Struktur Program Utama	88
4.3.2	Sistem Antarmuka Menu.....	95
4.3.3	Mekanisme Kalibrasi Alat.....	99
4.3.4	Pembersihan Sleeve Lampu UV	102
4.3.5	Pengiriman Data ke Spreadsheet.....	106
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS ALAT		110

5.1 Tujuan Pengukuran dan Pengujian Alat	110
5.2 Peralatan Yang Digunakan	111
5.3 Pengujian Alat	111
5.3.1 Uji Intensitas UV Berdasarkan Jenis Sleeve	111
5.3.2 Uji Keandalan dan Validasi Kontrol Posisi Pembersihan Sleeve UV 125	
5.3.3 Uji Keandalan Sistem IOT	130
5.4 Analisa Teknis Geometri Lampu UV Terhadap Flow Air	133
5.5 Analisis Dosis UV dan Kapasitas Flow Rate Berdasarkan Acuan Reaktor Germilite	139
5.5.1 Perhitungan Dosis Acuan Reaktor Germilite	139
5.5.2 Analisis Kapasitas Flow Rate Reaktor TA dengan Dosis Tetap..	140
BAB VI PENUTUP	144
6.1 Kesimpulan	144
6.2 Saran.....	145
DAFTAR PUSTAKA	147
LAMPIRAN	148

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Spektrum elektromagnetik	29
Gambar 2. 2 Motor Stepper NEMA17	34
Gambar 2. 3 Konstruksi Motor Stepper	35
Gambar 2. 4 Driver Motor Stepper TB6600	36
Gambar 2. 5 Lead Screw	36
Gambar 2. 6 Modul RTC DS3231.....	38
Gambar 2. 7 Rotary Encoder EC11	39
Gambar 2. 8 Ilustrasi sinyal keluaran quadrature rotary encoder	40
Gambar 2. 9 LCD 20x4.....	40
Gambar 2. 10 Sensor GUVVA-S12SD	42
Gambar 2. 11 ESP32-DOIT 30Pin.....	43
Gambar 2. 12 (a) VSCode code editor (b) Platform IO Extension	44
Gambar 2. 13 Ilustrasi protokol komunikasi ESP32 dan Google Sheets	45
Gambar 3. 1 Tampak visualisasi 3D PCB kontrol	48
Gambar 3. 2 Tampak visualisasi 3D box kontroler utama	49
Gambar 3. 3 Ukuran box kontroler utama	49
Gambar 3. 4 Desain pembersih Sleeve	50
Gambar 3. 5 Desain mekanisme slider pembersih	50
Gambar 3. 6 Tampak visualisasi tabung reaktor	51
Gambar 3. 7 Desain ukuran cap	52
Gambar 3. 8 Desain penyangga	53
Gambar 3. 9 Desain mounting motor stpper	53
Gambar 3. 10 Blok diagram alat	54
Gambar 3. 11 Wiring sistem keseluruhan	55
Gambar 3. 12 Wiring Jalur Power.....	56
Gambar 3. 13 Wiring Buzzer	57
Gambar 3. 14 Wiring LCD 20x4.....	57
Gambar 3. 15 Wiring Rotary Encoder.....	58
Gambar 3. 16 Wiring RTC DS3231	60

Gambar 3. 17 Wiring stepper motor dan driver stepper motor TB6600	61
Gambar 3. 18 Schematic PCB kontrol	63
Gambar 3. 19 Flowchart setting parameter alat	64
Gambar 3. 20 Flowchart kalibrasi pembersih Sleeve.....	66
Gambar 3. 21 Flowchart mekanisme pembersihan	68
Gambar 4. 1 Pemilihan komponen pada aplikasi EasyEda.....	74
Gambar 4. 2 Schematic komponen pada sistem	75
Gambar 4. 3 Routing jalur pada PCB kontrol	75
Gambar 4. 4 Pembuatan CAM jalur PCB dengan software RdWorks.....	76
Gambar 4. 5 Proses pembuatan jalur dengan CNC laser	76
Gambar 4. 6 Proses etching PCB	77
Gambar 4. 7 Proses penyolderan komponen pada PCB.....	78
Gambar 4. 8 Proses pengecekan koneksi socket pada PCB.....	79
Gambar 4. 9 Visual penempatan komponen dengan software 3D Solidoworks ...	79
Gambar 4. 10 Proses slicing desain mounting PCB pada software OrcaSlicer	80
Gambar 4. 11 Proses melubangi box dengan mesin CNC laser.....	80
Gambar 4. 12 Proses perakitan komponen pada box bagian bawah	81
Gambar 4. 13 Visualisasi desain pembersih.....	82
Gambar 4. 14 Proses pemotongan busa pembersih.....	82
Gambar 4. 15 Hasil pemotongan akrilik dengan CNC laser.....	83
Gambar 4. 16 Bentuk pembersih setelah di rakit	83
Gambar 4. 17 Tampak visual 3D desain tabung dan penyangga	84
Gambar 4. 18 Proses mencetak spacer dengan mesin 3D Print	85
Gambar 4. 19 Hasil pemotongan akrilik dengan mesin CNC laser	86
Gambar 4. 20 Hasil pemotongan As drat	86
Gambar 4. 21 Tampak alat setelah perakitan	87
Gambar 4. 22 kerangka dasar program Arduino.	88
Gambar 4. 23 Deklarasi library.....	89
Gambar 4. 24 Deklarasi pin rotary encoder	89
Gambar 4. 25 Deklarasi hari pada RTC	89
Gambar 4. 26 Deklarasi SSID dan Password wifi	90

Gambar 4. 27 Deklarasi parameter google spreadsheet	91
Gambar 4. 28 Deklarasi parameter NTP	91
Gambar 4. 29 Deklarasi enum posisi stepper, menu homepage, dan submenu	92
Gambar 4. 30 Deklarasi struct dan nama filesystem.....	92
Gambar 4. 31 Deklarasi objek class dan library	93
Gambar 4. 32 Listing program inisialisasi sistem pada fungsi setup()	94
Gambar 4. 33 Ringkasan program menu dan eksekusi pembersihan alat pada fungsi loop()	95
Gambar 4. 34 Program pembacaan encoder dengan interrupt	96
Gambar 4. 35 Program setting pembatas encoder.....	96
Gambar 4. 36 Program pergantian tampilan menu utama.....	96
Gambar 4. 37 Program untuk masuk ke menu parameter.....	96
Gambar 4. 38 Program tampilan menu pada menu setting parameter	98
Gambar 4. 39 Program tampilan ketika melakuakn pembersihan	98
Gambar 4. 40 Program tampilan ketika data dikirimkan ke spreadsheet.....	99
Gambar 4. 41 Rangkuman program fungsi kalibrasi step.....	100
Gambar 4. 42 Program pembersih bergerak ke posisi atas	100
Gambar 4. 43 Program pembersih bergerak ke bawah dan perhitungan step pembersih	101
Gambar 4. 44 Program pengaturan posisi slider posisi bawah dan menyimpan nilai total step	102
Gambar 4. 45 Program kalkulasi waktu permbersihan berdasarkan parameter interval.....	103
Gambar 4. 46 Program kondisi untuk ekskusi proses pembersihan	103
Gambar 4. 47 Program cek posisi pembersih.....	104
Gambar 4. 48 Program eksekusi proses pembersihan dan algoritma failsafe jika daya terputus	105
Gambar 4. 49 Program update posisi ketika pembersih dari bawah ke atas	105
Gambar 4. 50 Program update posisi ketika pembersih dari atas ke bawah.....	105
Gambar 4. 51 Program update total pembersihan dan menyimpan parameter data ke littleFS	106

Gambar 4. 52 Program koneksi ESP32 dengan wifi.....	107
Gambar 4. 53 Program set NTP server dan adjust waktu RTC berdasarkan waktu server	107
Gambar 4. 54 Program pengambilan data monitoring dan proses pengiriman data ke spreadsheet	108
Gambar 4. 55 Fungsi failsafe pengiriman data ketika sistem tidak terhubung ke wifi	108
Gambar 4. 56 Program failsafe data dan disimpan sementara ke littleFS	109
Gambar 4. 57 Program cek data sementara yang tertinggal untuk dikirim ke spreadsheet	109
Gambar 5. 1 Rangkaian Arduino Uno dan sensor GUVA-S12SD	112
Gambar 5. 2 Posisi sensor GUVA-S12SD pengambilan nilai intensitas sinar UV pada jarak 6cm	112
Gambar 5. 3 Penentuan jarak sensor dengan pita ukur	113
Gambar 5. 4 Program konversi nilai ADC sensor GUVA-S12SD	114
Gambar 5. 5 Dokumentasi pengujian intensitas UV matahari	121
Gambar 5. 6 Posisi pembersih pada titik bawah	126
Gambar 5. 7 Posisi pembersih pada titik atas	126
Gambar 5. 8 Kerusakan Coupling Setelah Siklus Pembersihan ke-38	129
Gambar 5. 9 Ilustrasi reaktor UV Germilite 55W	134
Gambar 5. 10 Ilustrasi reaktor UV konfigurasi majemuk.....	134
Gambar 5. 11 Diagram geometri sumber garis (line source) untuk perhitungan irradiance pada titik P.....	135
Gambar 5. 12 Geometri perhitungan irradiance konfigurasi 1 — titik pengamatan P pada pusat reaktor ($d = 31,11 \text{ mm}$, $\alpha = 86,17^\circ$)	136
Gambar 5. 13 Geometri perhitungan irradiance konfigurasi 2 — titik pengamatan P Dinding dalam reaktor ($d = 14.91 \text{ mm}$, $\alpha = 88,17^\circ$)	136
Gambar 5. 14 Geometri perhitungan irradiance reaktor Germilite — titik pengamatan P pada dinding dalam reaktor ($d = 17,31 \text{ mm}$, $\alpha = 87,87^\circ$)	137

DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1 Spesifikasi RTC DS3231	39
Tabel 2- 2 Spesifikasi Rotary Encoder EC11	40
Tabel 2- 3 Spesifikasi LCD 20x4 I2C	41
Tabel 2- 4 Spesifikasi Sensor GUVVA-S12SD	42
Tabel 2- 5 Spesifikasi Teknis ESP32.....	43
Tabel 3- 1 Konfigurasi Rangkaian Buzzer dan ESP32	57
Tabel 3- 2 Konfigurasi Rangkaian LCD 20x4 dan ESP32.....	58
Tabel 3- 3 Konfigurasi Rotary Encoder dan ESP32.....	59
Tabel 3- 4 Konfigurasi RTCDS3231 dan ESP32	60
Tabel 3- 5 Konfigurasi Driver TB6600 dan ESP32	62
Tabel 3- 6 Konfigurasi Driver TB6600 dan Stepper NEMA 17	62
Tabel 4- 1Alat yang digunakan	71
Tabel 4- 2 Bahan yang digunakan.....	72
Tabel 5- 1 Hasil uji intensitas dengan Sleeve berbahan akrilik jarak 2cm.....	115
Tabel 5- 2 Hasil uji intensitas dengan Sleeve berbahan akrilik jarak 4cm.....	115
Tabel 5- 3 Hasil uji intensitas dengan Sleeve berbahan akrilik jarak 6cm.....	115
Tabel 5- 4 Hasil uji intensitas dengan Sleeve berbahan akrilik jarak 8cm.....	115
Tabel 5- 5 Rata rata uji intensitas dengan Sleeve berbahan akrilik.....	116
Tabel 5- 6 Hasil uji intensitas dengan Sleeve berbahan quartz jarak 2cm.....	116
Tabel 5- 7 Hasil uji intensitas dengan Sleeve berbahan quartz jarak 4cm.....	117
Tabel 5- 8 Hasil uji intensitas dengan Sleeve berbahan quartz jarak 6cm.....	117
Tabel 5- 9 Hasil uji intensitas dengan Sleeve berbahan quartz jarak 8cm.....	117
Tabel 5- 10 Rata rata uji intensitas dengan Sleeve berbahan quartz	118
Tabel 5- 11 Hasil uji intensitas tanpa Sleeve jarak 2cm.....	119
Tabel 5- 12 Hasil uji intensitas tanpa Sleeve jarak 4cm.....	119
Tabel 5- 13 Hasil uji intensitas tanpa Sleeve jarak 6cm.....	119
Tabel 5- 14 Hasil uji intensitas tanpa Sleeve jarak 8cm.....	119
Tabel 5- 15 Rata rata uji intensitas tanpa Sleeve.....	120
Tabel 5- 16 Hasil uji intensitas UV matahari pada jam 10.00 WIB.....	121

Tabel 5- 17 Hasil uji intensitas UV matahari pada jam 11.00 WIB	121
Tabel 5- 18 Hasil uji intensitas UV matahari pada jam 12.00 WIB	122
Tabel 5- 19 Hasil uji intensitas UV matahari pada jam 13.00 WIB	122
Tabel 5- 20 Hasil uji intensitas UV matahari pada jam 14.00 WIB	122
Tabel 5- 21 Rata rata uji intensitas UV matahari	123
Tabel 5- 22 Ringkasan nilai ADC uji Intensitas UV	124
Tabel 5- 23 Ringkasan nilai tegangan uji Intensitas UV	124
Tabel 5- 24 Ringkasan pengujian keandalan pembersihan Sleeve UV	127
Tabel 5- 25 Log pengujian keandalan pembersihan Sleeve UV	127
Tabel 5- 26 Ringkasan hasil uji keandalan sistem IOT	130
Tabel 5- 27 Log uji keandalan sistem IOT	130
Tabel 5- 28 Parameter geometri perhitungan irradiance masing-masing konfigurasi reaktor	137
Tabel 5- 29 Hasil perhitungan irradiance masing-masing konfigurasi reaktor ...	138
Tabel 5- 30 Perbandingan dosis UV dan flow rate maksimum reaktor Germilite dan alat yang dikembangkan.....	142

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Program	148
Lampiran 2 Proses Pembuatan.....	217
Lampiran 3 Datasheet ESP32.....	218
Lampiran 4 Datasheet Motor Stepper NEMA17	221
Lampiran 5 Datasheet LCD	222
Lampiran 6 Datasheet Rotary Encoder	223
Lampiran 7 Datasheet TB6600	224
Lampiran 8 Datasheet Sensor GUVVA S12SD	225