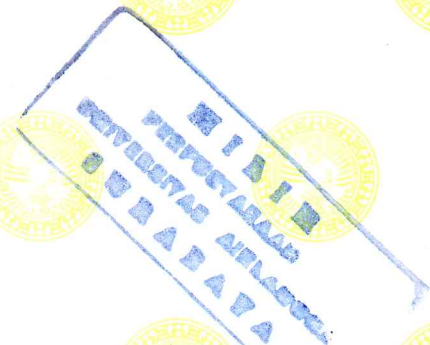


TESIS

**RANCANG BANGUN DAN OPTIMASI INSTRUMEN LASER DIODA
INAKTIVASI (LDI) UNTUK TERAPI PENYAKIT PERIODONTAL
(PENELITIAN SECARA *IN VITRO*)**



KKC
FK
TI.03/17
WIB
r

Oleh:

I GDE BAGUS YATNA WIBAWA

091425053004

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS AIRLANGGA

SURABAYA

2016

TESIS

**RANCANG BANGUN DAN OPTIMASI INSTRUMEN LASER DIODA
INAKTIVASI (LDI) UNTUK TERAPI PENYAKIT PERIODONTAL
(PENEITIAN SECARA *IN VITRO*)**

Oleh:

I GDE BAGUS YATNA WIBAWA

091425053004

**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA**

2016

**RANCANG BANGUN DAN OPTIMASI INSTRUMEN LASER DIODA
INAKTIVASI (LDI) UNTUK TERAPI PENYAKIT PERIODONTAL
(PENELITIAN SECARA *IN VITRO*)**

TESIS

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.)
Bidang Teknobiomedik pada Sekolah Pascasarjana Universitas Airlangga**

Oleh:

IGDE BAGUS YATNA WIBAWA

091425053004

**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS AIRLANGGA**

SURABAYA

2016

Desember 2016

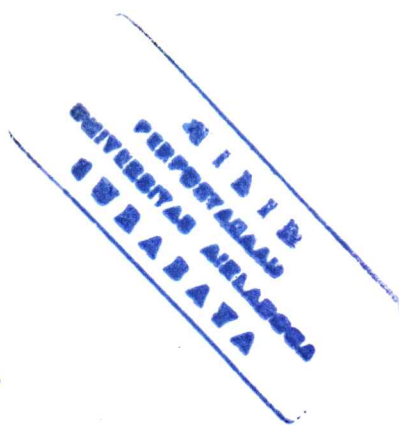
Lembar Persetujuan

TESIS INI TELAH DISETUJUI
PADA TANGGAL 19 DESEMBER 2016

Oleh
Pembimbing Ketua



Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si.
NIP.196908041994122001



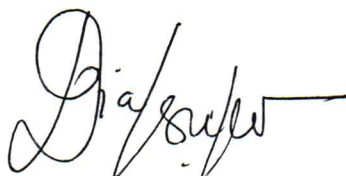
Pembimbing



Dr. Ernie Maduratna S., drg., M.Kes., Sp.Perio(K)
NIP. 196602121992032001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Magister Teknobiomedik
Sekolah Pascasarjana Universitas Airlangga Surabaya



Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si.
NIP.196908041994122001

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

RANCANG BANGUN DAN OPTIMASI INSTRUMEN LASER DIODA INAKTIVASI (LDI) UNTUK TERAPI PENYAKIT PERIODONTAL (PENELITIAN SECARA *IN VITRO*)

Sebagian atau keseluruhan tesis ini tidak pernah diajukan untuk mendapat gelar akademis pada bidang studi dan/ atau Universitas lain dan tidak pernah dipublikasikan/ ditulis oleh individu selain penyusun kecuali bila dituliskan dengan format kutipan dalam isi penulisan. Apabila ditemukan bukti bahwa pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Airlangga.

Surabaya, 12 Desember 2016



I Gde Bagus Yatna Wibawa

Telah diuji pada
Tanggal 29 November 2016
PANITIA PENGUJI TESIS

Ketua : Prof. Dr. Ir. Suhariningtih

Anggota : 1. Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si.

2. Dr. Ernie Maduratna S., drg.,M.Kes.,Sp.Perio(K)

3. Prof. Dr. Moh. Yasin, M.Si.

4. Dr. Riries Rulaningtyas, M.T.

Kata Pengantar

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Ida Sang Hyang Widhi Wasa/ Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan tuntunan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul, “Rancang Bangun Dan Optimasi Instrumen Laser Dioda Inaktivasi (LDI) Untuk Terapi Penyakit Periodontal (Penelitian secara *In Vitro*)” dengan lancar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi penggunaan laser dioda 445 nm dan laser dioda 650 nm sebagai sumber cahaya dalam terapi fotodinamik inaktivasi dengan optimalisasi *photosensitizer* klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*), sehingga dihasilkan modalitas terapi fotodinamik inaktivasi yang efektif, aman dan nyaman. Selama melaksanakan penelitian ini, penulis mendapatkan banyak dukungan dari berbagai pihak. Karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si., selaku pembimbing ketua yang dengan penuh perhatian telah memberikan dorongan, bimbingan, dan saran selama penulis mengikuti program magister , khususnya dalam penyelesaian tesis ini.
2. Dr. Ernie Maduratna S., drg.,M.Kes.,Sp.Perio(K) selaku pembimbing, yang telah memberikan perhatian telah memberikan masukan dan bimbingan kepada penulis selama pengerjaan tesis ini.
3. Prof. Dr. Ir. Suhariningsih, Prof. Dr. Moh. Yasin, M.Si. dan Dr. Riries Rulaningtyas, M.T. yang telah banyak memberikan masukan dan ide untuk menyempurnakan tesis ini
4. Orang tua, saudara, keluarga dan dirinya yang terkasih, yang selalu memberikan semangat, dukungan doa dan moral hingga tesis ini dapat selesai tepat pada waktunya
5. Prof. Dr.Ir. Sekartedjo Koentjoro, M.Sc. yang telah memberikan ijin untuk pengambilan data karakterisasi dan pengujian laser dioda di laboratorium Rekayasa Fotonika, Teknik Fisika, Institut Sepuluh Nopember
6. Mas Beni, Mas Rian, Mas Rama, Mas Achmad, Mas Pandu dan Mbak Annisa yang telah memberikan kemudahan dan bantuan sarana prasarana selama

proses karakterisasi dan pengujian di di laboratorium Rekayasa Fotonika, Teknik Fisika, Institut Sepuluh Nopember

7. Dr. Dadik Raharjo, Dra., M.Kes. yang telah memberikan ijin untuk penelitian fotodinamik di laboratorium Gastroentitis, Institute of Tropical Disease, UNAIR
8. Mbak Wahyu dan Mbak Dita yang telah memberikan kemudahan dan bantuan sarana prasarana selama proses penelitian fotodinamik di laboratorium Gastroentitis, Institute of Tropical Disease, UNAIR
9. Brahma, Winda dan Vina yang senantiasa membantu selama penelitian dan penyusunan tesis ini
10. Teman-teman dan dosen program studi Magister Teknobiomedik, Sekolah Pascasarjana Universitas Airlangga yang selalu mendukung dan menyemangati penulis
11. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Penulis hanya dapat berdoa semoga Tuhan Yang Maha Esa dapat membalas budi baik Bapak, Ibu dan rekan-rekan semua. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis harapkan saran dan kritik yang bersifat membangun agar tesis ini dapat menjadi lebih sempurna dan penulis berharap agar tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 2 Nopember 2016

Penulis

RINGKASAN

Penyakit periodontal disebabkan oleh infeksi bakteri periopatogen, salah satunya adalah bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. Terapi fotodinamik inaktivasi merupakan metode untuk menginaktivasi pertumbuhan bakteri dengan substansi yang sensitif terhadap cahaya (*photosensitizer*), sumber cahaya yang tidak berbahaya yang dapat diserap oleh *photosensitizer*, serta ketersediaan molekul oksigen. Laser dioda merupakan salah satu sumber cahaya monokromatis dengan daya rendah sehingga dapat digunakan dalam terapi fotodinamik. Dengan mengatur tegangan *input* laser dioda, dapat dilakukan pengendalian daya *output* laser dioda sehingga dapat disesuaikan dengan lama waktu paparan untuk memperoleh berbagai variasi dosis energi pada keperluan terapi fotodinamik inaktivasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi laser dioda 445 nm dan laser dioda 650 nm yang dikombinasikan dengan klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai *photosensitizer* untuk mengoptimalkan efek inaktivasi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. Penelitian terdiri dari dua tahap. Tahap pertama merupakan perancangan instrumen yang dapat mengendalikan daya keluaran laser dioda serta waktu paparan laser dioda. Tahap kedua merupakan pengujian instrumen untuk inaktivasi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* dengan optimalisasi *photosensitizer* (klorofil dari ekstrak daun *Moringa oleifera*).

Hasil karakterisasi laser dioda 445 nm menunjukkan foton terstimulasi paling dominan yang dihasilkan adalah foton dengan panjang gelombang 430 nm, sedangkan hasil karakterisasi laser dioda 650 nm menunjukkan foton terstimulasi paling dominan dihasilkan adalah foton dengan dengan panjang gelombang 660 nm. Instrumen laser dioda menggunakan fiber optik 8 mm untuk memandu berkas laser dan memiliki efisiensi sebesar 49 % untuk berkas laser dioda 445 nm dan 52% untuk berkas laser dioda 650 nm. Menggunakan hasil pengukuran panjang gelombang foton terstimulasi paling dominan dari kedua laser diketahui laser dioda 445 nm dapat menghasilkan daya keluaran sebesar 9,2 mW, 23,3 mW, 37,5 mW,

Daftar Isi

	Halaman
Sampul Depan	i
Sampul Dalam	ii
Prasyarat Gelar	iii
Lembar Persetujuan	iv
Lembar Originalitas	v
Kata Pengantar	vii
Ringkasan	ix
Summary	xi
Abstract	xiii
Daftar Isi	xiv
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel	xx
Daftar Lampiran	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah	7
1.4 Tujuan Penelitian	8
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Fotodinamik Terapi	10
2.2 Cahaya	11
2.2.1 Laser Dioda	12
2.2.2 Serat Optik	16
2.3 Interaksi Cahaya Terhadap Jaringan	17
2.4 Photosensitizer	20
2.4.1 Klorofil	21
2.5 Interaksi Cahaya Dengan Molekul	23
2.5.1 Fotofisika	23
2.5.2 Fotokimia	24
2.2.3 Fotobiologi	26
2.6 Penyakit Periodontal	27
2.6.1 Bakteri <i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i>	32
2.7 Komponen Pendukung Rancang Bangun Instrumen	34
2.7.1 Driver Laser Dioda	34
2.7.2 Mikrokontroler	36
2.7.3 Relay	39
2.7.4 Bluetooth	40
2.7.5 Android	41
2.7.6 MIT App Inventor	43

BAB III	KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS	45
3.1	Kerangka Konseptual	45
3.2	Hipotesis Penelitian	47
BAB IV	METODE PENELITIAN	49
4.1	Penelitian Tahap Pertama	49
4.1.1	Bahan dan Alat Penelitian	50
4.1.2	Tempat dan Waktu Penelitian	50
4.1.3	Prosedur Kerja	51
4.1.3.1	Karakterisasi Laser	51
4.1.3.2	Perancangan Instrumen	52
4.1.3.3	Diagram Alur Kerja Instrumen	55
4.1.3.4	Perakitan Instrumen	57
4.1.3.5	Uji Performansi Instrumen	57
4.2	Penelitian Tahap Kedua	58
4.2.1	Unit Eksperimen dan Replikasi	62
4.2.2	Variabel Penelitian	63
4.2.2.1	Klasifikasi Variabel	63
4.2.2.2	Definisi Operasional Variabel	63
4.2.3	Bahan dan Alat Penelitian	64
4.2.4	Tempat dan waktu penelitian	64
4.2.5	Prosedur Kerja	64
4.2.5.1	Pembuatan Sampel	64
4.2.5.2	Penyinaran Laser Dioda secara <i>In Vitro</i>	67
4.3	Analisis Data	68
BAB V	HASIL DAN ANALISIS	70
5.1	Pembuatan Perangkat Laser Dioda Inaktivasi	70
5.1.1	Karakterisasi Laser Dioda 445 nm	70
5.1.1.1	Karakterisasi Panjang Gelombang Terhadap Daya <i>Output</i>	70
5.1.1.2	Karakterisasi Kestabilan Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Waktu	71
5.1.1.3	Karakterisasi Daya <i>Input</i> Terhadap Daya <i>Output</i>	72
5.1.1.4	Karakterisasi Luas Berkas Laser Terhadap Jarak	73
5.1.1.5	Karakterisasi Temperatur Terhadap Waktu	74
5.1.2	Karakterisasi Laser Dioda 650 nm	75
5.1.2.1	Karakterisasi Panjang Gelombang Terhadap Daya <i>Output</i>	76
5.1.2.2	Karakterisasi Kestabilan Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Waktu	77
5.1.2.3	Karakterisasi Daya <i>Input</i> Terhadap Daya <i>Output</i>	77
5.1.2.4	Karakterisasi Luas Berkas Laser Terhadap Jarak	78
5.1.2.5	Karakterisasi Temperatur Terhadap Waktu	79
5.1.3	Driver Laser Dioda	80
5.1.4	Aplikasi Android Pengendali Instrumen	83
5.2	Uji Performansi Instrumen	88
5.2.1	Pengujian Daya <i>Input</i> Terhadap Daya <i>Output</i>	88

	Halaman
5.2.2 Pengujian Kestabilan Daya <i>Input</i> Terhadap Waktu	90
5.2.3 Pengujian Kestabilan Daya Output Laser Terhadap Waktu.....	92
5.2.4 Pengujian Luas Berkas Laser Terhadap Jarak.....	94
5.2.5 Pengujian Temperatur Terhadap Waktu	95
5.2.6 Pengujian Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Jarak	98
5.3 Pengujian Instrumen Pada Bakteri Secara <i>In Vitro</i>	99
5.3.1 Perhitungan Dosis Energi.....	99
5.4.2 Pengujian Fotodinamik Secara <i>in Vitro</i>	102
5.4 Pengujian Statistik.....	104
BAB VI PEMBAHASAN	110
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	121
7.1 Kesimpulan.....	121
7.2 Saran.....	123
Daftar Pustaka.....	124
Lampiran.....	129

Daftar Gambar

	Halaman
Gambar 2. 1. Rekombinasi Terjadi Karena Pemberian Tegangan (Raulin & Karsai, 2011).....	13
Gambar 2. 2. Emisi Spontan Menginduksi Emisi Terstimulasi	14
Gambar 2. 3. Pancaran Cahaya Laser Dioda (Bachmann, Loosen, & Poprawe, 2007)	15
Gambar 2. 4. Berkas Laser Dioda (Hasan & Lee, 2015)	15
Gambar 2. 5. Perambatan Cahaya Pada Fiber Optik (Prasad, 2003)	16
Gambar 2. 6. Pengaruh Penyelarasan Berkas Cahaya Masuk Terhadap keluaran Fiber Optik (Prasad, 2003).....	17
Gambar 2. 7. Peristiwa (a) Pembiasan dan (b) Pemantulan (Plaetzer <i>et al.</i> , 2009).....	17
Gambar 2. 8. Peristiwa Hamburan Cahaya (Plaetzer <i>et al.</i> , 2009)	18
Gambar 2. 9. Peristiwa Absorpsi Cahaya (Plaetzer <i>et al.</i> , 2009).....	18
Gambar 2. 10. Pemetaan Interaksi Cahaya Terhadap Jaringan (Niemz, 2007)	19
Gambar 2. 11. Spektrum Serap Klorofil Dari Ekstrak Daun Kelor (<i>Moringa oleifera</i>).....	22
Gambar 2. 12. Diagram Jablonski dan Interaksi Terhadap Molekul Oksigen (Master, Livingston, & Gupta, 2013).....	23
Gambar 2. 13. Eksitasi Singlet Karena Absorpsi Energi Foton dan Jalur Peluruhan <i>Intersystem Crossing</i>	24
Gambar 2. 14. A, Struktur Cross Section Anatomi Periodontal Sehat. B, Gambar Sulkus dengan Dasar Sulkus Terbentuk dari Junctional Epithelium (Nield-Gehrig & Willmann, 2003).....	28
Gambar 2. 15. A, Respon Inflamasi Berbanding Peningkatan Koloni Bakteri B, Keadaan Jaringan Periodontal Berbanding Peningkatan Koloni Bakteri (Newman <i>et al.</i> , 2015)	29
Gambar 2. 16. A, Periodontal Sehat. B, Gingivitis. C, Periodontitis Sedang. D, Periodontitis Hebat	31
Gambar 2. 17. A, Bentuk Bakteri <i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i> (Kesić <i>et al.</i> , 2009). B, Spektrum Serap Protoporphyrin IX (Torezan, Niwa, and Neto, 2009).....	33
Gambar 2. 18. A, Bentuk Fisik IC LM 2596. B, Konfigurasi Pin Kaki IC LM 2596 (Texas Instruments Inc., 2013).....	35
Gambar 2. 19. Konfigurasi Rangkaian IC LM 2596 (Texas Instruments Inc., 2013).....	35
Gambar 2. 20. Bentuk Fisik <i>Board</i> Arduino Uno	36
Gambar 2. 21. A, Bentuk Fisik Mikrokontroler Atmega328. B, Konfigurasi Pin Mikrokontroler Atmega328 (Atmel, 2015)	38
Gambar 2. 22. A, <i>Shield</i> Relay Single. B, <i>Wiring Shield</i> Relay.....	40
Gambar 2. 23. A, <i>Bluetooth Module</i> HC-05. B, Konfigurasi Pin Module.....	41
Gambar 2. 24. A, Bagian <i>Designer</i> . B, Bagian <i>Block Editor</i>	43
Gambar 3. 1. Kerangka Konseptual	45
Gambar 4. 1. Kerangka Operasional Penelitian Tahap Pertama	49
Gambar 4. 2. Blok Diagram Instrumen Laser Dioda Inaktivasi	52
Gambar 4. 3. Rancangan <i>Hand Module</i> Instrumen Laser Dioda Inaktivasi	54

Gambar 4. 4. Rancangan <i>Control Module</i> Instrumen Laser Dioda Inaktivasi	54
Gambar 4. 5. Diagram Alir Instrumen Laser Dioda Inaktivasi	55
Gambar 4. 6. Pembagian Kelompok Kontrol dan Perlakuan	59
Gambar 4. 7. Diagram Penyinaran Sampel	67
Gambar 5. 1. Grafik Karakterisasi Panjang gelombang Terhadap Daya <i>Output</i> Laser Dioda 445 nm	71
Gambar 5. 2. Grafik Karakterisasi Kestabilan Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Waktu Paparan Laser Dioda 445 nm	72
Gambar 5. 3. Grafik Karakterisasi Daya <i>Input</i> Terhadap Daya <i>Output</i> Laser Dioda 445 nm	73
Gambar 5. 4. Grafik Karakterisasi Luas Berkas Laser Terhadap Perubahan Jarak Laser Dioda 445 nm	74
Gambar 5. 5. Grafik Karakterisasi Temperatur Berkas Paparan Setiap Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Perubahan Waktu Paparan Laser Dioda 445 nm	75
Gambar 5. 6. Grafik Karakterisasi Panjang gelombang Terhadap Daya <i>Output</i> Laser Dioda 650 nm	76
Gambar 5. 7. Grafik Karakterisasi Kestabilan Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Waktu Paparan Laser Dioda 650 nm	77
Gambar 5. 8. Grafik Karakterisasi Daya <i>Input</i> Terhadap Daya <i>Output</i> Laser Dioda 650 nm	78
Gambar 5. 9. Grafik Karakterisasi Luas Berkas Laser Terhadap Perubahan Jarak Laser Dioda 650 nm	79
Gambar 5. 10. Grafik Karakterisasi Temperatur Berkas Paparan Setiap Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Perubahan Waktu Paparan Laser Dioda 650 nm	80
Gambar 5. 11. Konfigurasi Rangkaian <i>Adjustable Buck Converter</i> LM 2596	80
Gambar 5. 12. Rangkaian Trimpot 10K Ω Tersusun Paralel	81
Gambar 5. 13. Rangkaian <i>Relay</i>	82
Gambar 5. 14. Rangkaian <i>Relay Output</i>	82
Gambar 5. 15. Tampilan Aplikasi Android Pengendali Instrumen	84
Gambar 5. 16. Indikator LED Hijau Pada <i>Control module</i>	85
Gambar 5. 17. <i>Notifier</i> Permohonan Aktivasi Bluetooth <i>Smartphone</i> Android ...	85
Gambar 5. 18. A, Tombol <i>Bluetooth</i> Pada Aplikasi Android Untuk Melakukan Koneksi <i>Bluetooth</i> . B, Daftar Pilihan Koneksi <i>Bluetooth</i>	86
Gambar 5. 19. A, Indikator Koneksi <i>Bluetooth</i> Berubah dan Spektrum Laser Terpilih Laser Biru Secara <i>Default</i> . B, Indikator LED Pada Main Unit Menyala Biru	86
Gambar 5. 20. A, Pemilihan Spektrum Laser Merah. B, Indikator LED Pada <i>Control Module</i> Menyala Merah	87
Gambar 5. 21. <i>Notifier</i> Pilihan Daya <i>Output</i> Laser Untuk Setiap Spektrum Laser	87
Gambar 5. 22. Grafik Hubungan Daya <i>Output</i> Terhadap Daya <i>Input</i> . (A) Instrumen Dengan Laser Dioda 445 nm (B) Instrumen Dengan Laser Dioda 650 nm	88
Gambar 5. 23. A, Tegangan Input Instrumen Laser Dioda 445 nm B, Arus Input Instrumen Laser Dioda 445 nm	91

Gambar 5. 24. A, Tegangan Input Instrumen Laser Dioda 650 nm	
B, Arus Input Instrumen Laser Dioda 650 nm	91
Gambar 5. 25. A, Kestabilan Daya Input Laser Dioda 445 nm	
B, Kestabilan Daya Input Laser Dioda 650 nm.....	92
Gambar 5. 26. A, Kestabilan Tiap Daya Output Laser Diode 445 nm.	
B, Kestabilan Tiap Daya Output Laser Dioda 650 nm.....	93
Gambar 5. 27. Grafik Pengujian Luas Berkas Terhadap Perubahan Jarak Laser Dioda 445 nm	94
Gambar 5. 28. Grafik Pengujian Luas Berkas Terhadap Perubahan Jarak Laser Dioda 650 nm	95
Gambar 5. 29. Grafik Pengujian Peningkatan Temperatur Terhadap Lama Waktu Paparan Laser Dioda 445 nm Dipandu Fiber Optik 8 mm Pada Jarak 1 cm.....	96
Gambar 5. 30. Grafik Pengujian Peningkatan Temperatur Terhadap Lama Waktu Paparan Laser Dioda 650 nm Dipandu Fiber Optik 8 mm Pada Jarak 1 cm.....	97
Gambar 5. 31. Grafik Pengujian Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Perubahan Jarak Paparan Laser Dioda 445 nm Dipandu Fiber Optik 8 mm	98
Gambar 5. 32. Grafik Pengujian Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Perubahan Jarak Paparan Laser Dioda 650 nm Dipandu Fiber Optik 8 mm	98
Gambar 5. 33. Viabilitas Kematian Dengan Laser Dioda 445 nm.....	107
Gambar 5. 34. Viabilitas Kematian Dengan Laser Dioda 650 nm.....	108

Daftar Tabel

	Halaman
Tabel 2. 1. Taksonomi Bakteri <i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i>	32
Tabel 2. 2. Spesifikasi Teknis <i>Board</i> Arduino Uno	37
Tabel 5. 1. Perbandingan Daya <i>Output</i> Laser Dioda 445 nm	89
Tabel 5. 2. Perbandingan Daya <i>Output</i> Laser Dioda 650 nm	90
Tabel 5. 3. Perhitungan Dosis Energi.....	100
Tabel 5. 4. Perhitungan Waktu Paparan.....	100
Tabel 5. 5. Data Pengujian Fotodinamik Secara <i>in Vitro</i>	101
Tabel 5. 6. Rerata Koloni Bakteri Terhitung dari Tiap Kelompok	102
Tabel 5. 7. Data Viabilitas Bakteri dari Setiap Kelompok.....	103
Tabel 5. 8. Uji Hubungan Antar Kelompok Kontrol	104
Tabel 5. 9. Uji ANOVA Pengaruh Antar Faktor	105
Tabel 5. 10. <i>Multiple Comparison</i> Dosis Energi.....	106

Daftar Lampiran

	Halaman
Lampiran 1. Data Karakterisasi Laser Dioda 445 nm	129
Lampiran 2. Data Karakterisasi Laser Dioda 650 nm	136
Lampiran 3. Koding Program Mikrokontroler	144
Lampiran 4. Koding Block Aplikasi Android	146
Lampiran 5. Data Uji Instrumen LD 445 nm	151
Lampiran 6. Data Uji Instrumen LD 650 nm	169
Lampiran 7. Tabel Data Uji Absorbansi Klorofil Daun Kelor (<i>Moringa oleifera</i>)	187
Lampiran 8. Data Karakteristik Pengenceran Kultur Bakteri A.a.	188
Lampiran 9. Data Hasil Uji Fotodinamik Secara <i>in Vitro</i> Dalam Koloni	189
Lampiran 10. Data Hasil Uji Fotodinamik Secara <i>in Vitro</i> Dalam CFU/ml	190
Lampiran 11. Data persentase viabilitas bakteri hasil uji fotodinamik secara <i>in vitro</i>	191
Lampiran 12. Data Uji Statistik Antara Kelompok Kontrol Negatif dan Kelompok Kontrol Positif	192
Lampiran 13. Data Uji Statistik Antara Kelompok Perlakuan	193



BAB I
PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mulut merupakan organ pertama yang memproses makanan atau sebagai pintu gerbang awal dalam sistem pencernaan manusia. Dalam mulut terdapat gigi yang akan membantu mencerna makanan secara mekanik sehingga dapat dengan mudah ditelan. Sebagai pintu gerbang awal, gigi dan mulut merupakan tempat masuknya berbagai kuman dan bakteri penyebab gangguan kesehatan. Oleh sebab itu, kebersihan gigi dan kesehatan mulut harus dirawat dengan baik karena berdampak besar dalam kesehatan diri individu.

Berdasarkan RISKESDAS 2013 dengan sampel sebanyak 1.027.763 responden dari 33 propinsi di Indonesia, diperoleh sebanyak 25,9% penduduk Indonesia mengalami masalah gigi dan mulut dalam 12 bulan terakhir. Dari 25,9% penduduk tersebut hanya 31,1 % yang menerima perawatan dan pengobatan tenaga medis (KEMENKES RI, 2013). Masalah gigi dan mulut yang dialami masyarakat luas dapat berupa penyakit periodontal, baik itu gingivitis hingga periodontitis dengan resiko menyebabkan hilangnya jaringan pendukung gigi. Penyakit periodontal merupakan penyakit dalam rongga mulut yang diderita hampir seluruh penduduk dunia dan sebanyak 50% penderita adalah orang dewasa (Newman *et al.*, 2015).

Perawatan dan pencegahan penyakit periodontal bertujuan untuk menghilangkan koloni bakteri penyebab infeksi yang membentuk biofilm di supragingival dan subgingival (Talebi *et al.*, 2016). Penghilangan tersebut bukan berarti membuat rongga mulut benar-benar bersih dari bakteri, namun cukup dengan mengembalikan jumlah pertumbuhan koloni bakteri ke kondisi normal sehingga tidak menyebabkan respon inflamasi. Metode umum dalam menghilangkan koloni bakteri dengan menyikat gigi serta dengan *Scaling* dan *Root Planing* (SRP) belum dapat secara efektif menghilangkan koloni bakteri. Metode SRP selanjutnya dikombinasikan dengan pemberian zat antibiotik untuk meningkatkan efisiensi dalam mengurangi bakteri periopatojen. Namun timbul masalah baru akibat pemberian obat antibiotik, seperti tetrasiklin yang diberikan dengan dosis rendah dan dalam jangka waktu panjang dapat menyebabkan bakteri menjadi resistan terhadap strain obat dan efektivitas dalam menghilangkan koloni bakteri menjadi berkurang (Olsvik & Tenover, 1993). Oleh sebab itu dikembangkan modalitas terapi yang dapat digunakan untuk menangani koloni bakteri penyebab penyakit periodontal yang telah resistan terhadap strain obat antibiotik, salah satunya dengan menggunakan metode *photodynamic therapy* (PDT).

Riset penggunaan PDT untuk menginaktivasi pertumbuhan bakteri telah banyak dilakukan. Efek antimikroba dengan metode fotodinamik pertama kali dijelaskan oleh Oscar Raab pada 1900 yang mengamati efek mematikan pada protozoa penyebab malaria yang diberikan pewarna akridin dan dipaparkan cahaya (Ackroyd *et al.*, 2001). PDT yang diterapkan untuk mengurangi pertumbuhan bakteri sering disebut dengan istilah *photoinactivation* yang pada awalnya digunakan istilah *Photodynamic Antimicrobial Chemotherapy* (PACT)

(Wainwright, 1998) dan kini dikenal dengan istilah *antimicrobial Photodynamic Therapy* (aPDT) (Oruba *et al.*, 2015). Dalam metode fotodinamik diperlukan 3 elemen penting sehingga reaksi fotodinamik dapat terjadi, yakni substansi yang sensitif terhadap cahaya (*photosensitizer*), sumber cahaya yang tidak berbahaya yang dapat diserap *photosensitizer*, serta ketersediaan oksigen (Oruba *et al.*, 2015). Efek antimikroba yang diperoleh berupa respon fototoksik melalui kerusakan oksidatif terhadap sel (Wainwright, 1998), karena terbentuknya oksigen *singlet* dan umumnya akan menyebabkan kerusakan DNA sel (Bhatti *et al.*, 1998), dan perubahan massa molekul beberapa protein di membran sel dan membran plasma (Bhatti *et al.*, 2001). Pada sel bakteri kerusakan oksidatif umumnya terjadi di DNA sel dan organel sel lainnya, namun kerusakan organel sel dapat berbeda dan bergantung dari jenis bakteri serta *photosensitizer* yang digunakan (Harris, Chatfield, & Phoenix, 2005).

Dalam penelitian efek bakterisida fotodinamik pada periopatogen *Actinobacillus actinomycetemcomitans*, *Fusobacterium nucleatum*, *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella intermedia*, dan *Streptococcus sanguis*, diperoleh hasil terjadi tingkat kematian bakteri paling tinggi ketika paparan laser dioda (hasil terbaik laser dioda 665 nm daya 100 mW, waktu paparan 60 detik atau energi 21,2 J.cm⁻²) dikombinasikan dengan *photosensitizer methylene blue* dibandingkan kematian bakteri yang dihasilkan dengan hanya menggunakan laser dioda (665 nm dan 830 nm) daya 100 mW saja (Chan & Lai, 2003). Penelitian lain dengan laser dioda (660 nm, 30 mW) dan *photosensitizer malachite green* (MG) dapat menghasilkan efek bakterisida pada bakteri *Actinobacillus actinomycetemcomitans* dengan jumlah kematian mencapai 97,2% pada waktu paparan 3 menit (5,4 J.cm⁻²) dan

99,9% pada waktu paparan 5 menit (9 J.cm^{-2}) (Prates *et al.*, 2007). Pada penelitian lain menggunakan klorofil sebagai *photosensitizer* eksogen dikombinasikan dengan laser dioda 405 nm selama 75 detik dengan intensitas energi 25 J.cm^{-2} di jarak 1,5 cm dapat menyebabkan kematian bakteri *S. mutant* hingga mencapai 74% (Astuti *et al.*, 2016). Dari penelitian terdahulu, waktu paparan yang digunakan cenderung lebih dari 1 menit untuk memperoleh efek bakterisida. Agar dapat diaplikasikan pada terapi penyakit periodontal, waktu paparan harus dibuat lebih sedikit dengan tidak mengurangi efek bakterisida yang dihasilkan dan tetap aman bagi keselamatan pasien serta terapis.

PDT memerlukan sumber cahaya dengan panjang gelombang, daya dan lama paparan yang jelas sehingga dapat dilakukan perhitungan dosis energi paparan yang mampu mematikan bakteri periopatojen target serta tidak menimbulkan efek merusak jaringan gingiva dan gigi. Perangkat sumber cahaya PDT untuk periodontal yang digunakan di Indonesia umumnya didatangkan dari luar negeri, hal tersebut tentu memerlukan biaya pengadaan yang mahal. Terkadang perangkat sumber cahaya yang digunakan tidak mencantumkan karakteristik daya dan panjang gelombang cahaya yang dihasilkan dengan jelas. Karakterisasi daya dan panjang gelombang yang dihasilkan dari sumber cahaya diperlukan dalam menentukan lama waktu penyinaran, sehingga diperoleh dosis energi yang efektif untuk menghasilkan fotodinamik dan efek bakterisida periopatojen yang diharapkan.

Dari penelitian terdahulu sumber cahaya yang paling sering digunakan adalah laser dioda dengan berbagai pilihan spektrum panjang gelombang cahaya dan dapat disesuaikan terhadap fotosensitizer yang digunakan. Laser dioda dapat

menghasilkan cahaya karena bahan semikonduktor didalamnya dialiri arus listrik (Numai, 2015). Tegangan dan arus yang dialirkan ke laser dioda tidak boleh lebih dari spesifikasi yang tercantum karena dapat merusak bahan semikonduktor yang berada didalamnya. Ketika tegangan dan arus yang dialirkan lebih kecil dari spesifikasi yang tercantum, laser dioda akan menyala dengan menghasilkan daya keluaran cahaya yang cenderung lebih kecil dari daya keluaran cahaya ketika dialirkan tegangan dan arus sesuai spesifikasi. Sehingga dengan mengendalikan tegangan dan arus yang dialirkan ke laser dioda, dapat dilakukan pengendalian daya keluaran cahaya laser dioda. Dalam pengendalian tegangan dapat dilakukan menggunakan *regulator buck converter* LM2596 yang dapat meregulasi tegangan masukan 7-40 VDC menjadi tegangan keluaran 1,2 - 37 VDC dengan mengubah nilai resistor *feedback* (Texas Instruments Inc., 2013), yang stabil dan panas yang dihasilkan cenderung kecil sehingga tidak memerlukan *heatsink* besar. Arus yang mengalir akan menyesuaikan peningkatan tegangan dan tahanan dalam yang dimiliki laser dioda. Mikrokontroler Atmega328 dengan *clock speed* 16 MHz dan 14 pin digital I/O (Atmel, 2015), digunakan untuk memproses perintah dan mengendalikan pemilihan resistor *feedback* ke LM2596 melalui penyalaan *relay*, sehingga instrumen yang dirancang dapat menghasilkan pengendalian tegangan keluaran. Koneksi *bluetooth* dan *smartphone* android digunakan sebagai pengganti tombol pengendali instrumen laser dioda yang dirancang dengan MIT app inventor. Perancangan aplikasi android dapat dilakukan dengan mudah dan dengan *user interface* sederhana yang mudah dipahami.

Dalam penelitian ini dilakukan rancang bangun instrumen laser dioda inaktivasi yang digunakan untuk terapi penyakit periodontal, dengan diujikan

secara *in vitro* pada bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* sebagai salah satu mikroba dalam rongga mulut yang ikut berperan menyebabkan penyakit periodontal, dan dikombinasikan dengan *photosensitizer* eksogen klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*). Instrumen laser dioda inaktivasi akan menggunakan laser dioda yang memiliki panjang gelombang 445 nm dan 650 nm. Penelitian fotodinamik dilakukan secara *in vitro* dengan 4 variasi dosis energi untuk menguji dosis energi yang mampu menyebabkan inaktivasi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* paling banyak.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, dapat dipaparkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apakah Atmega328 pada Arduino Uno dan IC LM2596 dapat digunakan sebagai mikrokontroler dan *driver* laser dioda pada rancang bangun instrumen laser dioda untuk inaktivasi bakteri periodontal?
2. Bagaimana performansi instrumen laser dioda yang dirancang dalam mengendalikan daya keluaran dan waktu paparan laser dioda?
3. Bagaimana pengaruh variasi dosis energi dan penambahan *photosensitizer* klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) dalam inaktivasi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* secara *in vitro*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam usulan penelitian ini antara lain:

1. Menggunakan arduino Uno dengan mikrokontroller Atmega328 untuk mengatur *driver* laser dioda sebagai pengendali daya dan waktu pemaparan laser dioda
2. Menggunakan IC LM2596 sebagai *driver* untuk mengatur tegangan dan arus suplai ke laser dioda
3. Menggunakan multimeter digital DT830B untuk mengukur arus dan tegangan.
4. Menggunakan monokromator JASCO CT10 dan detektor powermeter Thorlabs PM100D untuk karakterisasi panjang gelombang dan daya *output* sumber cahaya
5. Parameter yang diamati adalah persentase koloni bakteri yang terinaktivasi, baik itu pada kelompok perlakuan tanpa *photosensitizer* dan pada kelompok perlakuan dengan *photosensitizer* klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) yang dikombinasikan dengan pemaparan variasi dosis energi laser dioda
6. Penelitian dilakukan secara *in vitro* pada *ependorf tube* dengan media air fisiologis

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini terbagi atas tujuan umum dan tujuan khusus, antara lain:

1. Tujuan Umum

Tujuan penelitian adalah menghasilkan instrumen laser dioda inaktivasi yang dapat digunakan untuk inaktivasi bakteri penyebab penyakit periodontal dan memperoleh variasi dosis energi penyinaran yang dapat mengurangi koloni bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* secara *in vitro*.

2. Tujuan Khusus

Tujuan khusus penelitian ini terbagi menjadi tiga, yakni sebagai berikut:

- a. Menganalisis kemampuan Atmega328 pada Arduino Uno dan IC LM2596 sebagai mikrokontroler dan *driver* laser dioda pada rancang bangun instrumen laser dioda untuk inaktivasi bakteri periodontal.
- b. Menganalisis performansi instrumen laser dioda yang dirancang dalam mengendalikan daya keluaran dan waktu paparan laser dioda sehingga dapat digunakan untuk pengujian fotodinamik inaktivasi.
- c. Menganalisis pengaruh variasi dosis energi dan penambahan *photosensitizer* klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) terhadap inaktivasi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* secara *in vitro*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian teknobiomedik dalam bidang instrumentasi medis berupa rancang bangun instrumen laser dioda yang diharapkan bermanfaat untuk inaktivasi bakteri penyebab penyakit atau pemanfaatan bidang *photodynamic therapy* lain dengan sumber cahaya laser dioda.

Instrumen pengendali dirancang menggunakan komponen elektronika yang mudah ditemui di pasaran dan aplikasi android yang bersifat *open source*, sehingga biaya produksi instrumen dapat lebih rendah dari instrumen PDT lainnya dengan pengendalian daya laser dioda dan waktu yang dapat disesuaikan, dilengkapi data karakterisasi dan hasil uji inaktivasi pada bakteri penyebab penyakit periodontal..

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fotodinamik Terapi

Fotodinamik terapi dikenal juga dengan istilah terapi *photoradiation*, *phototherapy* dan *photochemicotherapy* (Konopka & Goslinski, 2007), merupakan modalitas pengobatan untuk *cancer* dan berbagai penyakit dengan memanfaatkan *reactive oxygen species* (ROS) yang dihasilkan untuk mengoksidasi molekul intraseluler target agar diperoleh kematian sel target (Plaetzer *et al.*, 2009). Penerapan terapi fotodinamik untuk inaktivasi sel dikenal dengan istilah PDI atau *Photodynamic Inactivation* (Hamblin & Hasan, 2004), atau sebelumnya pernah digunakan istilah PACT yakni *Photodynamic Antimicrobial Chemotherapy* sebagai desinfektan untuk inaktivasi virus dan infeksi (Wainwright, 1998).

Prosedur klinis terapi fotodinamik diawali dengan pemberian zat *photosensitizer* eksogen pada sel atau sekitar jaringan ganas yang akan diterapi. Pemberian *photosensitizer* diusahakan hanya pada jaringan yang akan diterapi sehingga reaksi fotosensitisasi yang terjadi hanya mempengaruhi jaringan yang diterapi. Selanjutnya dilakukan penyinaran cahaya dengan sumber cahaya yang memiliki panjang gelombang dapat diserap *photosensitizer* agar diperoleh reaksi yang menghasilkan zat toksik ROS. Zat toksik tersebut menyebabkan terjadi kematian secara nekrosis dan apoptosis pada sel ganas yang diterapi (Cox, 2007).

Terapi fotodinamik menggunakan zat *photosensitizer* dan berkas cahaya, yang bersifat non toksik ketika digunakan secara terpisah. Saat *photosensitizer* dan berkas cahaya dikombinasikan pada sel target serta didukung dengan ketersediaan oksigen disekitarnya, maka akan timbul zat toksik dengan efek yang mematikan bagi sel target.

Proses fotosensitisasi dipengaruhi porfirin sebagai molekul *photosensitizer* yang peka terhadap cahaya, dimana porfirin endogen umumnya dimiliki bakteri yang kepekaannya dapat ditingkatkan dengan penambahan zat eksogen (Nitzan *et al.*, 2004). Proses fotosensitisasi dipengaruhi kesesuaian panjang gelombang cahaya dengan spektrum serap molekul *photosensitizer* agar diperoleh respon terapi yang optimal (Papageorgiou, Katsambas, & Chu, 2000).

2.2 Cahaya

Cahaya merupakan salah satu komponen penting pada terapi fotodinamik karena energi foton yang dihasilkan cahaya berfungsi mengaktifkan molekul *photosensitizer* agar terjadi proses fotofisika sebagai awal terjadinya mekanisme fotodinamik. Cahaya yang digunakan pada terapi fotodinamik harus tidak berbahaya dan merupakan cahaya tampak atau *near IR*. Cahaya yang digunakan harus memiliki panjang gelombang dapat diserap oleh *photosensitizer* yang digunakan (Oruba *et al.*, 2015).

Untuk memperoleh efek inaktivasi bakteri, harus diperhatikan dosis pemberian cahaya dengan melakukan pemilihan panjang gelombang serta pengaturan rapat daya dan rapat energi penyinaran yang digunakan (Grossweiner, Grossweiner, & Rogers, 2005). Panjang gelombang, rapat daya dan rapat energi penyinaran berperan dalam dosimetri fotodinamik.

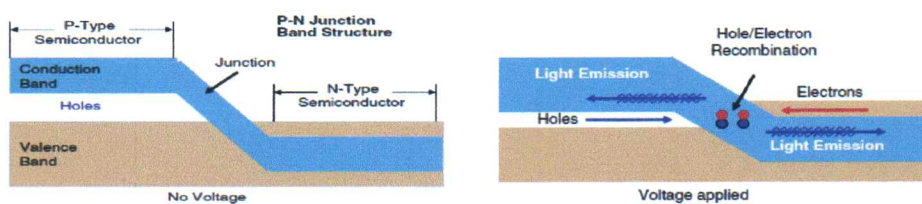
Panjang gelombang cahaya yang digunakan harus sesuai dengan spektrum serap *photosensitizer* agar terjadi penyerapan foton cahaya oleh molekul *photosensitizer*. Rapat daya adalah daya radiasi cahaya per luas area penyinaran (watt.cm^{-2}), merupakan banyak foton cahaya yang dikirim tiap luasan penyinaran dan sering diistilahkan dengan intensitas. Rapat energi adalah lama waktu penyinaran rapat daya, atau daya radiasi kali lama waktu dibagi luas area penyinaran (J. cm^{-2}).

Sumber cahaya pada fotodinamik dapat menggunakan LED atau laser. Laser merupakan akronim dari *Light Amplification Stimulation by Emission Radiation*, digunakan pada fotodinamik karena sifatnya monokromatis, koheren, memiliki intensitas tinggi dan bisa difokuskan (Prasad, 2003). Terdapat berbagai macam jenis laser yang diklasifikasikan dari dasar *pumping process*, medium laser dan *temporal feature* yang digunakan untuk memperoleh cahaya terstimulasi, tapi yang sering digunakan pada penelitian fotodinamik adalah laser dioda. Umumnya penggunaan laser dikombinasikan dengan serat optik yang berguna untuk mengarahkan cahaya.

2.2.1 Laser Dioda

Laser dioda sering disebut dengan laser semikonduktor karena menggunakan media *pumping* yang terbuat dari bahan semikonduktor dan dipengaruhi arus listrik untuk menghasilkan laser, pertama kali didemonstrasikan pada tahun 1962 (Hall *et al.*, 1962). Laser dioda (LD) dan LED dapat menghasilkan cahaya karena bahan semikonduktor didalamnya dialiri arus listrik, yang disebut *electroluminescence* (Numai, 2015).

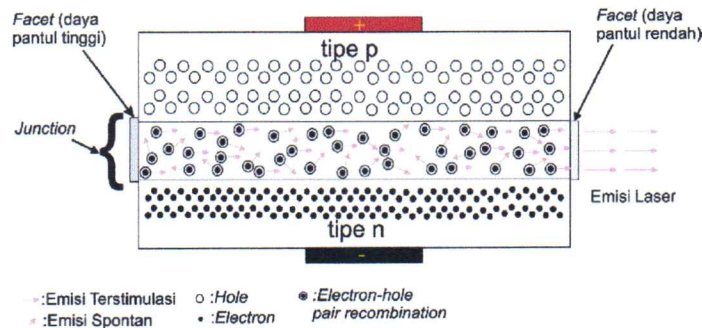
Semikonduktor yang digunakan adalah gabungan material tipe p (memiliki banyak *hole* sehingga bermuatan positif dan termasuk dalam pita valensi) dan material tipe n (memiliki banyak elektron sehingga bermuatan negatif dan termasuk dalam pita konduksi). Ketika semikonduktor dengan pita struktur berbeda dikombinasikan akan terbentuk *pn heterojunction*. Pada *pn heterojunction* terdapat energi *bandgap* antara pita valensi dan pita konduksi yang menjaga agar muatan elektron dan *hole* tidak berpindah. Dengan memberikan tegangan maju yang setara dengan energi *bandgap*, energi yang menjaga agar tidak terjadi perpindahan muatan menghilang sehingga terjadi aliran arus menyebabkan elektron meninggalkan pita valensi dan mengalir ke pita konduksi. Terjadi *inversion population* dimana populasi elektron di pita konduksi lebih banyak dari pita valensi. Elektron bebas pada pita konduksi akan berusaha kembali ke pita valensi. Elektron tersebut akan melepas foton sehingga dapat kembali ke pita valensi dan berpasangan dengan *hole*. Peristiwa tersebut dinamakan rekombinasi atau *electron-hole pair recombination* (Csele, 2004).



Gambar 2. 1. Rekombinasi Terjadi Karena Pemberian Tegangan (Raulin & Karsai, 2011)

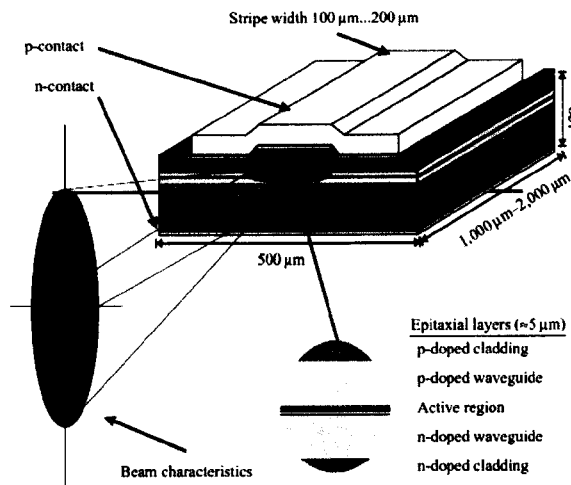
Foton dari proses rekombinasi awal memiliki panjang gelombang, fase dan arah sebaran berbeda (emisi spontan). Pada sambungan terdapat celah resonator sehingga emisi foton spontan akan memantul, terserap dan menginduksi terjadinya rekombinasi kembali, akhirnya diperoleh emisi terstimulasi dengan panjang

gelombang, fase dan arah yang sama. Emisi terstimulasi dapat menjadi *output* dari laser semikonduktor dengan sifat monokromatis, koheren dan terarah (Numai, 2015).



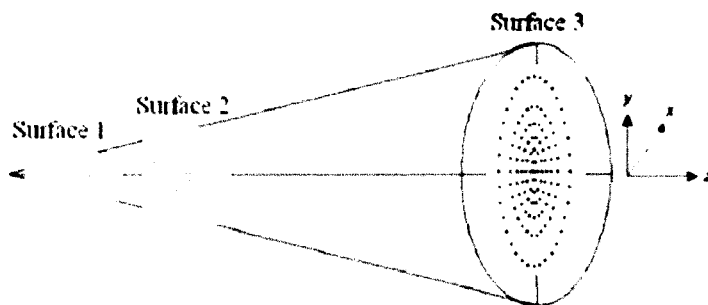
Gambar 2. 2. Emisi Spontan Menginduksi Emisi Terstimulasi

Warna cahaya (panjang gelombang) yang dipancarkan dari emisi laser semikonduktor bergantung dari energi *bandgap* material semikonduktor penyusun *pn junction* (Csele, 2004). Komponen semikonduktor Indium Galium Nitrida (InGaN), merupakan bahan semikonduktor campuran Galium Nitrida (GaN) dan Indium Nitrida (InN) yang dapat menghasilkan emisi cahaya biru dengan energi *bandgap* bervariasi dari 1.95 – 3.40 eV, bergantung dari fraksi mol Indium (Nakamura, Mukai, & Senoh, 1994). Kombinasi komponen semikonduktor lain seperti Alumunium Galium Indium Phosphide (AlGaInP), dapat digunakan untuk memperoleh emisi cahaya dengan kecerahan tinggi pada spektrum warna merah, oranye dan kuning (Schubert, 2003).



Gambar 2. 3. Pancaran Cahaya Laser Dioda(Bachmann, Loosen, & Poprawe, 2007)

Berkas cahaya laser dioda akan berubah pancarannya tiap jarak yang ditempuh. Berkas cahaya laser dioda akan cenderung berbentuk elips dengan berbagai sudut divergensi.



Gambar 2. 4. Berkas Laser Dioda (Hasan & Lee, 2015)

Ditunjukkan pada gambar 2.4, berkas laser dioda yang pertama kali keluar (*strip* emisi) akan berbentuk elips dengan diameter terbesar pada sumbu-x. Selanjutnya pada jarak (sumbu-z) beberapa mikron, strip emisi laser dioda berubah menjadi berbentuk melingkar. Kemudian berkas laser dioda kembali berbentuk elips dengan diameter terbesar pada sumbu-y setelah jarak yang jauh.

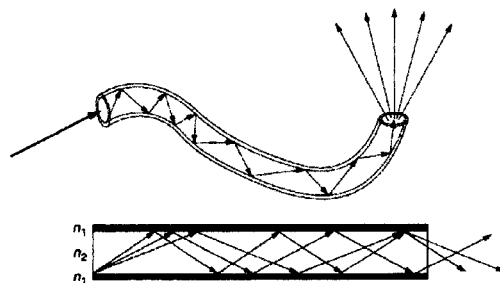
Laser dioda memiliki kelebihan dibandingkan sistem laser yang lain (Pospiech & Liu, 2004), antara lain:

- Menggunakan *chip* semikonduktor berukuran kecil untuk memperoleh laser sehingga dapat dengan mudah digabungkan dengan instrumen lain
- Dapat menggunakan daya listrik rendah untuk menghasilkan laser
- Eksitasi elektron dapat terjadi dengan arus listrik yang rendah
- Berkas laser berbentuk lingkaran yang relatif kecil

Kelebihan lain dari laser dioda adalah biaya produksinya rendah dan memiliki reliabilitas tinggi sehingga sering diaplikasikan pada banyak bidang. Namun disisi lain laser dioda memiliki kekurangan, yakni sensitif terhadap peningkatan temperatur (Pospiech & Liu, 2004).

2.2.2 Serat Optik

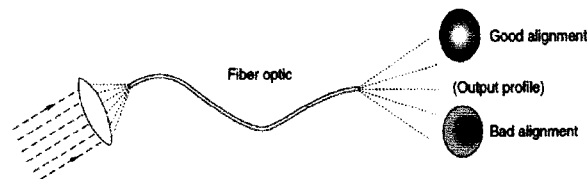
Serat optik lebih dikenal dengan istilah fiber optik memiliki bentuk yang panjang, tipis, fleksibel dan terbuat dari kaca atau campuran silika dengan diameter dari beberapa mikron hingga ratusan mikron, serta memiliki kemampuan menangkap cahaya dalam rentang panjang gelombang 200 nm (UV) sampai 1600 nm (IR), untuk dikirimkan dari satu sisi ke sisi lainnya (Prasad, 2003).



Gambar 2. 5. Perambatan Cahaya Pada Fiber Optik (Prasad, 2003)

Cahaya dapat ditangkap dari ujung satu fiber optik dan berakhir ke ujung lain karena *total internal reflection* antara serat (*core*) dengan bahan lapisan luar (*cladding*). *Total internal reflection* terjadi karena terdapat perbedaan indeks bias

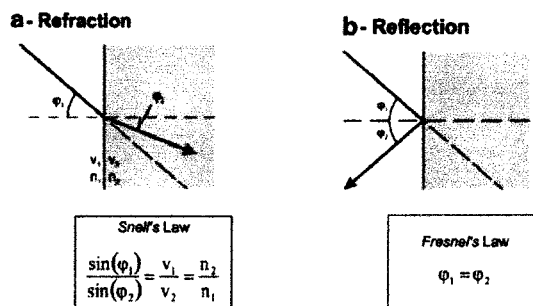
antara indeks bias *core* (n_2) dan indeks bias *cladding* (n_1), dimana $n_2 > n_1$. Dalam menggunakan fiber optik untuk transmisi cahaya, perlu dilakukan penyelarasan berkas cahaya yang masuk ke fiber optik, karena akan mempengaruhi berkas cahaya yang keluar dari fiber optik.



Gambar 2. 6. Pengaruh Penyelarasan Berkas Cahaya Masuk Terhadap keluaran Fiber Optik (Prasad, 2003)

2.3 Interaksi Cahaya Terhadap Jaringan

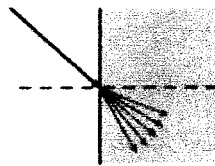
Interaksi cahaya terhadap jaringan diawali dengan perambatan cahaya melewati medium dengan melibatkan peristiwa pembiasan (*refraction*), pemantulan (*reflection*), penyerapan (*absorption*) dan hamburan (*scattering*).



Gambar 2. 7. Peristiwa (a) Pembiasan dan (b) Pemantulan (Plaetzer *et al.*, 2009)

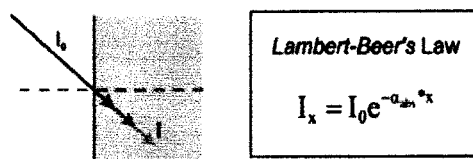
Peristiwa pembiasan dan pemantulan cahaya melalui dua medium dijelaskan dalam hukum Snellius dan hukum Fresnel. Pada hukum Snellius, ϕ_1 adalah sudut datang dan ϕ_2 sudut bias sinar terhadap garis normal, v_1 dan v_2 adalah kecepatan sinar datang dan sinar bias, kemudian n_1 dan n_2 adalah indeks bias medium sinar datang dan medium yang dilalui sinar bias. Pada hukum Fresnell, ϕ_1

adalah sudut datang dan ϕ_2 sudut pantul sinar terhadap garis normal. Peristiwa pembiasan dan pemantulan berpengaruh terhadap berkurangnya intensitas cahaya, yang ditentukan oleh nilai relatif dan indeks bias. Peristiwa pemantulan dan pembiasan cahaya dipengaruhi oleh sudut datang cahaya. Agar intensitas cahaya yang dirambatkan ke medium tidak banyak berkurang, dapat dilakukan pemaparan cahaya tegak lurus dengan medium.



Gambar 2. 8. Peristiwa Hamburan Cahaya (Plaetzer *et al.*, 2009)

Peristiwa hamburan cahaya yang terjadi pada jaringan mempengaruhi intensitas dan pengarahannya. Hamburan cahaya terjadi bersamaan dengan pembiasan dan menyebabkan terjadinya pelebaran berkas cahaya, hal tersebut berakibat pada berkurangnya daya ($W.m^{-2}$) serta kesesuaian pengarahannya ke target.



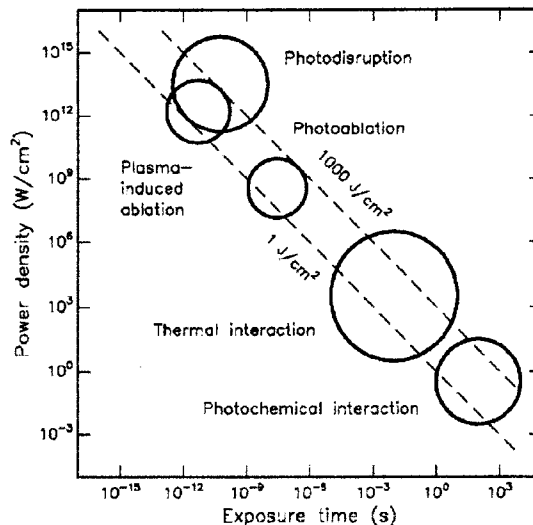
Gambar 2. 9. Peristiwa Absorpsi Cahaya (Plaetzer *et al.*, 2009)

Peristiwa absorpsi ikut berperan dalam berkurangnya intensitas cahaya saat penetrasi medium yang dalam. Peristiwa berkurangnya intensitas dapat dijelaskan menggunakan hukum Lambert-Beer, dengan I_x adalah intensitas cahaya pada kedalaman x , I_0 adalah intensitas awal dan α_{abs} merupakan konstanta absorpsi. Karena hamburan ikut berpengaruh, maka koefisien hamburan (α_{sca}) diikuti

sertakan. Sehingga besarnya intensitas cahaya yang diserap jaringan dihitung dengan persamaan;

$$I_x = I_0 e^{-(\alpha_{abs} + \alpha_{sca}) \cdot x} \quad 2.1$$

Interaksi cahaya terhadap jaringan dipengaruhi rapat daya dan lama paparan sehingga menghasilkan beberapa interaksi yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. 10. Pemetaan Interaksi Cahaya Terhadap Jaringan (Niemz, 2007)

Terdapat 5 interaksi yang dapat terjadi akibat pengaruh rapat daya dan lama waktu paparan cahaya pada jaringan (Niemz, 2007), yang dijelaskan sebagai berikut:

- Interaksi *photochemical* merupakan reaksi kimia yang terjadi pada makromolekul dan jaringan akibat pemaparan cahaya.
- Interaksi *photothermal* merupakan reaksi peningkatan temperatur jaringan akibat pemaparan cahaya dan dapat menghasilkan efek seperti koagulasi, penguapan, karbonisasi dan pencairan. Interaksi.
- *photoablation* adalah efek penguraian atau menghilangkan suatu materi atau jaringan karena pemaparan cahaya dengan intensitas tinggi.

- Interaksi *plasma-induced ablation* merupakan efek perubahan formasi plasma yang menyebabkan penguraian karena pemaparan cahaya dengan intensitas lebih tinggi pada jaringan.
- Interaksi *photodisruption* merupakan efek yang terjadi akibat pemaparan cahaya dengan energi tinggi selain menyebabkan perubahan formasi plasma juga menghasilkan gelombang kejut dan berakhir dengan penguraian jaringan.

2.4 Photosensitizer

Photosensitizer merupakan zat yang meningkatkan kepekaan terhadap cahaya dengan menginduksi produksi porfirin pada sel (Ramberg, Melø, & Johnsson, 2004). *Photosensitizer* berperan dalam penyerapan foton dan transfer energi. Untuk memperoleh hasil inaktivasi yang efektif *photosensitizer* harus mampu melewati membran sel dan terlokalisasi pada organel sel seperti mitokondria, lisosom dan retikulum endoplasma.

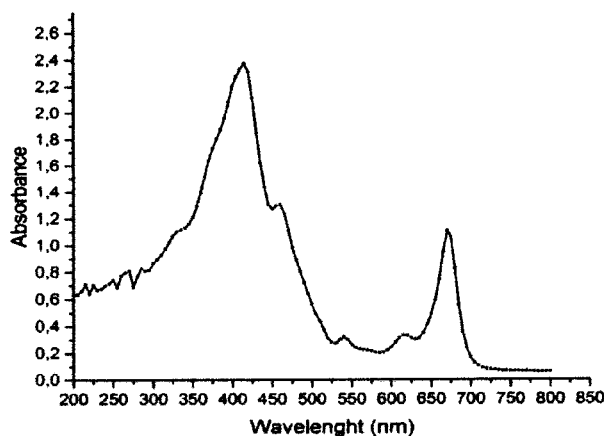
Syarat *photosensitizer* ideal untuk keperluan antimikroba (Oruba *et al.*, 2015), antara lain:

- Memiliki afinitas tinggi dalam mengikat mikroorganisme target dan tidak mempengaruhi sel induk
- Bersifat non toksik pada keadaan gelap
- Memiliki jangka waktu panjang untuk menyebabkan eksitasi singlet dan efisien mendukung konversi *singlet* ke *triplet*
- Memiliki *quantum yield* tinggi sehingga energi foton dapat terserap lebih banyak dan mendukung terbentuknya ROS

- Koefisien absorpsi tinggi pada rentang cahaya merah karena spektrum merah memiliki kemampuan penetrasi dalam pada jaringan lunak
- Kecenderungan menyebabkan bakteri menjadi resisten rendah
- Bermuatan positif sehingga dapat melekat pada dinding sel bakteri yang cenderung bermuatan negatif

2.4.1 Klorofil

Klorofil merupakan pigmen hijau yang dapat ditemukan pada kloroplas tanaman (Kusmita & Limantara, 2009). Selain pada tanaman, klorofil juga ditemukan pada alga dan bakteri. Klorofil memiliki peran penting saat proses fotosintesis karena mampu menyerap energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi kimia dengan membentuk senyawa kimia yang kaya akan energi untuk proses biosintesis karbohidrat dan senyawa lain (Milenković *et al.*, 2012). Penggunaan klorofil berpotensi sebagai *photosensitizer* karena energi foton yang diserap ketika fotosintesis menyebabkan terjadi eksitasi *singlet* klorofil yang relatif lama ($\leq 10^{-8}$ detik). Eksitasi *singlet* klorofil yang berlangsung lama berpotensi mendukung terjadi *intersystem crossing* (ISC) untuk memperoleh eksitasi *triplet* molekul klorofil dan memberi peluang terjadi transfer energi ke molekul oksigen disekitar sel target untuk memproduksi *reactive oxygen species* (Budiyanto, Notosudarmo, & Limantara, 2009).



Gambar 2. 11. Spektrum Serap Klorofil Dari Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera*)

Dengan mengetahui hubungan absorbansi dan spektrum cahaya dari klorofil yang diekstrak dari daun kelor (*Moringa oleifera*), dapat dihitung kemampuan transmitansi klorofil terhadap spektrum cahaya yang diberikan sebagai berikut,

$$abs = \log \frac{1}{t} \quad (2.2)$$

Dimana, abs merupakan absorbansi dari *photosensitizer* dan t adalah transmitansi. Nilai transmitansi yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk perhitungan persentasi absorbansi *photosensitizer* sebagai berikut.

$$\% \text{ absorpsi} = (1 - t) \times 100\% \quad (2.3)$$

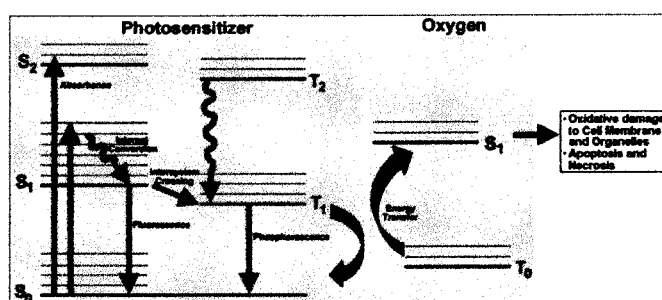
Nilai persentasi absorpsi *photosensitizer* diistilahkan dengan *quantum yield*. Dengan mengalikan persentase absorpsi dengan dosis energi cahaya yang dipaparkan, maka akan diperoleh dosis energi cahaya yang diserap oleh *photosensitizer*. Dosis energi yang diserap *photosensitizer* berhubungan dengan energi yang menyebabkan terjadi eksitasi molekul *photosensitizer* endogen (*porfirin*) atau eksogen (klorofil), dengan terjadinya ISC akan terbentuk molekul *triplet* yang dibutuhkan pada proses fotodinamik untuk menghasilkan ROS.

2.5 Interaksi Cahaya Dengan Molekul

Cahaya akan berinteraksi dengan molekul terjadi selama fotosensitisasi berlangsung. Interaksi tersebut terbagi atas fotofisika, fotokimia dan fotobiologi.

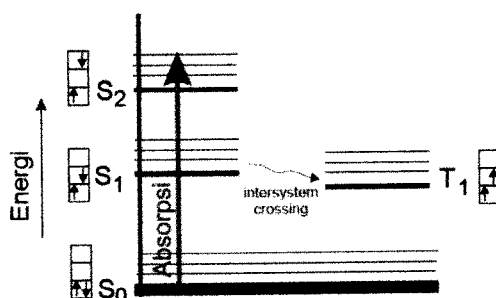
2.5.1 Fotofisika

Fotofisika merupakan proses yang terjadi pertama kali saat PDT berlangsung. Proses tersebut terjadi karena penyerapan energi foton oleh molekul *photosensitizer* yang memicu terjadinya *electronic transfer state*. Peristiwa *electronic transfer state* pada metode fotodinamik dijelaskan dalam diagram Jablonski berikut.



Gambar 2. 12. Diagram Jablonski dan Interaksi Terhadap Molekul Oksigen (Master, Livingston, & Gupta, 2013)

Pada keadaan normal, molekul *photosensitizer* berada di tingkat dasar (konfigurasi elektron tingkat energi orbital terendah) dan dalam kondisi *singlet*. Hal tersebut diistilahkan dengan *ground state*, S₀. Ketika dilakukan pemaparan berkas cahaya dan terjadi penyerapan energi foton, elektron akan berpindah ke tingkat energi orbital lebih tinggi dan terjadi eksitasi *singlet state*, S_x (x=1, 2, 3..., tergantung pada peningkatan energi (Plaetzer *et al.*, 2009).



Gambar 2. 13. Eksitasi Singlet Karena Absorpsi Energi Foton dan Jalur Peluruhan *Intersystem Crossing*

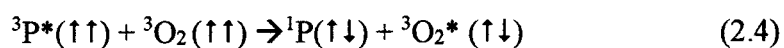
Molekul *photosensitizer* yang tereksitasi tersebut cenderung akan berusaha kembali ke *ground state*. Terdapat 2 jalur peluruhan dari eksitasi *singlet state* ke *ground state*, yakni jalur *non-radiative* dan jalur *radiative*. Jalur *radiative* mengembalikan eksitasi *singlet state* ke kondisi *singlet ground state* diikuti pelepasan energi foton dan menghasilkan fluoresensi. Sedangkan jalur *non radiative* akan menyebabkan terjadi *intersystem crossing*, dimana eksitasi *singlet state* diubah ke eksitasi *triplet state* (T_x) selanjutnya diubah kembali ke kondisi *singlet di ground state* bersamaan dengan dilepaskan energi foton yang menghasilkan fosforesensi (Niemz, 2007). *Photosensitizer* pada eksitasi *triplet state* akan mempengaruhi molekul lain (misalnya oksigen) dengan memicu proses fotokimia.

2.5.2 Fotokimia

Fotokimia merupakan proses yang terjadi setelah proses fotofisika. *Photosensitizer* yang tereksitasi *triplet state* akan kembali ke keadaan *singlet ground state*, diikuti mekanisme transfer energi yang memicu terjadi dua tipe reaksi kimia mempengaruhi oksigen atau molekul disekitar area fotosensitisasi. Dua tipe reaksi tersebut adalah reaksi tipe I dan reaksi tipe II.

Pada reaksi tipe I, *Photosensitizer* yang tereksitasi *triplet state* akan bereaksi dengan H₂O atau biomolekul lain seperti oksigen disekitar area fotosensitisasi. Terjadi transfer elektron atau proton ke molekul oksigen atau biomolekul lain sehingga membentuk radikal anion atau kation. Reaksi radikal yang terbentuk akan bereaksi dengan molekul oksigen memicu *reactive oxygen species* (ROS). Reaksi tipe I umumnya menghasilkan anion superoksida, dimana anion superoksida yang banyak terbentuk akan bereaksi dengan dirinya menghasilkan hidrogen peroksida (H₂O₂) melalui reaksi *superoxide dismutase* (SOD). Hidrogen peroksida dapat dengan mudah melewati membran sel. Anion superoksida juga dapat bereaksi dengan ion metal seperti Fe(III) menyebabkan terbentuk Fe(II). Fe(II) yang terbentuk bereaksi dengan hidrogen peroksida menyebabkan terbentuk hidroksil radikal (OH*) melalui reaksi Fenton. Dalam konsentrasi tinggi Hidrogen peroksida juga dapat bereaksi dengan anion superoksida dan menghasilkan hidroksil radikal (Plaetzer *et al.*, 2009).

Pada reaksi tipe II, terjadi reaksi antara *Photosensitizer* yang tereksitasi *triplet state* dengan molekul oksigen *triplet* (³O₂), menghasilkan eksitasi oksigen *singlet* (¹O₂*) (Cox, 2007).



Eksitasi oksigen *singlet* bersifat sangat reaktif yang mampu menyebabkan oksidasi sel dan nekrosis.

Reaksi tipe I dan tipe II membutuhkan ketersediaan oksigen dalam pembentukan ROS. Hidroksil radikal, *singlet* oksigen, hidrogen peroksida dan anion superoksida merupakan agen oksidatif yang berpengaruh dalam reaksi sitotoksik dan menyebabkan kerusakan sel.

2.2.3 Fotobiologi

Fotobiologi adalah efek yang ditimbulkan dari interaksi cahaya dengan molekul organisme hidup, yang dapat menginduksi perubahan fisik, termal, mekanis dan kimia serta kombinasinya (Prasad, 2003).

Dari proses fotokimia yang dijelaskan sebelumnya, dihasilkan agen oksidatif baik itu dari reaksi tipe I maupun tipe II. Agen oksidatif tersebut akan bereaksi dengan organisme hidup menyebabkan efek oksidatif. Efek oksidatif dapat menyebabkan kerusakan pada membran, protein dan DNA sel (Grossweiner, Grossweiner, & Rogers, 2005).

Agen oksidatif yang bereaksi dengan membran menyebabkan perubahan pada protein di membran luar atau protein membran plasma (Bhatti *et al.*, 1998), yang dapat menyebabkan kerusakan membran sel dan memicu modifikasi membran lipid atau lipopolisakarida sehingga terjadi kebocoran isi dan kandungan sel, serta berpengaruh dalam inaktivasi sistem transport dan enzim (Harris, Chatfield, & Phoenix, 2005). Pecahnya membran sel dan peningkatan permeabilitas tersebut menyebabkan terjadi kematian secara nekrosis (Prasad, 2003). Protein merupakan target utama agen oksidatif karena jumlahnya melimpah pada sistem biologi dan memiliki laju reaksi yang tinggi. Oksidasi dapat terjadi pada protein *backbone* dan ikatan asam amino menyebabkan kerusakan yang tidak dapat diperbaiki kembali (Davies, 2005).

Kerusakan biologis juga terjadi pada DNA sel ketika agen oksidatif menyerang basis nukleat yang membawa kode genetik dan merusak hubungan gugus gula yang menghubungkan untai DNA, serta menyebabkan terjadinya hubungan silang antara DNA dengan protein. Meskipun sel memiliki kemampuan

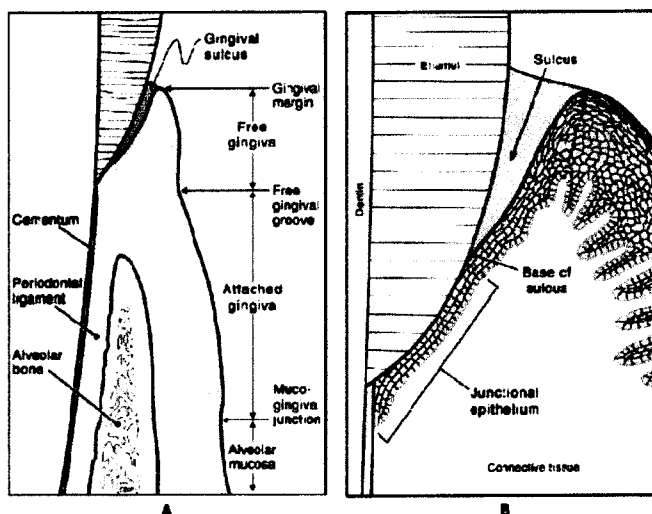
memperbaiki diri, dampak kerusakan oksidatif pada protein dan DNA yang berlebihan dapat menyebabkan terjadi mutasi atau kematian sel. Komponen guanin pada DNA sangat rentan mengalami kerusakan oksidatif akibat eksitasi oksigen *singlet* (Castano, Demidova, & Hamblin 2004).

Photosensitizer yang terlokalisasi pada mitokondria dapat menyebabkan ROS yang terbentuk mengoksidasi sistem respirasi sel. Kerusakan pada mitokondria akan mengganggu kemampuan pengaturan kematian sel (*programmable cell death*) dan mengakibatkan terjadi kematian sel secara apoptosis (Prasad, 2003).

2.6 Penyakit Periodontal

Periodontal (periodontium) adalah jaringan pendukung dan tempat tertanamnya gigi (Nanci & Bosshardt, 2000). Jaringan periodontal terdiri atas gingiva, ligamen periodontal, sementum dan tulang alveolar (Newman *et al.*, 2015). Gingiva adalah *oral mucosa* yang melapisi tulang alveolar dan akar gigi. Gingiva tersusun atas sel epitel dan berfungsi sebagai penghalang struktur terdalam terhadap serangan organisme mikroba serta memiliki fungsi pensinyalan. Ligamen periodontal merupakan vaskular kompleks dengan jaringan ikat yang mengelilingi akar gigi dan dinding dalam tulang alveolar, memiliki fungsi *physical* (menyangga gigi, pelindung saraf dan vaskular serta transmisi gaya mekanis saat mengunyah), fungsi *formative and remodelling* (berperan dalam pembentukan dan resorpsi tulang serta sementum, juga ikut dalam penyembuhan cedera), fungsi *nutritional* (menyuplai nutrisi ke sementum, tulang dan gingival melalui pembuluh darah) dan fungsi *sensory* (memiliki serabut saraf untuk mengirimkan transmisi sensasi rabaan,

tekanan dan nyeri). Sementum merupakan jaringan terkalifikasi yang menutupi akar gigi dan memiliki molekul pendukung yang meningkatkan proliferasi fibroblast gingival dan sel ligamen periodontal. Tulang alveolar tersusun atas tulang kancellus dan tulang kompak membentuk maksila dan mandibula, serta menyokong dan memegang kedudukan gigi.

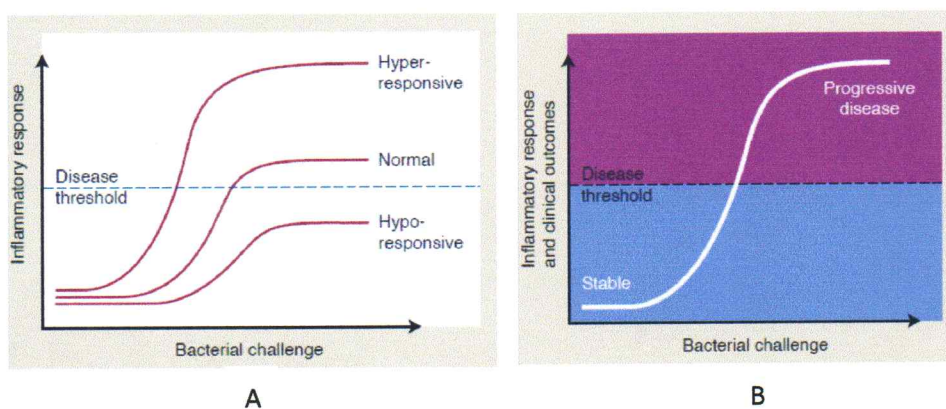


Gambar 2. 14. A, Struktur Cross Section Anatomi Periodontal Sehat.
B, Gambar Sulkus dengan Dasar Sulkus Terbentuk dari Junctional Epithelium (Nield-Gehrig & Willmann, 2003)

Terdapat ekologi bakteri mulut antara koloni mikroorganisme komensal dan koloni bakteri yang bersifat patogen. Mikroorganisme komensal merupakan bakteri pada permukaan sel epitel tubuh manusia yang dalam kondisi tertentu dapat bersifat menguntungkan seperti merangsang sel epitel mukosa dalam memelihara *barrier* dan berkontribusi terhadap homeostasis serta pertahanan tubuh individu *host* (Krisanaprakornkit *et al.*, 2000) dipengaruhi mekanisme nutrisi dan metabolik (Brestoff & Artis, 2013). Sedangkan bakteri patogen cenderung memberi respon inflamasi melalui faktor virulensi yang dihasilkan. Kedua bakteri tersebut tumbuh saling menekan sehingga tidak terjadi pertumbuhan berlebihan yang dapat

mengganggu kesehatan tubuh. Pertumbuhan bakteri oral yang berlebih dapat menyebabkan inflamasi dan memicu terjadinya penyakit periodontal.

Penyakit periodontal adalah lesi rongga mulut yang menyebabkan daerah penyangga gigi kehilangan struktur kolagen akibat respon tubuh karena terjadi penumpukan bakteri patogen pada jaringan periodontal (Sari, Nawawi, & Alif, 2014). Koloni bakteri berada pada plak yang dapat terbentuk pada subgingival (bawah batas gingiva, antara gigi dengan epitel kantung periodontal) atau pada supragingiva (di batas gingiva dan permukaan gigi).



Gambar 2. 15. A, Respon Inflamasi Berbanding Peningkatan Koloni Bakteri B, Keadaan Jaringan Periodontal Berbanding Peningkatan Koloni Bakteri (Newman *et al.*, 2015)

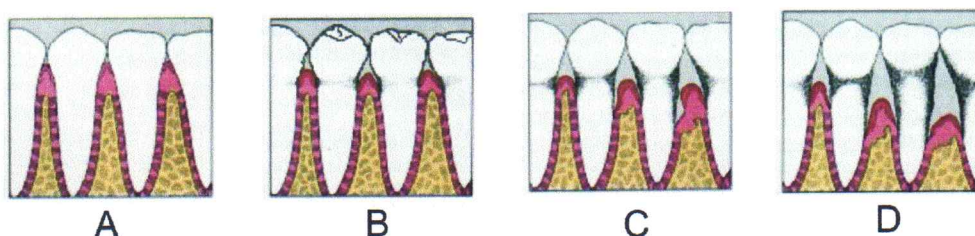
Penyakit periodontal yang terjadi akibat peningkatan jumlah koloni bakteri patogen memiliki respon inflamasi yang berbeda untuk setiap individu. Gambar 2.15 menunjukkan respon inflamasi lebih cepat terjadi pada individu dengan *hyper-response* dibandingkan individu dengan *hypo-respon* yang sangat lambat merasakan respon inflamasi ketika terjadi peningkatan jumlah pertumbuhan bakteri patogen. Sedangkan untuk individu normal, jumlah koloni bakteri yang tumbuh hingga menyebabkan respon inflamasi berada diantara individu *hyper-response* dan individu *hypo-respon*. Pada kondisi normal jumlah bakteri akan tumbuh stabil

dalam jumlah sedikit dan tidak menyebabkan peningkatan respon inflamasi. Terdapat batasan respon inflamasi yang menunjukkan jika pertumbuhan bakteri telah menyebabkan respon inflamasi melampaui batasan dan tidak ditangani, respon inflamasi yang terjadi dapat menyebabkan penyakit progressive seperti penyakit periodontal (Newman *et al.*, 2015).

Penyakit periodontal diklasifikasikan menjadi dua, yakni gingivitis dan periodontitis. Gingivitis berupa inflamasi yang terjadi terbatas pada jaringan gingiva. Sedangkan periodontitis merupakan kelanjutan dari gingivitis, yakni penyakit destruktif yang mempengaruhi seluruh jaringan pendukung gigi termasuk ligamen periodontal, sementum dan tulang alveolar (Gupta, 2011).

Lesi pada penyakit periodontal terbagi menjadi 4 tahap (Newman *et al.*, 2015). Tahap pertama adalah *Initial lesion*, pada tahap ini bakteri menyerang bagian superfisial gingival dan menyebabkan terjadi sedikit peningkatan permeabilitas vaskular dan vasodilatasi, diikuti sel *immune* (leukosit) mulai aktif. Tahap kedua adalah *Early lesion* atau merupakan gingivitis fase awal, terjadi peningkatan permeabilitas vaskuler, vasodilatasi dan infiltrasi leukosit (limfosit dan neutrofil) yang semakin banyak menyebabkan degenerasi fibroblas, kerusakan kolagen, akhirnya jaringan ikat kekurangan kolagen diikuti proliferasi *junctional epithelium* dan *sulcular epithelium*. Tahap ketiga adalah *Established lesion* dimana gingivitis fase awal berkembang menjadi gingivitis kronis. Infiltrasi sel inflamasi (sel plasma, limfosit, neutrofil) terjadi semakin banyak dan terakumulasi pada jaringan ikat. Terjadi peningkatan pelepasan *metalloproteinase* dan kandungan lisosom dari neutrofil. Kolagen makin berkurang dan proliferasi epitel terjadi semakin signifikan, serta terbentuk kantung epitel yang berisi neutrofil. Tahap

keempat adalah *Advanced lesion* yakni fase saat gingivitis berkembang menjadi periodontitis. Neutrofil semakin banyak mengisi kantung epitel dan kantung periodontal, serta infiltrasi sel inflamasi (umumnya sel plasma) semakin banyak ke jaringan ikat. *Junctional epithelium* berpindah secara apikal sepanjang permukaan akar ke area yang kehilangan kolagen untuk menjaga keutuhan penghalang epitel. Kerusakan kolagen berlanjut sehingga area jaringan ikat yang kehilangan kolagen meluas dan terjadi resorpsi osteoklas tulang alveolar menyebabkan kerusakan jaringan penyangga gigi.



Gambar 2. 16. A, Periodontal Sehat. B, Gingivitis. C, Periodontitis Sedang. D, Periodontitis Hebat

Terjadinya penyakit periodontal dipengaruhi koloni bakteri yang menumpuk pada plak. Jika bakteri terakumulasi pada gigi akan menyebabkan respon inflamasi secara reversible pada jaringan gusi yang selanjutnya menyebabkan destruksi permanen pada daerah lokalisasi bakteri tersebut (Rieuwpassa & Hatta, 2009). Bakteri memiliki virulen faktor yang memungkinkan bakteri melakukan kolonisasi pada subgingival, tidak dipengaruhi sistem *immune* dan sebagai faktor yang menyebabkan timbul penyakit (Gupta, 2011). Bakteri patogen kebanyakan jenis bakteri gram-negatif seperti *Porphyromonas gingivalis* (P.g), *Prevotella intermedia* (P.i), *Bacteroides forsythus* (B.f), *Aggregatibacter* (sebelumnya *Actinobacillus*) *actinomycetemcomitans* (A.a), *Fusobacterium*

nucleatum (F.n), *Capnocytophaga species* (C.sp) dan *Campylobacter rectus* (C.r) (Kesić *et al.*, 2008).

2.6.1 Bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*

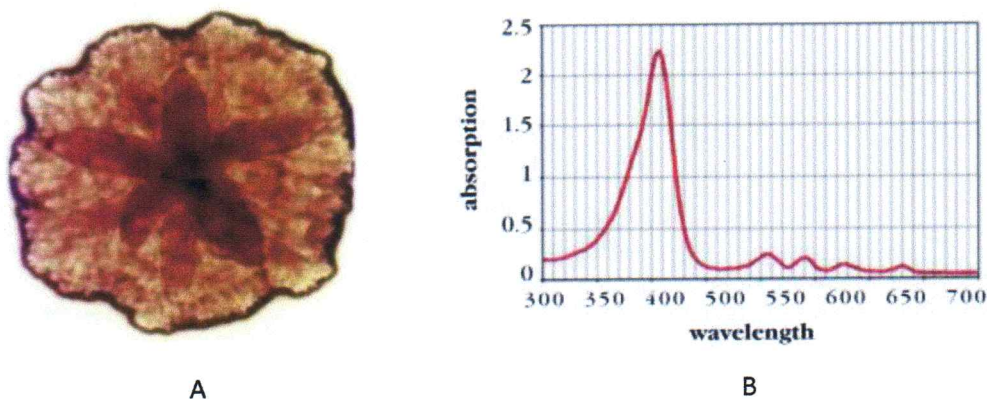
Bakteri *Aggregatibacter* (sebelumnya *Actinobacillus*) *actinomycetemcomitans* (A.a.) merupakan salah satu flora dalam rongga mulut yang berpotensi menyebabkan penyakit periodontal khususnya *localized aggressive periodontitis* (Fine *et al.* 2007). Bakteri A.a. termasuk dalam kelompok HACEK (*Haemophilus spp*, *A. actinomycetemcomitans*, *Cardiobacterium hominis*, *Eikenellacorrodens* dan *Kingella kingae*) patogen (Fine *et al.* 2006), sebagai salah satu bakteri penyebab infeksi endokartitis (Das *et al.* 1997).

Tabel 2. 1. Taksonomi Bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*

<i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i>	
Kingdom	<i>Bacteria</i>
Phylum	<i>Ptoteobacteria</i>
Class	<i>Gammaproteobacteria</i>
Order	<i>Pasteurellales</i>
Family	<i>Pasteurellaceae</i>
Genus	<i>Anggregatibacter</i>
Species	<i>actinomycetemcomitans</i>

Bakteri A.a. berbentuk bulat, oval atau batang, dapat terlihat berupa *coccid* dan lebih sering berupa *bacilar*. Merupakan bakteri gram negatif fakultatif anaerob kokobasil yang tidak bergerak. Bakteri A.a. dapat tumbuh di darah atau agar coklat dan membentuk koloni setelah inkubasi selama 48-72 jam. Bakteri anaerob bacillus ini tumbuh baik pada temperatur 37° C, tapi juga dapat tumbuh pada temperatur 20 - 42° C (Kesić *et al.*, 2009). Bakteri A.a. memiliki porfirin endogen antara lain Uroporphyrin (35%), 7-Carboxylporphyrin (5%), Coproporphyrin I (1%),

Coproporphyrin III (4%) dan Protoporphyrin IX (55%) (Fyrestam *et al.*, 2015). Protoporphyrin IX merupakan porfirin endogen paling dominan yang dimiliki bakteri Aa dengan spektrum serap *soret band* pada 405 nm dan peak Q band pada 510 nm, 545 nm, 580 nm, 630 nm, 670 nm, dan 700 nm (Torezan, Niwa, and Neto, 2009).



Gambar 2. 17.A, Bentuk Bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (Kesić *et al.*, 2009). B, Spektrum Serap Protoporphyrin IX (Torezan, Niwa, and Neto, 2009)

Bakteri A.a. dapat ditemukan dalam plak gigi, kantung periodontal dan mukosa pipi serta terbukti merupakan organisme penting dalam etiologi penyakit periodontal (Zambon, 1985), dijelaskan sebagai berikut:

- Jumlah bakteri A.a. meningkat ketika terjadi penyakit periodontal
- Tingkat antibodi tinggi ketika bakteri A.a. ditemukan di serum, air liur dan cairan sulkus gingiva (GCF) saat terjadi penyakit periodontal
- Temuan bahwa penyakit periodontal berhasil diobati ketika bakteri A.a. dihilangkan dari kantung periodontal
- Hasil histopatologi menjelaskan bakteri A.a. menyerang jaringan ikat gingival pada lesi penyakit periodontal

- Bakteri A.a. menghasilkan sekret patogen yang mempengaruhi respon inflamasi sehingga menyebabkan terjadi penyakit periodontal.

Sebagai penyebab penyakit periodontal, bakteri A.a. menghasilkan virulen faktor seperti kapsuler polisakarida yang membantu bakteri dapat melekat kuat pada permukaan mukosa periodontal sehingga memicu respon inflamasi tubuh (Zambon, 1985), kemudian menghasilkan leukotoxin (LtxA) yang merupakan *membrane-active toxin* terhadap sel darah putih (Kachlany, 2010), menghambat sampai bahkan membunuh leukosit polimorfonuklear (PMN) dan limfosit, serta menghasilkan endotoksin lipopolisakarida (LPS) untuk menstimulasi makrofag melepaskan interleukin IL -1, IL-1 β dan *tumor necrosis factor* (TNF) sehingga menginduksi terjadinya resorpsi tulang (Kesić *et al.*, 2008), yang juga merupakan faktor penghambat bagi fibroblas dan kolagen (Kesić *et al.*, 2009).

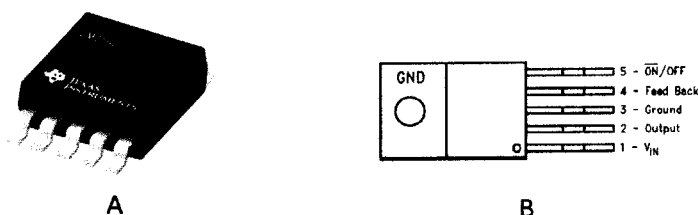
2.7 Komponen Pendukung Rancang Bangun Instrumen

Dalam rancang bangun instrumen laser dioda inaktivasi, diperlukan komponen utama yang mendukung dalam sistem kerja instrumen. Komponen tersebut antara lain *driver* laser dioda, mikrokontroller, *relay*, perangkat komunikasi *bluetooth* dan *smartphone* android.

2.7.1 *Driver* Laser Dioda

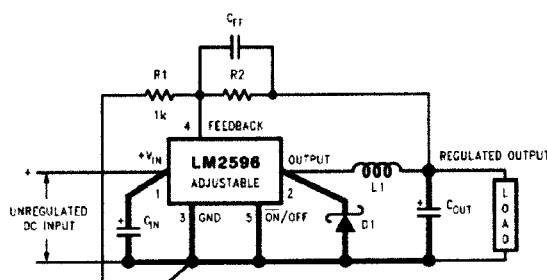
Laser dioda memerlukan *driver* yang digunakan untuk mengendalikan daya laser yang dikeluarkan. Umumnya *driver* laser merupakan rangkaian regulator tegangan yang mengatur tegangan yang masuk untuk digunakan sebagai *input* laser dioda. Rangkaian regulator tegangan dapat menggunakan IC regulator LM 2596.

LM 2596 adalah IC yang digunakan untuk aplikasi *step-down switching regulator* dengan arus hingga 3A dan tegangan *input* yang mampu diregulasi mencapai 40 V untuk menghasilkan tegangan *output* 1,2 V sampai 37 V \pm 4% tergantung kondisi sumber suplai dan beban (Texas Instruments Inc., 2013).



Gambar 2. 18. A, Bentuk Fisik IC LM 2596. B, Konfigurasi Pin Kaki IC LM 2596 (Texas Instruments Inc., 2013)

Konfigurasi rangkaian minimal menggunakan IC LM 2596 ditunjukkan sebagai berikut,



Gambar 2. 19. Konfigurasi Rangkaian IC LM 2596 (Texas Instruments Inc., 2013)

Tegangan *output* dapat diatur dengan mengubah penggunaan nilai tahanan pada R_1 dan R_2 mengikuti rumus berikut,

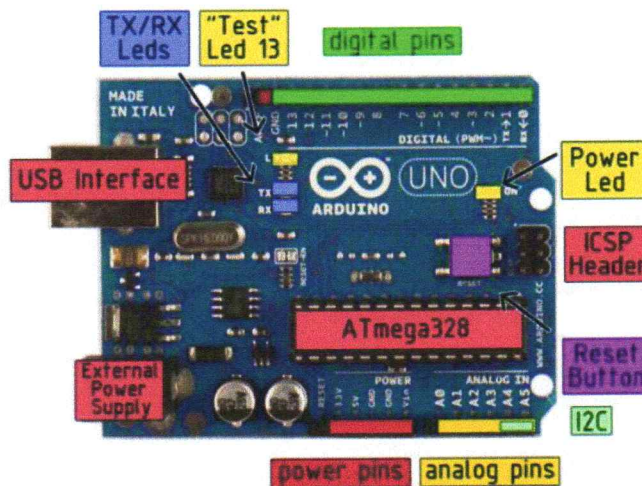
$$V_{out} = V_{ref} \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (2.5)$$

Dengan nilai V_{ref} sebesar 1,23 V dan nilai R_1 disarankan menggunakan tahanan sebesar $1\text{K}\Omega$ resistor 1% untuk memperoleh kestabilan rangkaian terbaik. IC LM 2596 memiliki fitur perlindungan yakni pembatas arus dan pemutus temperatur berlebih untuk proteksi ketika terjadi kesalahan.

2.7.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah alat pengendali (*controller*) berukuran mikro atau sangat kecil yang dikemas dalam bentuk *chip* dan pada dasarnya bekerja seperti sebuah *mainboard* pada komputer dengan bagian – bagian mikrokontroler antara lain: CPU (*Central Processing Unit*), *Memory Program*, *Memory data*, alat pemrograman, *Input/ output*, dan modul tambahan (Taufiq 2009). Dalam rancang bangun akan digunakan mikrokontroler Atmega328 yang dikemas pada *board* arduino uno.

Arduino merupakan *platform* yang mengkombinasikan *hardware* dan *software* (Banzi, 2011). *Hardware* tersebut adalah I/O (*Input/ Output*) *board*, dan *software* adalah *Integrated Development Environment (IDE)* yang membantu menulis program pada PC, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam *memory* mikrokontroler pada *board* arduino (Djuandi, 2011).



Gambar 2. 20. Bentuk Fisik *Board* Arduino Uno

Arduino Uno menggunakan mikrokontroler Atmega328 dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:

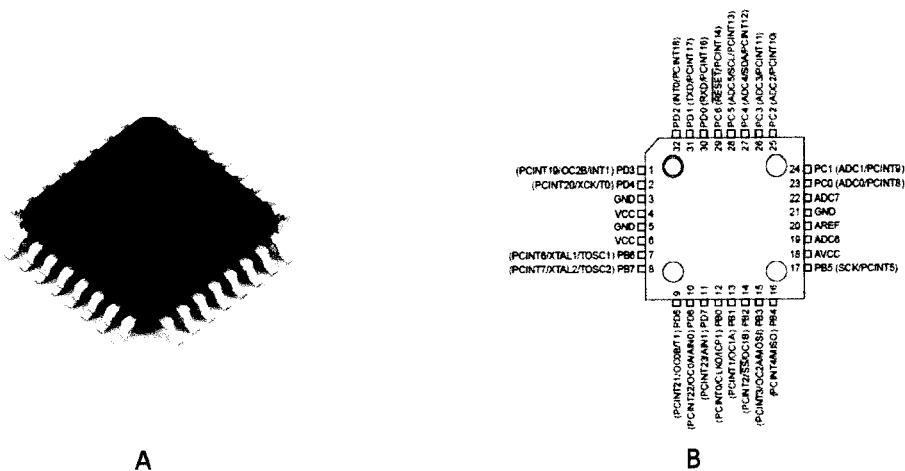
Tabel 2. 2. Spesifikasi Teknis *Board* Arduino Uno

<i>Microcontroller</i>	Atmega328
<i>Operating Voltage</i>	5 V
<i>Input Voltage (recommended)</i>	7-12V
<i>Input Voltage (limits)</i>	6-20V
<i>Digital I/O Pins</i>	14 (6 pin diantaranya adalah <i>output</i> PWM)
<i>Analog Input Pins</i>	16
<i>DC Current per I/O Pin</i>	40 mA
<i>DC Current for 3.3V Pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB (0,5KB diantaranya telah digunakan untuk <i>bootloader</i>)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

Atmega328 termasuk dalam mikrokontroler Atmel®AVR® 8-Bit yang memerlukan daya rendah untuk beroperasi dan memiliki performa tinggi (Atmel, 2015). Fitur dari mikrokontroler Atmega328 antara lain:

- Menggunakan RISC (*Reduce Instruction Set Computer*)
- Memiliki 131 instruksi, dimana untuk meningkatkan performa dan *parallelism*, digunakan arsitektur Harvard yang memisahkan *memory* dan bus untuk program dan data. Instruksi dalam *program memory* tersebut dieksekusi dalam satu alur, dimana pada saat satu instruksi dikerjakan, instruksi berikutnya telah diambil dari *program memory*. Dengan begitu, hampir keseluruhan instruksi dapat dieksekusi dengan satu siklus *clock*
- Memiliki 32 x 8 Register aktif serbaguna dan mendukung operasi ALU (*Arithmetic Logic Unit*) sehingga dapat dikerjakan dalam satu siklus
- Memiliki kecepatan mencapai 16 MIPS dengan *clock* 16 MHz

- Memiliki 32 KB *Flash memory* dan pada arduino uno telah digunakan 0,5 KB dari flash memori sebagai *bootloader* (program inisiasi ketika CPU mendapatkan daya).
- Memiliki EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 1KB sebagai tempat penyimpanan data semi permanen yang akan tetap dapat tersimpan meskipun catu daya dimatikan
- Memiliki SRAM (*Static Random Access Memory*) sebesar 2KB yang bersifat *volatile* (hilang saat daya dimatikan) dan digunakan untuk variabel dalam program
- Mendukung komunikasi SPI
- Memiliki pencacah (*timer*) 8-bit dan 16-bit
- Memiliki modul USART (*Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter*) terintegrasi



Gambar 2. 21. A, Bentuk Fisik Mikrokontroler Atmega328. B, Konfigurasi Pin Mikrokontroler Atmega328 (Atmel, 2015)

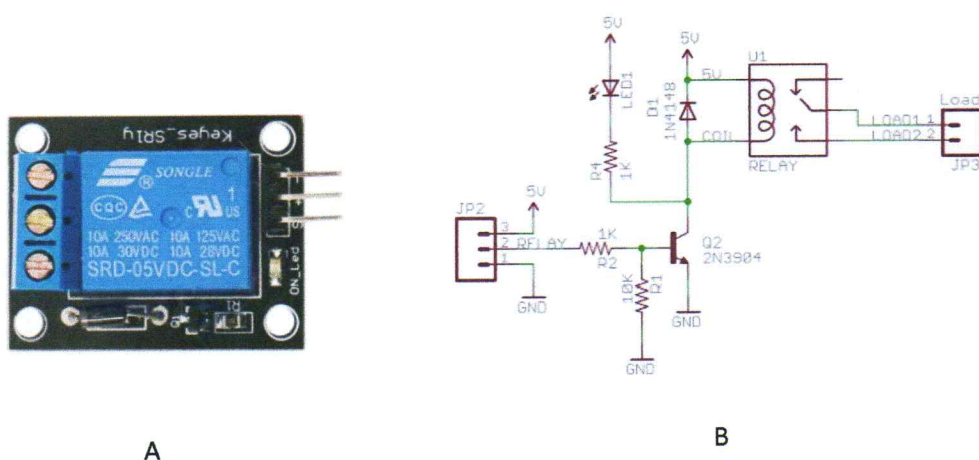
Board Arduino Uno mendapat daya dari *port* USB atau menggunakan sumber tegangan luar. *Port* USB pada *board* berfungsi menerima *coding* program

dari PC atau sebagai komunikasi serial antara *board* dengan PC. Tombol reset pada *board* berfungsi untuk melakukan reset sehingga program akan memulai kembali dari awal dan bukan untuk menghapus program atau mengosongkan mikrokontroler (Djuandi, 2011). Tiap pin digital I/O beroperasi pada tegangan 5 V dan arus maksimum 40 mA. Terdapat RX LED dan TX LED yang digunakan untuk memantau kegiatan *transfer* data dan penerimaan data antara *port* USB arduino dan PC. *Board* Arduino Uno memiliki pengaman berupa *resettable polyfuse* yang menjaga koneksi USB dari arus lebih dan *short circuit*, dimana jika terdapat arus lebih dari 500 mA mengalir pada *port* USB maka sekering akan secara otomatis putus.

2.7.3 Relay

Relay merupakan perangkat yang berfungsi sebagai penghubung dan pemutus arus listrik atau berfungsi seperti saklar. Prinsip kerja *relay* adalah memanfaatkan elektromagnet, dimana ketika koil yang berada dalam *relay* dialiri arus listrik, maka akan timbul medan magnet yang menarik aktuator sehingga mengubah posisi saklar-saklar yang berada didalam *relay*. *Relay* dibedakan menurut spesifikasi tegangan pengontrol koil dan kemampuan *relay* dalam memutus dan menyambung arus serta tegangan listrik.

Saat ini telah terdapat *shield relay* yang dapat dengan mudah dipadukan dengan perangkat mikrokontroler seperti arduino. *Shield relay* memungkinkan arduino mengendalikan beban yang memerlukan daya besar.

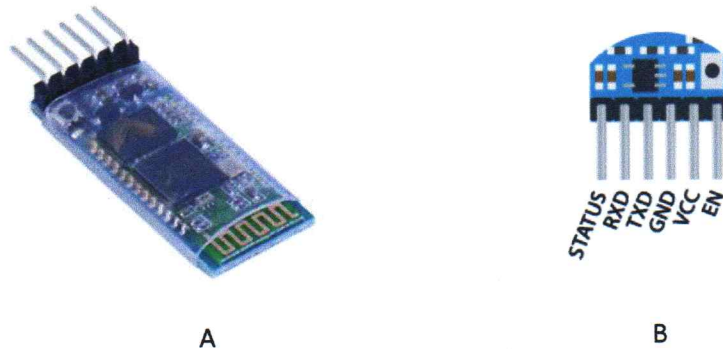


Gambar 2. 22. A, *Shield Relay Single*. B, *Wiring Shield Relay*

Gambar 2.21 menunjukkan *shield relay single* dengan kebutuhan VCC sebesar 5 VDC dan mampu mengendalikan beban yang membutuhkan arus mencapai 10 A dan tegangan mencapai 250 VAC atau 30 VDC. Terdapat 3 pin yang dihubungkan ke mikrokontroler yakni pin 1 (VCC), pin 2 (aktivasi *relay*) dan pin 3 (GND). Dengan mengirimkan perintah 0 (*LOW*) atau 1 (*HIGH*) pada pin 2, dapat dilakukan aktivasi *relay* yang awalnya NO (*normally open*) menjadi NC (*normally close*). Kebutuhan VCC *relay* yang sebesar 5 VDC dapat ditangani dengan menggunakan *power out* dari *board* arduino sehingga memudahkan kombinasi penggunaan *board* arduino dan *shield* relay.

2.7.4 Bluetooth

Bluetooth adalah perangkat yang digunakan dalam menghubungkan perangkat satu dengan lainnya tanpa menggunakan kabel. Teknologi *Bluetooth* memanfaatkan frekuensi radio dengan pita frekuensi Industri-Sains-Medis (ISM) yakni 2,4GHz (Hermawan, Setiawan, & Andromeda, 2011). Salah satu perangkat *bluetooth* yang dapat dengan mudah dikombinasikan untuk kepentingan riset instrumen adalah *Bluetooth serial port module* HC-05.



Gambar 2. 23. A, *Bluetooth Module HC-05*. B, Konfigurasi Pin Module

Bluetooth module HC-05 merupakan *bluetooth SPP (Serial Port Protocol) module* yang dirancang untuk koneksi *serial* nirkabel, dengan kualifikasi *bluetooth Ver. 2.0 + EDR (Enhanced Data Rate)* sebesar 3 Mbps dan dirancang dengan ukuran kecil serta konsumsi daya rendah sehingga dapat menyederhanakan desain instrumen yang dirancang (ITead Studio, 2010).

2.7.5 Android

Android merupakan sebuah sistem operasi untuk perangkat *mobile* berbasis Linux yang mencakup sistem operasi, *middleware* dan aplikasi (Safaat, 2014). Sebagai perangkat lunak yang dipergunakan untuk produk ponsel/ *smartphone*, android menyediakan *platform* terbuka bagi para pengembang dalam menciptakan aplikasi mereka. Android merupakan *platform mobile* pertama yang lengkap (*complete platform*), terbuka (*open source platform*) dan bebas (*free platform*) (Safaat, 2014).

Dinyatakan lengkap (*complete platform*) karena Android sebagai sistem operasi yang aman menyediakan banyak *tools* dalam membangun *software* dan memungkinkan dalam pengembangan aplikasi. Kemudian terbuka (*open source platform*) karena *platform* android tersedia dengan lisensi *open source* dan

pengembang dapat dengan bebas mengembangkan aplikasi android. Selanjutnya bebas (*free platform*) karena android merupakan *platform* yang bebas untuk para pengembang, tanpa ada *royalty*, tanpa biaya keanggotaan, tanpa biaya pengujian, tanpa kontrak yang diperlukan, serta aplikasi untuk android pun dapat didistribusikan atau diperdagangkan dalam bentuk apapun.

Dalam melakukan pemrograman android, terdapat ketersediaan *Application Programming Interface* (API) yang menambah daya tariknya. Beberapa API yang disediakan dan fungsinya antara lain (Utomo, 2012).

1. Akses ke *hardware* seperti kamera, GPS, dan akselerometer.

Android telah menyertakan API yang dapat melibatkan penggunaan *hardware* dalam proses *development* aplikasi.

2. Google Maps, *Geolocation*, dan layanan berbasis lokasi.

Android juga mendukung pembuatan aplikasi yang berbasis peta, melakukan proses interaktif dengan Google Maps sehingga dapat mengakses peta secara penuh.

3. Layanan *background*.

Android juga mendukung layanan yang dijalankan di balik layar (tidak terlihat oleh pengguna).

4. SQLite *database*.

Android menyediakan basis data relasional yang cukup efisien untuk menyimpan dan menampilkan data.

5. *Sharing* data dan komunikasi antar aplikasi.

Android menyediakan tiga teknik untuk transmisi informasi dari aplikasi ke pengguna yaitu notifikasi (penampilan pesan *alert*), *intens* (pengiriman

pesan di dalam atau antar aplikasi) dan *content provider* (mengakses data yang disimpan).

6. Penggunaan *widget*, *live folder*, *live wallpaper*.

Android menyediakan penggunaan berbagai *widget*, *live wallpaper* menjadikan aplikasi yang dibuat lebih dinamis.

7. *Support* media dan grafis 2 dan 3 dimensi.

Dukungan penggunaan layar yang lebih besar dan disertai resolusi yang tinggi. Android juga menyediakan *library* grafis 2 dimensi dan 3 dimensi serta *library image*, *video*, dan *audio*.

8. Manajemen proses dan optimalisasi memori.

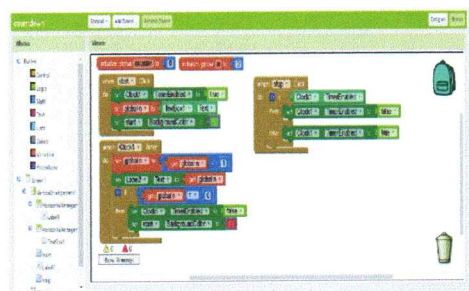
Android menggunakan *runtime* dan *virtual machine* untuk manajemen memori aplikasi yang digunakan.

2.7.6 MIT App Inventor

MIT App Inventor adalah perangkat pemrograman visual secara *drag and drop* untuk merancang dan membangun aplikasi *mobile* yang dapat berfungsi secara penuh untuk sistem operasi android. Penggunaan app inventor memungkinkan pengembang untuk lebih fokus pada logika pemrograman daripada sintaks dan bahasa *coding* (Pokress & Veiga, 2013).



A



B

Gambar 2. 24. A, Bagian *Designer*. B, Bagian *Block Editor*.

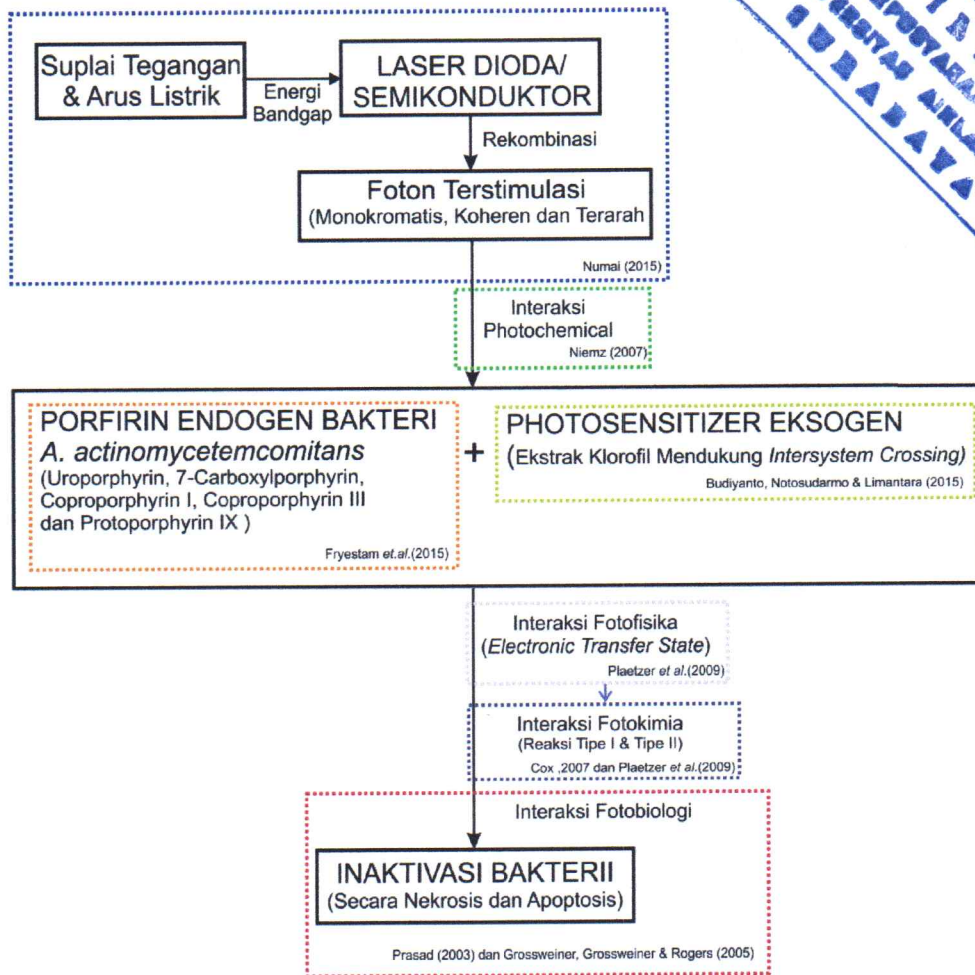
Dalam app inventor terdiri dari dua bagian, yakni bagian *designer* dan bagian *block editor*. Pada bagian *designer* dilakukan perancangan tampilan aplikasi dan melakukan pemilihan komponen yang digunakan dalam aplikasi yang dirancang, sedangkan pada bagian *block editor* dilakukan perancangan bagaimana kerja dari aplikasi yang dirancang. Membangun blok app inventor akan menggunakan elemen antarmuka seperti tombol, label, *list picker*, gambar dan lainnya, yang kemudian dikombinasikan dengan fitur perangkat *mobile* seperti *texting*, GPS, NFC, *bluetooth*, sensor dan lainnya, sehingga pengembang dapat dengan mudah memanipulasi fungsi *touch enable*, *portable* dan *sensing* dari perangkat *mobile* android (Pokress & Veiga, 2013).

BAB III
KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS

BAB III

KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS

3.1 Kerangka Konseptual



Gambar 3. 1. Kerangka Konseptual

Terjadinya penyakit periodontal dipengaruhi koloni bakteri yang menumpuk pada plak dan menyebabkan respon inflamasi secara reversible pada jaringan gusi yang selanjutnya menyebabkan destruksi permanen pada daerah lokalisasi bakteri tersebut. Salah satu mikrobial yang berperan dalam penyakit periodontal adalah bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (Aa).

Fotodinamik adalah modalitas terapi dengan memanfaatkan ketersediaan oksigen, *photosensitizer* dan cahaya untuk menghasilkan pembentukan *reactive oxygen species*, yang berpotensi dimanfaatkan dalam inaktivasi bakteri penyebab penyakit periodontal.

Laser dioda merupakan sumber foton yang akan mengaktifkan agen *photosensitizer* menyebabkan terjadi eksitasi molekul (*electronic transfer state*). Untuk memperoleh eksitasi molekul *photosensitizer*, sumber foton harus memancarkan berkas dengan panjang gelombang yang dapat diserap *photosensitizer*. Sehingga perlu dilakukan penyesuaian panjang gelombang laser dioda yang digunakan dengan spektrum serap *photosensitizer*.

Instrumen laser dioda dirancang memiliki pengendalian daya *output* laser dioda dan pengaturan waktu. Pengendalian dilakukan dengan mengatur suplai tegangan dan arus yang mengalir ke laser dioda. Tegangan dan arus yang mengalir akan mempengaruhi energi *bandgap* menyebabkan terjadinya rekombinasi sehingga terjadi emisi foton spontan dan foton terstimulasi dengan sifat monokromatis, koheren dan terarah (Numai 2015). Dalam fotodinamik terjadi interaksi *photochemical* yaitu reaksi kimia yang terjadi pada makromolekul dan jaringan akibat pemaparan cahaya (Niemz 2007).

Photosensitizer merupakan zat peka cahaya yang digunakan untuk meningkatkan sensitivitas penyerapan foton. Bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* sendiri diketahui memiliki porfirin endogen antara lain Uroporphyrin, 7-Carboxylporphyrin, Coproporphyrin I, Coproporphyrin III dan Protoporphyrin IX (Fyrestam et al. 2015), dengan menambahkan *photosensitizer* eksogen dapat diperoleh peningkatan kepekaan bakteri terhadap cahaya sehingga

semakin banyak energi foton yang diserap. *Photosensitizer* klorofil yang akan digunakan merupakan *photosensitizer* eksogen organik yang diekstrak dari daun kelor (*Moringa oleifera*). Ekstrak klorofil akan menyerap foton cahaya menyebabkan terjadi interaksi fotofisika dengan eksitasi *singlet* klorofil yang relatif lama ($\leq 10^{-8}$ detik) sehingga berpotensi mendukung terjadi *intersystem crossing* (ISC) untuk memperoleh eksitasi *triplet* molekul klorofil dan memberi peluang terjadi transfer energi ke molekul oksigen disekitar sel target untuk memproduksi *reactive oxygen species* (Budiyanto, Notosudarmo, and Limantara 2009).

Interaksi fotokimia melalui reaksi tipe I dan tipe II berpotensi menghasilkan agen oksidatif seperti hidroksil radikal, *singlet* oksigen, hidrogen peroksida dan anion superoksida yang berpengaruh dalam interaksi fotobiologi berupa reaksi sitotoksik yang dapat menyebabkan inaktivasi bakteri baik itu dengan kematian secara nekrosis atau apoptosis.

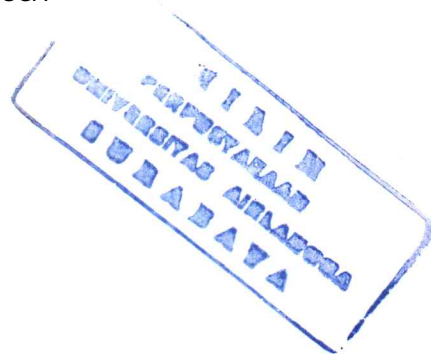
Melengkapi penelitian tentang *antimicrobial photodynamic* terhadap bakteri patogen, penelitian ini bertujuan memperoleh beberapa variasi dosis energi paparan instrumen laser dioda inaktivasi dengan dioptimalkan penggunaan *photosensitizer* klorofil ekstrak *Moringa oleifera* yang berpotensi menyebabkan inaktivasi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*.

3.2 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka dan rumusan masalah diperoleh hipotesis penelitian yakni, pemaparan laser dioda dengan spektrum cahaya biru dan merah yang dapat diserap *photosensitizer* klorofil dari ekstrak dari daun kelor (*Moringa oleifera*) dalam metode fotodinamik inaktivasi berpotensi sebagai modalitas terapi fotoinaktivasi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* penyebab penyakit

periodontal, dengan besar inaktivasi yang berbeda akan diperoleh antara penggunaan laser dioda merah dan laser dioda biru akibat pengaruh perbedaan kemampuan serap *photosensitizer* klorofil ekstrak daun *Moringa oleifera* yang digunakan.

BAB IV
METODE PENELITIAN



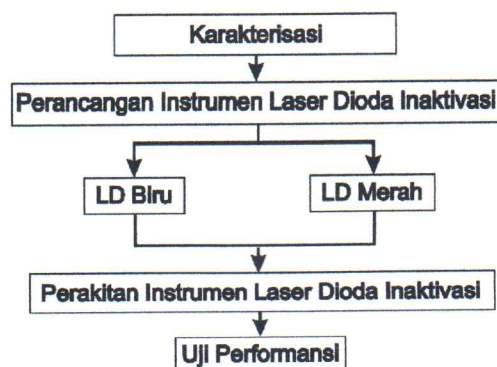
BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian yang akan dilakukan terdiri dari dua tahap yakni tahap pertama dan tahap kedua. Penelitian tahap pertama adalah studi pendahuluan dengan melakukan rancang bangun instrumen laser inaktivasi yang berfungsi mengatur daya dan waktu pemaparan laser yang berpotensi digunakan dalam inaktivasi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. Selanjutnya hasil studi pendahuluan akan digunakan dalam penelitian tahap kedua, yakni penerapan perangkat laser dioda inaktivasi dengan *photosensitizer* eksogen organik klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) yang diuji kemampuannya dalam menekan pertumbuhan bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* secara *in vitro*. Masing-masing tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut.

4.1 Penelitian Tahap Pertama

Penelitian tahap pertama merupakan jenis penelitian deskriptif dengan melakukan rancang bangun instrumen laser inaktivasi untuk mengatur daya dan waktu pemaparan laser dioda, yang berpotensi digunakan dalam inaktivasi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*.



Gambar 4. 1. Kerangka Operasional Penelitian Tahap Pertama

Gambar 4.1 menunjukkan kegiatan dalam penelitian tahap pertama, anatara lain langkah melakukan karakterisasi laser dioda yang akan digunakan, selanjutnya perencanaan rangkaian dan komponen elektronika dalam mengatur tegangan dan arus suplai ke laser dioda untuk *driver* laser dioda biru dan laser dioda merah, selanjutnya dilakukan perakitan sesuai rancangan dan kemudian dilakukan uji performansi untuk mengetahui kemampuan instrumen dalam mengendalikan tegangan dan waktu paparan laser dioda.

4.1.1 Bahan dan Alat Penelitian

Dalam instrumen laser inaktivasi akan menggunakan bahan utama laser dioda 445 nm dan laser dioda 650 nm yang sebelumnya dikarakterisasi untuk mengetahui panjang gelombang dan daya yang mampu dikeluarkan laser serta kebutuhan arus dan tegangan untuk mencapai daya tersebut, didukung perangkat arduino uno dengan mikrokontroler Atmega328, *buck converter* LM2596 sebagai *driver* laser dioda, *relay shield module*, *bluetooth module* HC-05 dan *smartphone* android. Dengan tambahan papan PCB, komponen resistor, kapasitor, PCB, baut, mur dan kabel berbagai ukuran.

Peralatan yang diperlukan adalah multimeter, solder, obeng dan tang berbagai ukuran dan peralatan kalibrasi meliputi monokromator JASCO CT10, detektor powermeter Thorlabs PM100D dan thermometer digital.

4.1.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian rancang bangun, perakitan, serta kalibrasi waktu dan temperatur instrumen dilakukan di laboratorium Biofisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga. Sedangkan untuk pengukuran daya dan panjang gelombang

dilaksanakan di laboratorium Rekayasa Fotonika, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penelitian dilaksanakan sekitar bulan Agustus–September 2016.

4.1.3 Prosedur Kerja

Prosedur kerja dalam penelitian tahap pertama untuk menghasilkan instrumen laser inaktivasi yang sesuai dengan tujuan penelitian antara lain, karakterisasi laser, perancangan instrumen, pembuatan diagram alur kerja, perakitan instrumen dan kalibrasi instrumen.

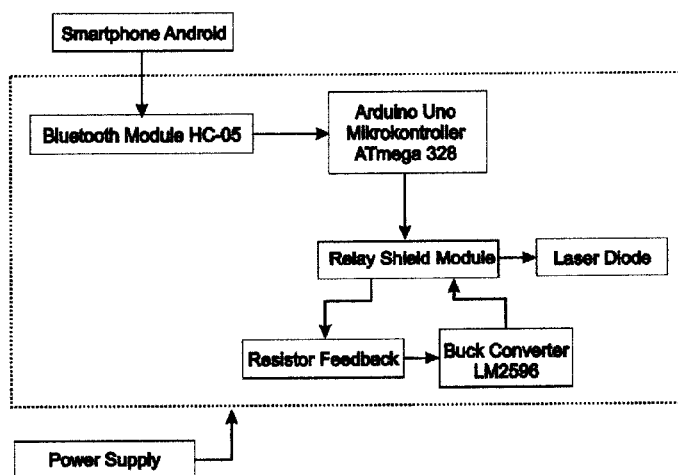
4.1.3.1 Karakterisasi Laser

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui karakter berkas laser dioda sebagai bahan utama instrumen yang akan dirancang sehingga membantu dalam pemilihan nilai komponen dalam perancangan instrumen. Dalam karakterisasi laser dioda, dicari karakter daya terhadap panjang gelombang dengan menggunakan monokromator JASCO CT10 dan detektor powermeter Thorlabs PM100D. Setelahnya dilakukan karakterisasi daya terhadap variasi tegangan *input* ke laser untuk mengetahui pengaruh tegangan dan mengukur arus terhadap daya yang dihasilkan, menggunakan detektor powermeter Thorlabs PM100D dari jarak 1 cm. Selanjutnya dilakukan karakterisasi luas berkas terhadap jarak paparan dengan menggunakan kertas milimeter blok dan jarak laser terhadap kertas bervariasi dari 1 cm sampai 5 cm dengan kenaikan 1 cm. Kemudian dilakukan karakterisasi kestabilan daya *output* laser terhadap waktu pada jarak 1 cm selama 900 detik. Terakhir dicari karakterisasi suhu terhadap waktu dengan thermometer,

untuk mengetahui perubahan suhu selama waktu pemaparan laser yang dilakukan di udara dengan jarak 1 cm.

4.1.3.2 Perancangan Instrumen

Tujuan utama penelitian tahap pertama adalah menghasilkan instrumen laser yang mampu menghasilkan pemilihan *mode* penggunaan laser (laser dioda merah dan laser dioda biru), pengaturan daya keluaran dan pengaturan waktu paparan, sehingga dilakukan perancangan blok diagram ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 4. 2. Blok Diagram Instrumen Laser Dioda Inaktivasi

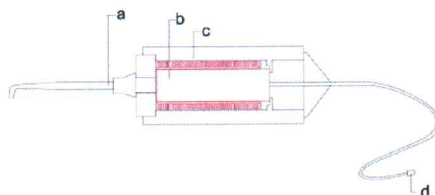
Blok diagram instrumen laser dioda inaktivasi dijelaskan sebagai berikut:

1. *Power supply* digunakan untuk memberi daya setiap komponen kontrol *unit* terutama *board* arduino Uno dengan mikrokontroler Atmega328 dan *bluetooth module* HC-05 yang akan menerima perintah dari aplikasi *smartphone* android ditandai dengan LED berwarna hijau menyala pada *control module*.

2. Ketika aplikasi android dibuka, akan tampil pilihan untuk menyalakan *bluetooth* (jika *bluetooth smartphone* belum aktif), kemudian tampak tombol *bluetooth* untuk memilih dan melakukan sinkronisasi dengan *bluetooth module* HC-05 juga menampilkan pemilihan laser dioda yang digunakan dengan pemilihan daya masing-masing dan pemilihan waktu serta tombol mulai dan stop
3. Setelah *bluetooth* terhubung, secara *default* laser biru akan terpilih pada pemilihan daya *output* terendah dengan indikator LED biru menyala di *control module*. Untuk pemilihan laser merah maka indikator LED akan menyala merah
4. Dengan memilih laser yang digunakan serta dayanya pada aplikasi android akan terjadi pengiriman data dari *smartphone* android melalui *bluetooth* dan diterima *bluetooth module* HC-05 pada *control module* untuk menjadi perintah *input* ke mikrokontroler.
5. *Input* tersebut akan diolah dan menjadi perintah pengaktifan relay untuk resistor *feedback buck converter* yang mempengaruhi tegangan *input* ke laser dioda untuk membuat laser dioda menghasilkan *output* daya bervariasi
6. Dengan melakukan pengaturan waktu dan memulai pengaktifan laser dioda, laser dioda akan menghasilkan cahaya dengan daya yang dipilih diikuti terjadi perhitungan mundur pada *smartphone* android
7. Setelah waktu tersebut habis, *smartphone* android akan mengirimkan perintah untuk menonaktifkan relay sehingga suplai arus dan tegangan

ke laser dioda terputus, penyinaran berakhir dan diikuti *smartphone* berbunyi sebagai tanda penyinaran berakhir.

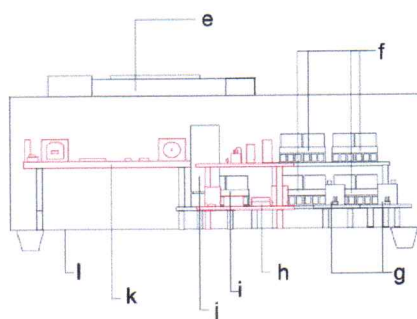
Selanjutnya dilakukan perancangan bentuk instrumen yang diharapkan, ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 3. Rancangan *Hand Module* Instrumen Laser Dioda Inaktivasi

Hand module instrumen laser dioda inaktivasi adalah bagian transduser laser yang digunakan mengarahkan laser untuk pemaparan. Berikut keterangan gambar hand module laser inaktivasi:

- a. Fiber Optik
- b. Laser Dioda
- c. *Housing Hand Module*
- d. *Connector ke control module*



Gambar 4. 4. Rancangan *Control Module* Instrumen Laser Dioda Inaktivasi

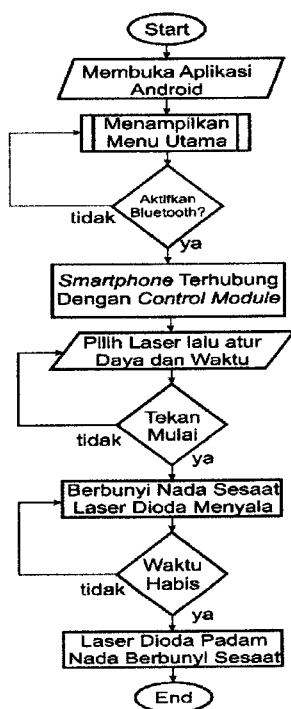
Control module Instrumen laser dioda inaktivasi adalah bagian yang mengatur *input* tegangan dan arus ke *Hand Module* serta mengolah perintah dari

smartphone android untuk mengoperasikan instrumen laser inaktivasi. Berikut keterangan gambar *control module* laser inaktivasi;

- e. *Docking smartphone* android
- f. *Relay Shield Module* pemilih resistor *feedback*
- g. Resistor *Feedback* ke *Buck Converter* LM2596
- h. *Buck Converter* LM2596
- i. *Relay Shield Module* aktivasi *output* tegangan dan arus ke *Hand Module*
- j. *Bluetooth Module* HC-05
- k. *Arduino Uno*
- l. *Casing Control Module*

4.1.3.3 Diagram Alur Kerja Instrumen

Mekanisme kerja instrumen laser inaktivasi ditunjukkan pada diagram alur kerja sebagai berikut.



Gambar 4. 5. Diagram Alir Instrumen Laser Dioda Inaktivasi

Diagram Alir instrumen laser dioda inaktivasi dijelaskan sebagai berikut :

1. Ketika *switch power on*, adapter akan mengubah daya listrik 220 VAC jala-jala PLN menjadi 9 VDC sebagai suplai ke instrumen
2. Indikator LED pada *Control Module* akan menyala berwarna hijau.
3. Ketika aplikasi pada *smartphone* android dibuka, akan menampilkan menu utama, diikuti muncul perintah mengaktifkan *bluetooth smartphone* apabila *bluetooth* belum menyala.
4. Untuk menghubungkan *smartphone* dengan *control module* dilakukan dengan menekan logo *bluetooth* pada *main menu* dan memilih *bluetooth control module (HC-05)*
5. Setelah *smartphone* dan *control module* terhubung, secara *default* laser dioda biru akan terpilih dengan daya *output* terendah, diikuti LED indikator pada *control module* akan menyala biru.
6. Selanjutnya dilakukan pemilihan penggunaan laser, daya dan waktu yang digunakan kemudian dengan menekan tombol mulai, *smartphone* akan mengirimkan perintah aktivasi melalui koneksi *bluetooth* dan diterima *board arduino uno* menggunakan *bluetooth module HC-05*. Dengan memproses perintah tersebut maka laser dioda akan menyala dengan sebelumnya akan terdengar nada sesaat sebagai tanda penyinaran akan dilakukan.
7. Hitung mundur akan ditampilkan pada layar *smartphone*. Penyinaran akan tetap berlangsung jika waktu yang ditentukan belum mencapai nol. Ketika waktu yang ditentukan telah mencapai nol, laser padam dan terdengar nada sebagai tanda penyinaran berakhir.

8. Proses penyinaran telah berakhir

4.1.3.4 Perakitan Instrumen

Perakitan instrumen diawali dengan pembuatan tata jalur dan peletakan komponen sesuai rangkaian yang dirancang dengan software. Selanjutnya tata jalur tersebut diprint dan dicetak pada papan PCB. Kemudian dilakukan pelarutan dengan FeCl_3 sehingga diperoleh papan PCB dengan jalur dan posisi peletakan komponen yang siap dilakukan pemberian lubang sesuai kaki komponen yang akan ditempatkan.

Dilakukan pemasangan komponen pada papan PCB. Komponen dipasang sesuai rangkaian yang dirancang dengan memberi tes poin untuk pengukuran tegangan dan mengantisipasi jika terjadi kesalahan dalam perancangan. Agar komponen terpasang kuat dilakukan penyolderan.

Setelah rangkaian diperiksa dengan kesesuaian tegangan dan arus yang mengalir sesuai harapan, dilakukan pengemasan dalam kotak yang ditata sehingga tidak menekan komponen yang dapat berakibat terjadi hubungan pendek serta memudahkan untuk dioperasikan dan dipindahkan.

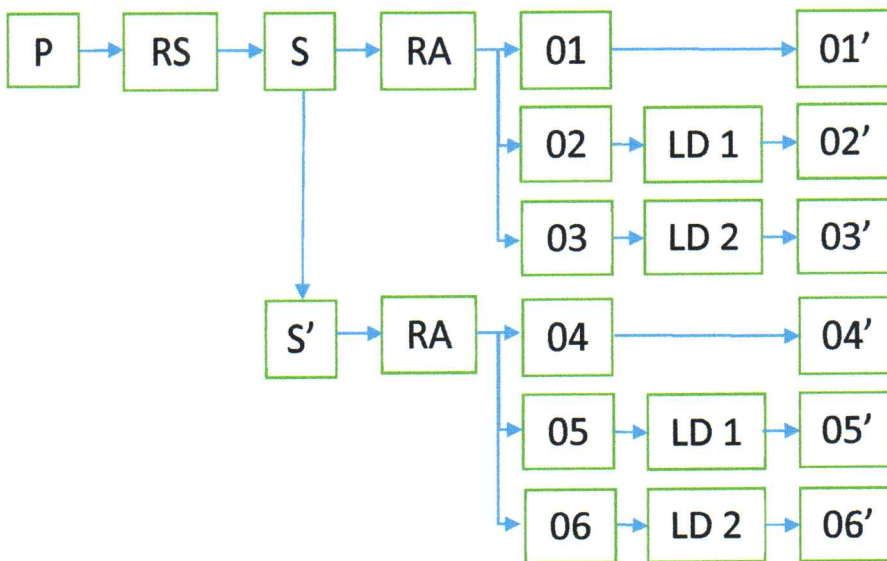
4.1.3.5 Uji Performansi Instrumen

Uji performansi yang dilakukan meliputi pengukuran daya *output* berkas laser dioda dipandu fiber optik 8 mm dari jarak 1 cm terhadap Daya *input* instrumen. Kemudian pengukuran kestabilan daya *input* yang terdiri dari keluaran tegangan dan arus *output* instrumen yang diukur selama 5 menit menggunakan multimeter digital DT830B. Selanjutnya pengukuran kestabilan daya *output* berkas laser dioda dipandu fiber optik 8 mm dari jarak 1 cm selama 5 menit. Setelah itu

dilakukan pengukuran perubahan luas berkas laser dioda dipandu fiber optik 8 mm terhadap jarak paparan dari 1 cm sampai 5 cm. Terakhir mengukur temperatur paparan yang dihasilkan berkas laser dioda dipandu fiber optik 8 mm terhadap lama waktu paparan dari jarak 1 cm untuk tiap 4 daya yang *output* instrumen laser dioda. Pengukuran daya *output* laser menggunakan detektor powermeter Thorlabs PM100D. Pengukuran temperatur paparan laser menggunakan thermometer digital. Pengukuran luas berkas menggunakan kertas milimeter blok.

4.2 Penelitian Tahap Kedua

Penelitian tahap kedua merupakan penelitian untuk menguji kemampuan laser inaktivasi bakteri yang telah dirancang pada penelitian tahap pertama dalam menginaktivasi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* dengan *photosensitizer* eksogen organik klorofil secara *in vitro* di laboratorium Gastroenteritis, *Institute of Tropical Disease* (ITD) UNAIR. Penelitian tahap kedua merupakan penelitian *true eksperimental* dengan rancangan acak lengkap pola faktorial yang terdiri atas 3 faktor yakni dosis energi, panjang gelombang dan pemberian *photosensitizer*. Faktor energi merupakan kombinasi daya dan waktu yang ditetapkan menjadi 4 dosis energi. Faktor panjang gelombang digunakan 2 panjang gelombang yakni 445 nm dan 650 nm. Kemudian penelitian dilakukan dengan 2 kondisi sampel yakni dengan pemberian *photosensitizer* eksogen dan tanpa pemberian *photosensitizer* eksogen. Sehingga diperoleh $4 \times 2 \times 2 = 16$ kombinasi perlakuan. Penelitian bertujuan untuk memperoleh dosis energi dan panjang gelombang laser dioda yang dapat menghasilkan inaktivasi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* paling banyak



Gambar 4. 6. Pembagian Kelompok Kontrol dan Perlakuan

Dimana,

- P : Populasi biakan bakteri A.a.
- RS : Random sampel
- S : Kultur bakteri sampel bakteri A.a. untuk penelitian tanpa *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*)
- S' : Kultur sampel bakteri A.a. untuk penelitian yang tersisa ditambahkan dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*)
- RA : Random alokasi pengenceran bakteri untuk dipilih pengenceran yang sesuai dan dialokasi untuk kelompok kontrol dan perlakuan
- 01 : Bakteri A.a. kelompok kontrol negatif yang dibiakkan tanpa *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai kelompok dosis energi 0 untuk kelompok tanpa *photosensitizer*

- 02 dan 03 : Bakteri A.a. kelompok perlakuan yang dibiakkan tanpa *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*)
- 04: Bakteri A.a. kelompok kontrol positif yang dibiakkan dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai kelompok dosis energi 0 untuk kelompok dengan *photosensitizer*
- 05 dan 06: Bakteri A.a. kelompok perlakuan yang dibiakkan dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*)
- LD 1 : Bakteri A.a. kelompok perlakuan diberikan penyinaran laser dioda 445 nm terbagi 4 dosis energi ($2,5 \text{ J.cm}^{-2}$, 5 J.cm^{-2} , $7,5 \text{ J.cm}^{-2}$ dan 10 J.cm^{-2})
- LD 2 : Bakteri A.a. kelompok perlakuan diberikan penyinaran laser dioda 650 nm terbagi 4 dosis energi ($2,5 \text{ J.cm}^{-2}$, 5 J.cm^{-2} , $7,5 \text{ J.cm}^{-2}$ dan 10 J.cm^{-2})
- 01' : Pengamatan bakteri A.a. kelompok kontrol negatif tanpa perlakuan
- 02' : Pengamatan bakteri A.a. kelompok perlakuan dengan penyinaran laser dioda 445 nm yang terbagi 4 dosis energi ($2,5 \text{ J.cm}^{-2}$, 5 J.cm^{-2} , $7,5 \text{ J.cm}^{-2}$ dan 10 J.cm^{-2})
- 03' : Pengamatan bakteri A.a. kelompok perlakuan dengan penyinaran laser dioda 650 nm yang terbagi 4 dosis energi ($2,5 \text{ J.cm}^{-2}$, 5 J.cm^{-2} , $7,5 \text{ J.cm}^{-2}$ dan 10 J.cm^{-2})
- 04' : Pengamatan bakteri A.a. kelompok kontrol positif yang dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*)

- 05' : Pengamatan bakteri A.a. kelompok perlakuan dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) diberikan penyinaran laser dioda 445 nm yang terbagi 4 dosis energi ($2,5 \text{ J.cm}^{-2}$, 5 J.cm^{-2} , $7,5 \text{ J.cm}^{-2}$ dan 10 J.cm^{-2})
- 06' : Pengamatan bakteri Aa kelompok perlakuan dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) diberikan penyinaran laser dioda 650 nm yang terbagi 4 dosis energi ($2,5 \text{ J.cm}^{-2}$, 5 J.cm^{-2} , $7,5 \text{ J.cm}^{-2}$ dan 10 J.cm^{-2})

Penelitian dilakukan dengan menggunakan Bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. Bakteri diambil dari populasi Bakteri A.a. secara acak sebagai sampel. Selanjutnya dari sampel tersebut dibagi jadi enam kelompok untuk ditumbuhkan, yakni dua kelompok kontrol (01 dan 04) dan empat kelompok perlakuan (02, 03, 05, 06). Kelompok kontrol negatif (01) tidak diberi perlakuan apa-apa dan kelompok kontrol positif (04) menggunakan kultur dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*). Kelompok perlakuan 02 diberi penyinaran laser dioda 445 nm dengan terbagi jadi 4 dosis energi ($2,5 \text{ J.cm}^{-2}$, 5 J.cm^{-2} , $7,5 \text{ J.cm}^{-2}$ dan 10 J.cm^{-2}), kelompok perlakuan 03 diberi penyinaran laser dioda 650 nm dengan terbagi jadi 4 dosis energi ($2,5 \text{ J.cm}^{-2}$, 5 J.cm^{-2} , $7,5 \text{ J.cm}^{-2}$ dan 10 J.cm^{-2}), kelompok perlakuan 05 dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) dan diberikan penyinaran laser dioda 445 nm dengan terbagi jadi 4 dosis energi ($2,5 \text{ J.cm}^{-2}$, 5 J.cm^{-2} , $7,5 \text{ J.cm}^{-2}$ dan 10 J.cm^{-2}) dan kelompok perlakuan 06 dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) dan diberikan penyinaran laser dioda 650 nm dengan terbagi jadi 4 dosis energi ($2,5 \text{ J.cm}^{-2}$, 5 J.cm^{-2} , $7,5 \text{ J.cm}^{-2}$ dan 10 J.cm^{-2}).

Selanjutnya dilakukan pengamatan dengan menghitung bakteri secara *total plate count* (TPC) baik itu dari kelompok kontrol negatif (01'), kelompok kontrol positif (04') dan kelompok perlakuan (02', 03', 05', 06'), untuk saling dibandingkan dan diperoleh persentasi viabilitas bakteri yang terinaktivasi.

4.2.1 Unit Eksperimen dan Replikasi

Sampel bakteri yang digunakan merupakan kultur bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* dengan penentuan jumlah replikasi menggunakan rumus Federer sebagai berikut.

$$(t-1)(r-1) \geq 15 \quad (2.6)$$

t = jumlah replikasi

r = jumlah perlakuan

Pada penelitian ini digunakan 16 kombinasi perlakuan dan 2 kontrol, sehingga dapat dihitung jumlah replikasi dengan persamaan 2.9 sebagai berikut.

$$(t-1)(16-1) \geq 15$$

$$16t-t-16+1 \geq 15$$

$$15t-15 \geq 15$$

$$15t \geq 30$$

$$t \geq 2$$

Diperoleh jumlah replikasi minimal untuk 16 kombinasi perlakuan sebanyak 2 sampel. Pada penelitian digunakan 4 sampel untuk masing-masing kelompok perlakuan dan 4 sampel untuk masing-masing kelompok kontrol, sehingga perlu mempersiapkan 72 sampel.

4.2.2 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian tahap kedua dijelaskan dalam klasifikasi variabel dan definisi operasional variabel sebagai berikut.

4.2.2.1 Klasifikasi Variabel

Variabel-variabel dalam penelitian tahap kedua antara lain :

- Variabel bebas : Rapat energi, panjang gelombang laser dioda dan pemberian *photosensitizer*
- Variabel terikat: Jumlah koloni bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* yang tumbuh
- Variabel terkendali : Media pertumbuhan bakteri, waktu inkubasi, lingkungan dan temperatur tumbuh bakteri

4.2.2.2 Definisi Operasional Variabel

- Rapat energi laser ($J.cm^{-2}$) merupakan besarnya rapat daya laser ($W.cm^{-2}$) dikalikan durasi waktu pemaparan laser (s).
- Jumlah koloni dalam $CFU.ml^{-1}$ (*colony-forming unit*) tiap mililiter merupakan jumlah koloni bakteri yang diperoleh dari:

$$\text{Jumlah koloni terhitung} \times \frac{1}{\text{Pengenceran}} \times \frac{1}{\text{pembagian tiap sample}} \quad (2.7)$$

- Persentase viabilitas koloni bakteri adalah jumlah koloni bakteri yang dihitung dengan persamaan berikut (Astuti et al. 2016),

$$\% \text{viabilitas bakteri} = \left| \frac{(\sum \text{koloni perlakuan} - \sum \text{koloni kontrol})}{\sum \text{koloni kontrol}} \right| \times 100\% \quad (2.8)$$

4.2.3 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian tahap kedua adalah biakan bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *tryptic soy agar* (TSA), *trytic soy broth* (TSB) sebagai media tumbuh bakteri, NaCl, alumunium foil, tisu, aquades, dan ose *disposable* steril.

Peralatan yang diperlukan adalah *ependorf tube*, cawan petri, inkubator, mikropipet, tabung reaksi, gelas ukur, timbangan, lilin, toples kaca, kuvet, *shaker*, oven, *autoclave* dan instrumen laser dioda inaktivasi dari penelitian tahap pertama.

4.2.4 Tempat dan waktu penelitian

Penelitian tahap kedua dilaksanakan di laboratorium Gastroenteritis, *Institute of Tropical Disease* (ITD) Universitas Airlangga sekitar bulan September - Oktober 2016.

4.2.5 Prosedur Kerja

Prosedur kerja dalam penelitian tahap kedua terbagi atas pembuatan sampel bakteri, penyinaran cahaya secara *in vitro* dan analisis data.

4.2.5.1 Pembuatan Sampel

Pembuatan sampel diawali dengan penentuan pengenceran yang akan digunakan, dimana akan dimulai dari pembuatan kultur bakteri, selanjutnya pengenceran, *plating* dan penghitungan jumlah bakteri secara TPC (*total plate count*).

Langkah kultur bakteri dijelaskan sebagai berikut:

1. Disiapkan biakan bakteri dalam TSA, ose steril, media TSB, lilin, dan toples

2. Media TSB disterilkan
3. Bakteri diambil dengan ose sebanyak 1 kali gores
4. Goresan tersebut dimasukkan ke dalam 4,5 ml media TSB steril
5. Bakteri dalam media TSB tersebut diinkubasi pada toples anaerob dengan membakar habis oksigen dengan lilin dan ditempatkan pada inkubator dengan temperatur 37 °C selama 24 jam.

Setelah 24 jam inkubasi kultur, dilakukan proses pengenceran sebagai berikut.

6. Disiapkan tabung reaksi, NaCl, aquades dan kultur bakteri pada media TSB yang telah diinkubasi 24 jam dari langkah pembuatan kultur.
7. Disiapkan air garam fisiologis dengan mencampur NaCl dan aquades kemudian disterilkan
8. Diambil 0,5 ml dari kultur bakteri
9. Kultur bakteri tersebut dimasukkan ke dalam 4,5 ml air fisiologis yang telah steril kemudian dilabel sebagai pengenceran 1
10. Diambil 0,5 ml dari tabung pengenceran 1 dan dimasukkan ke dalam 4,5 ml air fisiologis yang telah steril kemudian dilabel sebagai pengenceran 2. Begitu seterusnya hingga pengenceran ke-10

Selanjutnya dilakukan proses *plating* sebagai berikut:

11. Disiapkan keseluruhan tabung hasil pengenceran dari langkah pengenceran sebelumnya, media TSA steril dan cawan petri kecil
12. Diambil 50 µl dari tabung pengenceran 1 kemudian dimasukkan ke cawan petri kecil 1 dan ditambahkan media TSA hingga setinggi 2 mm dari dasar cawan petri

13. Diambil 50 μ l dari tabung pengenceran 2 kemudian dimasukkan ke cawan petri kecil 2 dan ditambahkan media TSA hingga setinggi 2 mm dari dasar cawan petri. Begitu seterusnya hingga cawan petri dengan pengenceran ke-10.
14. Cawan-cawan tersebut dimasukkan ke dalam toples anaerob dan diinkubasi dengan temperatur 37 °C selama 24 jam
15. Cawan yang mewakili tiap pengenceran tersebut dihitung jumlah koloni bakteri yang tersedia menggunakan *colony counter*, dimana cawan petri diletakkan di bawah lensa *colony counter* untuk mempermudah melihat koloni bakteri yang ada lalu dihitung secara manual menggunakan *counter*. Syarat jumlah koloni bakteri harus berkisar 30-300.
16. Jika jumlah koloni tidak memenuhi syarat, maka pengenceran harus diulang. Jika jumlah koloni memenuhi syarat, maka tabung reaksi hasil pengenceran yang memenuhi syarat ditandai sebagai sampel bakteri yang siap dialokasikan untuk kelompok kontrol dan perlakuan.

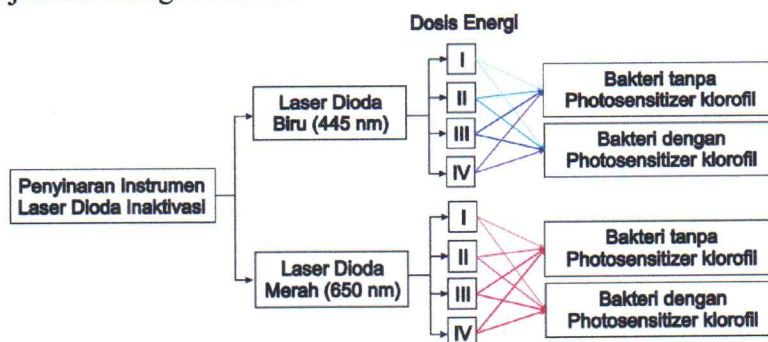
Jumlah koloni bakteri dengan pengenceran yang sesuai syarat digunakan sebagai sampel bakteri tanpa *photosensitizer* ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) untuk disiapkan kembali dan dalam 9 *eppendorf tube* dimana 8 sampel *eppendorf tube* untuk kelompok perlakuan dan 1 sampel *eppendorf tube* untuk kelompok kontrol sampel bakteri tanpa *photosensitizer* ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) masing-masing, sebanyak 200 μ l tiap *eppendorf tube*.

Untuk sampel bakteri dengan *photosensitizer*, kultur bakteri yang masih tersisa 4 ml digunakan kembali dengan ditambahkan *photosensitizer* klorofil dengan konsentrasi 20%, sebanyak 1 ml kemudian diinkubasi selama 2 jam.

Selanjutnya dilakukan proses pengenceran dan *plating* dengan langkah-langkah sesuai dengan sebelumnya. Jumlah koloni bakteri dengan *photosensitizer* klorofil pada pengenceran yang sesuai syarat (30-300 bakteri) digunakan sebagai sampel bakteri dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) untuk disiapkan kembali dalam 9 *ependorf tube* dimana 8 sampel *ependorf tube* untuk kelompok perlakuan dan 1 sampel *ependorf tube* untuk kelompok kontrol pada sampel bakteri dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*).

4.2.5.2 Penyinaran Laser Dioda secara *In Vitro*

Penyinaran dilakukan pada sampel bakteri kelompok dengan *photosensitizer* dan kelompok tanpa *photosensitizer*. Digunakan instrumen laser dioda inaktivasi untuk melakukan penyinaran pada jarak 1 cm dari sampel bakteri dan luas paparan terkecil pada *ependorf tube*. Penyinaran menggunakan 4 dosis energi yang sama, baik itu dengan laser dioda 445 nm ataupun laser dioda 650 nm yang ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 4. 7. Diagram Penyinaran Sampel

Dosis energi merupakan perkalian rapat daya dengan waktu paparan, dimana waktu paparan dan rapat daya disesuaikan untuk memperoleh energi

2,5 J.cm⁻², 5 J.cm⁻², 7,5 J.cm⁻² dan 10 J.cm⁻², pada kedua laser dioda yang digunakan.

Setelah dilakukan penyinaran, bakteri pada *ependorf tube* dipindahkan ke cawan petri. Tiap 1 *ependorf tube* dibagi menjadi 4 cawan petri masing-masing 50 µl sehingga isi *ependorf tube* habis. Dari kelompok perlakuan diperoleh 16 x 4 = 64 sampel bakteri dalam cawan petri, ditambah sampel bakteri kelompok kontrol negatif tanpa *photosensitizer* sebanyak 4 sampel bakteri dalam cawan petri dan bakteri kelompok kontrol dengan pemberian *photosensitizer* klorofil sebanyak 4 sampel bakteri dalam cawan petri. Maka akan diperoleh sebanyak 72 sampel bakteri dalam cawan petri. Sampel bakteri tersebut ditambahkan dengan TSA steril setinggi 2 mm dari dasar cawan petri selanjutnya diletakkan pada toples anaerob dan diinkubasi pada temperatur 37°C dalam inkubator selama 24 jam. Koloni bakteri yang tumbuh dihitung dengan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dan hasilnya dianalisis.

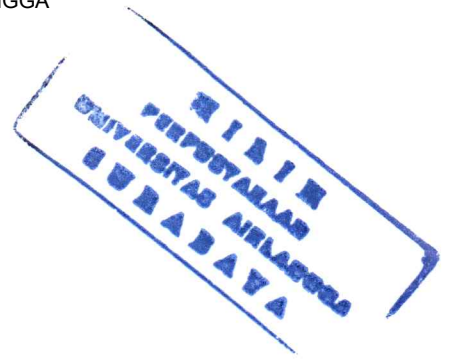
4.3 Analisis Data

Analisis akan dilakukan dengan menggunakan prosedur uji hipotesis *analysis of variance* atau sering disingkat ANOVA. Uji anova termasuk dalam uji statistik inferensi dan dilakukan untuk melihat ada tidaknya perbedaan nilai rerata untuk lebih dari 2 kelompok perlakuan. Syarat anova adalah sampel berasal dari populasi yang terdistribusi normal dengan skala interval atau rasio.

Dilakukan analisa pengaruh laser dioda baik itu spektrum 445 nm ataupun 650 nm dengan variasi 4 dosis energi dan dengan atau tanpa pemberian *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) terhadap koloni bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. Sehingga metode analisis

ANOVA yang digunakan adalah metode anova faktorial untuk membandingkan antara pengaruh spektrum laser dioda, dosis energi yang diberikan serta pemberian *photosensitizer* terhadap bakteri.

BAB V
HASIL DAN ANALIS



BAB V

HASIL DAN ANALISIS

5.1 Pembuatan Perangkat Laser Dioda Inaktivasi

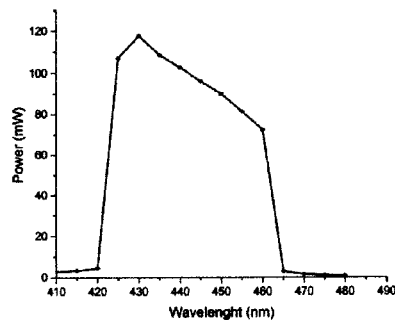
Dalam pembuatan perangkat laser dioda inaktivasi telah dilakukan beberapa tahap, antara lain tahap karakterisasi laser dioda terbagi menjadi karakterisasi laser dioda 445 nm dan laser dioda 650 nm, tahap pembuatan *driver* laser dioda dan tahap pembuatan aplikasi android sebagai kontrol instrumen.

5.1.1 Karakterisasi Laser Dioda 445 nm

Karakterisasi laser dioda 445 nm terbagi menjadi karakterisasi panjang gelombang terhadap daya *output*, karakterisasi kestabilan daya *output* terhadap waktu, karakterisasi daya *input* terhadap daya *output* laser dioda, karakterisasi luas berkas laser dioda terhadap jarak paparan laser dioda dan karakterisasi temperatur paparan tiap daya *output* laser dioda terhadap waktu.

5.1.1.1 Karakterisasi Panjang Gelombang Terhadap Daya *Output*

Karakterisasi panjang gelombang terhadap daya *output* laser dioda diperlukan untuk mengetahui laser dioda yang digunakan memiliki berkas panjang gelombang paling dominan yang dihasilkan dari laser dioda. Pengukuran dilakukan dari panjang gelombang 410 nm sampai dengan panjang gelombang 480 nm dan diperoleh hasil grafik pada gambar 5. 1.

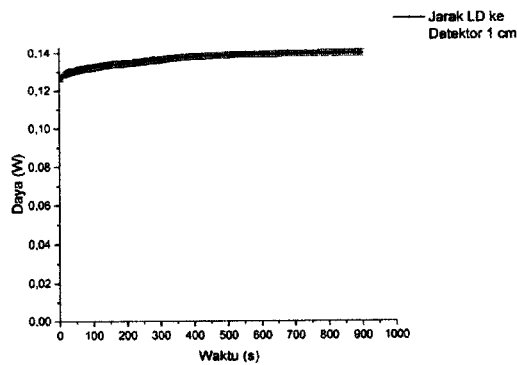


Gambar 5. 1. Grafik Karakterisasi Panjang gelombang Terhadap Daya *Output* Laser Dioda 445 nm

Gambar 5.1 menunjukkan laser dioda 445 nm menghasilkan berkas laser dengan panjang gelombang 430 nm yang paling dominan, sehingga untuk pengukuran daya *output* laser dan perhitungan dosis paparan akan digunakan pada panjang gelombang 430 nm. Spektrum panjang gelombang 430 nm memiliki daya keluaran terukur paling besar karena terjadi interferensi daya foton terstimulasi laser dioda dengan fase dan panjang gelombang sama lebih dominan pada panjang gelombang 430 nm. Secara lengkap tabel data karakterisasi panjang gelombang terhadap daya output laser dioda 445 nm tertampil pada lampiran 1.

5.1.1.2 Karakterisasi Kestabilan Daya *Output* Laser Terhadap Waktu

Karakterisasi kestabilan daya *output* laser terhadap waktu diperlukan untuk mengetahui laser dioda lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai daya *output* yang stabil. Pengukuran dilakukan dengan memberi suplai tegangan 5 volt pada laser dan dinyalakan selama 900 detik, hasilnya diperoleh pada gambar 5. 2.

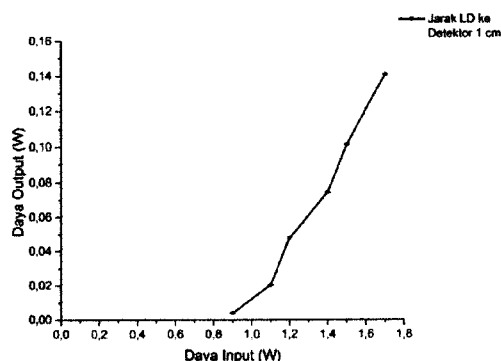


Gambar 5. 2. Grafik Karakterisasi Kestabilan Daya *Output* Laser Terhadap Waktu Paparan Laser Dioda 445 nm

Gambar 5.2 menunjukkan daya *output* yang dihasilkan laser dioda 445 nm cenderung akan meningkat bergantung lama waktu dilakukan paparan. Terlihat pada awal laser dinyalakan akan menghasilkan daya *output* sebesar 0,127 W yang selanjutnya meningkat dan sampai pada detik ke-525 akan mencapai kestabilan tetap pada daya *output* 0,139 W hingga detik ke-900. Secara lengkap tabel data karakterisasi kestabilan daya output laser terhadap waktu paparan laser dioda 445 nm tertampil pada lampiran 1.

5.1.1.3 Karakterisasi Daya *Input* Terhadap Daya *Output*

Karakterisasi daya *input* terhadap daya *output* laser dioda diperlukan untuk mengetahui perubahan daya *output* laser dioda sehingga dapat dilakukan pengendalian *output* daya laser yang diharapkan. Penelitian dilakukan dengan mengubah tegangan *input* dan mengukur arus yang mengalir ke beban dengan memperhatikan daya *output* laser yang terukur. Ditunjukkan pada gambar 5. 3.



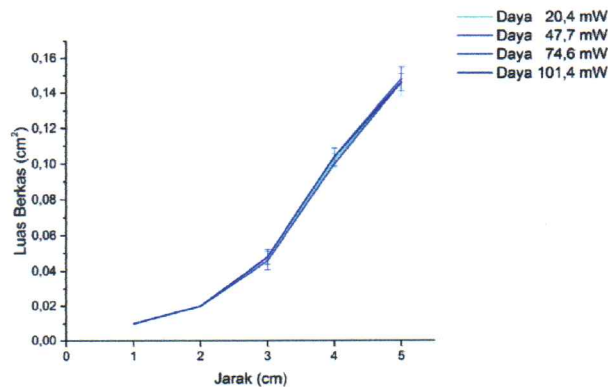
Gambar 5. 3. Grafik Karakterisasi Daya *Input* Terhadap Daya *Output* Laser Dioda 445 nm

Gambar 5.3 menunjukkan daya *output* yang dihasilkan laser dioda 445 nm terhadap perubahan daya *input*. Pada pengukuran dengan tegangan *input* 4,5 V dan arus terukur 0,2 A atau dengan daya *input* sebesar 0,9 W, diperoleh daya *output* sebesar 0,004W. Dengan meningkatkan tegangan akan meningkatkan arus yang mengalir ke laser dioda sehingga terjadi peningkatan daya *input* laser dioda dan akan mempengaruhi *output* daya laser dioda. Dengan memperhatikan karakteristik perubahan tersebut dapat menjadi acuan untuk melakukan pengendalian daya *output* laser dioda. Terlihat pada daya *input* 1,7 W laser dioda 445 nm dapat menghasilkan daya *output* mencapai 0,141 W. Secara lengkap tabel data karakterisasi daya *input* terhadap daya *output* laser dioda 445 nm tertampil pada lampiran 1.

5.1.1.4 Karakterisasi Luas Berkas Laser Terhadap Jarak

Karakterisasi luas berkas laser dioda terhadap daya jarak paparan diperlukan untuk mengetahui perubahan luas berkas paparan laser dioda sehingga dapat digunakan untuk melakukan perhitungan dosis energi. Penelitian dilakukan dengan mengubah jarak laser ke kertas milimeter blok tiap 1 cm dan menandai luas berkas

laser dioda yang dihasilkan untuk setiap daya *output* laser dioda yang digunakan. Hasilnya diperoleh pada gambar 5. 4.



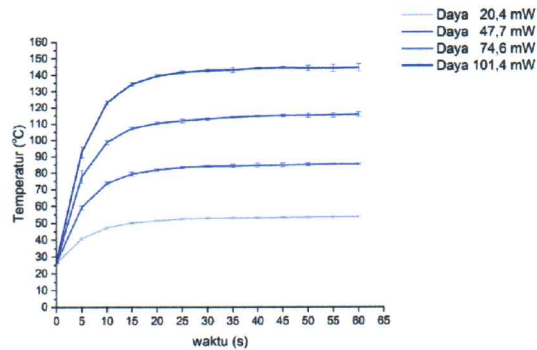
Gambar 5. 4. Grafik Karakterisasi Luas Berkas Laser Terhadap Perubahan Jarak Laser Dioda 445 nm

Gambar 5.4 menunjukkan luas berkas paparan laser yang dihasilkan laser dioda 445 nm terhadap perubahan jarak laser. Terlihat dengan meningkatnya jarak maka akan terjadi peningkatan luas paparan berkas laser dioda. Luas berkas di jarak yang sama untuk setiap daya *output* cenderung memiliki luas yang hampir sama. Dengan memperhatikan karakteristik perubahan tersebut dapat menjadi acuan untuk melakukan perhitungan dosis energi paparan laser dioda. Secara lengkap tabel data karakterisasi luas berkas laser dioda terhadap perubahan jarak laser dioda 445 nm tertampil pada lampiran 1.

5.1.1.5 Karakterisasi Temperatur Terhadap Waktu

Karakterisasi temperatur terhadap waktu dilakukan setelah melakukan pemilihan rentang daya *output* laser yang digunakan dalam perancangan instrumen. Instrumen akan dirancang dapat menghasilkan 4 output daya laser yang dikendalikan dengan perubahan tegangan. Dengan acuan karakteristik daya *input* terhadap daya *output* laser dioda 445 nm, diperoleh 4 pilihan daya *output* laser dioda

445 nm yakni 20,4 mW, 47,7 mW, 74,6 mW dan 101,4 mW. Dari keempat daya *output* tersebut selanjutnya dilakukan pengukuran karakteristik perubahan temperatur yang dihasilkan dari berkas paparan laser terhadap waktu paparan yang ditampilkan pada gambar 5. 5.



Gambar 5. 5. Grafik Karakterisasi Temperatur Berkas Paparan Setiap Daya *Output* Laser Terhadap Perubahan Waktu Paparan Laser Dioda 445 nm

Gambar 5.5 menunjukkan perubahan temperatur yang dihasilkan tiap pilihan daya *output* laser dioda 445 nm terhadap lama waktu paparan laser dioda. Terlihat semakin lama waktu paparan, temperatur terukur semakin meningkat dan cenderung temperatur berhenti meningkat setelah 30 detik. Semakin tinggi daya *output* laser yang digunakan maka akan menghasilkan pencapaian temperatur terukur yang lebih tinggi bergantung waktu paparan. Secara lengkap tabel data karakterisasi luas berkas laser terhadap perubahan jarak laser dioda 445 nm tertampil pada lampiran 1.

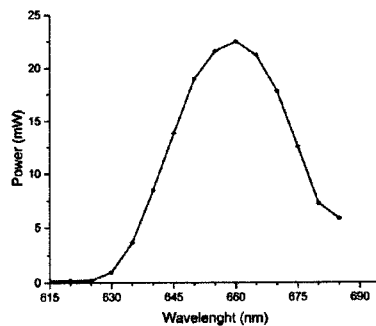
5.1.2 Karakterisasi Laser Dioda 650 nm

Karakterisasi laser dioda 650 nm terbagi menjadi karakterisasi panjang gelombang terhadap daya *output* laser dioda, karakterisasi kestabilan daya *output* laser dioda terhadap waktu, karakterisasi daya *input* terhadap daya *output* laser

dioda, karakterisasi luas berkas laser dioda terhadap jarak paparan dan karakterisasi temperatur paparan tiap daya *output* laser terhadap waktu.

5.1.2.1 Karakterisasi Panjang Gelombang Terhadap Daya *Output*

Pengukuran dilakukan dari panjang gelombang 615 nm sampai dengan panjang gelombang 685 nm dan diperoleh hasil grafik pada gambar 5. 6.

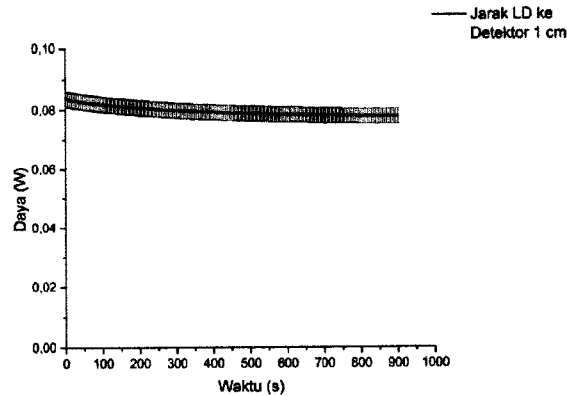


Gambar 5. 6. Grafik Karakterisasi Panjang gelombang Terhadap Daya *Output* Laser Dioda 650 nm

Gambar 5.6 menunjukkan laser dioda 650 nm menghasilkan berkas laser dengan panjang gelombang 660 nm yang paling dominan, sehingga untuk pengukuran daya *output* laser dan perhitungan dosis paparan akan digunakan pada panjang gelombang 660 nm. Spektrum panjang gelombang 660 nm memiliki daya keluaran terukur paling besar karena terjadi interferensi daya foton terstimulasi laser dioda dengan fase dan panjang gelombang sama lebih dominan pada panjang gelombang 660 nm Secara lengkap tabel data karakterisasi panjang gelombang terhadap daya output laser dioda 650 nm tertampil pada lampiran 2.

5.1.2.2 Karakterisasi Kestabilan Daya *Output* Laser Terhadap Waktu

Pengukuran dilakukan dengan memberi suplai tegangan 5 volt pada laser dan dinyalakan selama 900 detik. Hasilnya diperoleh pada gambar 5. 7.

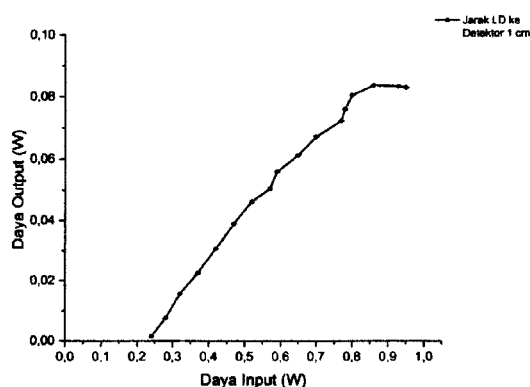


Gambar 5. 7. Grafik Karakterisasi Kestabilan Daya *Output* Laser Terhadap Waktu Paparan Laser Dioda 650 nm

Gambar 5.7 menunjukkan daya *output* yang dihasilkan laser dioda 650 nm cenderung menurun bergantung lama waktu dilakukan paparan. Terlihat pada awal laser dioda dinyalakan akan menghasilkan daya sebesar 0,083 W yang selanjutnya terus menurun secara perlahan dan akan stabil pada 0,078 W setelah detik ke-665. Secara lengkap tabel data karakterisasi kestabilan daya *output* laser terhadap waktu paparan laser dioda 650 nm tertampil pada lampiran 2.

5.1.2.3 Karakterisasi Daya *Input* Terhadap Daya *Output*

Penelitian dilakukan dengan mengubah tegangan *input* dan mengukur arus yang mengalir ke beban dengan memperhatikan daya *output* laser dioda yang terukur. Hasilnya diperoleh pada gambar 5. 8.

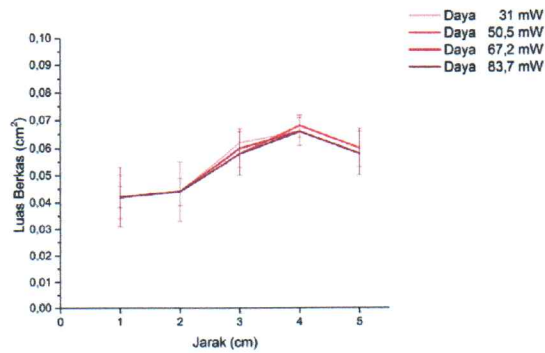


Gambar 5. 8. Grafik Karakterisasi Daya *Input* Terhadap Daya *Output* Laser Dioda 650 nm

Gambar 5.8 menunjukkan *output* daya yang dihasilkan laser dioda 650 nm terhadap perubahan daya *input*. Pada pengukuran dengan tegangan *input* 3,4 V dan arus terukur 0,07 A atau dengan daya input sebesar 0,238 W, diperoleh daya *output* sebesar 0,001 W. Dengan meningkatkan tegangan akan meningkatkan arus yang mengalir ke laser sehingga terjadi peningkatan daya *input* laser dan akan mempengaruhi *output* daya laser. Dengan memperhatikan karakteristik perubahan tersebut dapat menjadi acuan untuk melakukan pengendalian daya *output* laser dioda. Terlihat pada daya *input* 0,864 W dihasilkan daya *output* sebesar 0,0837 W, kemudian ketika daya *input* dinaikkan menjadi 0,931 W terjadi penurunan daya *output* yang terukur menjadi 0,0834 W, hingga pada daya *input* 0,95 W diperoleh daya *output* terukur sebesar 0,083 W. Secara lengkap tabel data karakterisasi daya *input* terhadap daya *output* laser dioda 650 nm tertampil pada lampiran 2.

5.1.2.4 Karakterisasi Luas Berkas Laser Terhadap Jarak

Penelitian dilakukan dengan mengubah jarak laser ke kertas milimeter blok tiap 1 cm dan menandai luas berkas laser yang dihasilkan untuk setiap daya *output* yang digunakan. Hasilnya diperoleh pada gambar 5. 9.

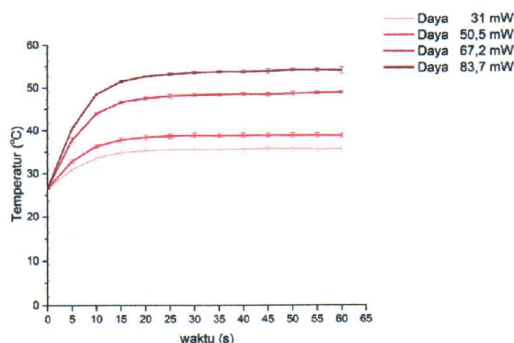


Gambar 5. 9. Grafik Karakterisasi Luas Berkas Laser Terhadap Perubahan Jarak Laser Dioda 650 nm

Gambar 5.9 menunjukkan luas berkas paparan laser yang dihasilkan laser dioda 650 nm terhadap perubahan jarak paparan. Terlihat karakter luas berkas laser dioda 650 nm akan meningkat sesuai bertambahnya jarak hingga pada jarak 4 cm dan luas berkasnya mengecil pada jarak 5 cm yang berlaku untuk keempat daya *output* laser dioda. Dengan memperhatikan karakteristik perubahan tersebut dapat menjadi acuan untuk melakukan perhitungan dosis energi paparan laser. Secara lengkap tabel data karakterisasi luas berkas laser dioda terhadap perubahan jarak laser dioda 650 nm tertampil pada lampiran 2.

5.1.2.5 Karakterisasi Temperatur Terhadap Waktu

Dengan acuan karakteristik daya *input* terhadap daya *output* laser dioda 650 nm, diperoleh 4 pilihan daya *output* laser dioda 650 nm yakni 31 mW, 50,5 mW, 67,2 mW dan 83,7 mW. Dari keempat daya *output* tersebut selanjutnya dilakukan pengukuran karakteristik perubahan temperatur yang dihasilkan dari paparan berkas laser terhadap waktu paparan yang ditampilkan pada gambar 5.10.

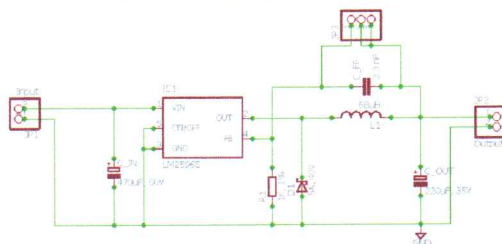


Gambar 5. 10. Grafik Karakterisasi Temperatur Berkas Paparan Setiap Daya *Output* Laser Terhadap Perubahan Waktu Paparan Laser Dioda 650 nm

Gambar 5.10 menunjukkan perubahan temperatur yang dihasilkan tiap pilihan daya *output* laser dioda 650 nm terhadap lama waktu paparan laser. Terlihat semakin lama waktu paparan, temperatur terukur semakin meningkat dan cenderung temperatur berhenti meningkat setelah 20 detik. Semakin tinggi daya *output* laser yang digunakan maka akan menghasilkan pencapaian temperatur terukur yang lebih tinggi bergantung waktu paparan laser. Secara lengkap tabel data karakterisasi luas berkas laser terhadap perubahan jarak laser dioda 650 nm tertampil pada lampiran 2.

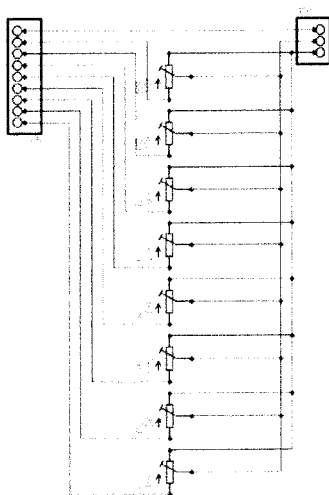
5.1.3 Driver Laser Dioda

Driver laser dioda dirancang dengan memodifikasi konfigurasi rangkaian *adjustable buck converter* LM 2596. Modifikasi dilakukan pada resistor *feedback* rangkaian sehingga mempengaruhi tegangan dan arus *output*.



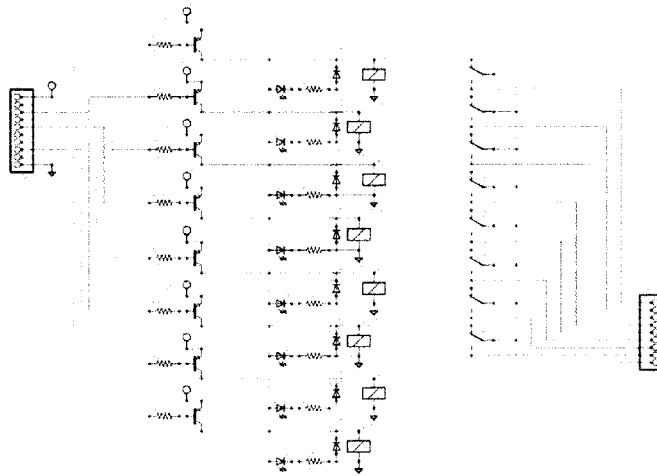
Gambar 5. 11. Konfigurasi Rangkaian *Adjustable Buck Converter* LM 2596

Pada gambar 5.11 terdapat kode *port* JP1 yang merupakan *port* tegangan *input* yang dihubungkan dengan suplai adaptor 9V 2A. Tegangan *output* (kode *port* JP2) dari *buck converter* akan dipengaruhi resistor *feedback* yang akan terhubung melalui *port* JP3 ke rangkaian trimpot sebagai resistor variabel.



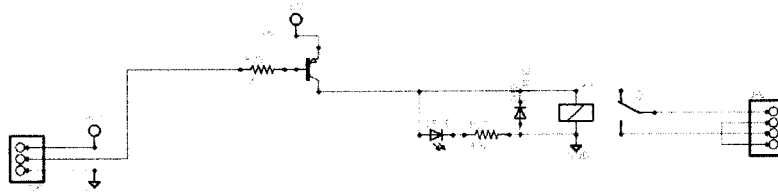
Gambar 5. 12. Rangkaian Trimpot 10K Ω Tersusun Paralel

Gambar 5.12 menunjukkan rangkaian trimpot yang tersusun paralel sebagai resistor *feedback* ke rangkaian *adjustable buck converter* LM 2596. *Port* JP4 rangkaian paralel trimpot 10K Ω akan terhubung ke *port* JP3 rangkaian *adjustable buck converter* LM 2596. Rangkaian paralel trimpot 10K Ω akan terhubung ke rangkaian *relay* melalui *port* JP5, dimana *relay* berfungsi sebagai saklar yang akan mengaktifkan salah satu trimpot 10K Ω untuk digunakan sebagai resistor *feedback* sehingga diperoleh satu nilai tegangan *output*.



Gambar 5. 13. Rangkaian Relay

Rangkaian *relay* pada gambar 5.13 berfungsi sebagai saklar yang akan aktif ketika menerima sinyal *LOW* dari pin digital *board* arduino Uno yang terhubung melalui *port* JP7 sehingga kontaktor tiap *relay* berubah posisi dari posisi NO (*normally open*) ke posisi NC (*normally close*). Setiap satu *relay* akan berfungsi sebagai saklar untuk satu trimpot 10K Ω . Pada kondisi *idle*, *relay* akan menerima sinyal *HIGH* dari tiap pin digital *board* arduino uno agar kontaktor tetap berada pada posisi NO (*normally open*) atau hubung buka sehingga tidak ada trimpot 10K Ω yang aktif sebagai resistor *feedback* ke rangkaian *adjustable buck converter* LM 2596. Rangkaian *relay* terhubung ke rangkaian trimpot paralel melalui *port* JP6.



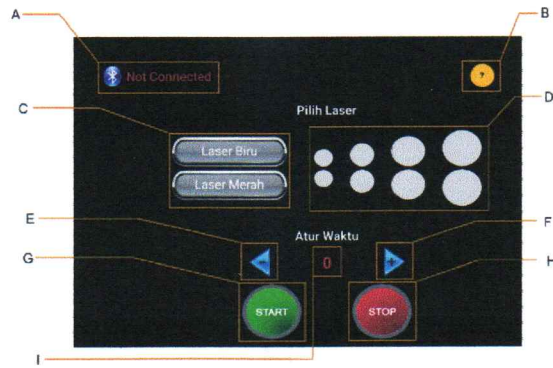
Gambar 5. 14. Rangkaian Relay Output

Dengan terdapat salah satu trimpot 10K Ω yang aktif sebagai resistor *feedback* karena *relay* menerima perintah aktif dari *board* arduino uno, rangkaian

adjustable buck converter LM 2596 akan menghasilkan *output* tegangan yang dikeluarkan melalui *port* JP2. *Port* JP2 terhubung ke *port* JP8 pada rangkaian *relay output* akan berfungsi sebagai saklar *output* dari tegangan *output* rangkaian *adjustable buck converter* LM 2596. Rangkaian *relay output* akan menerima sinyal *LOW* dari pin digital *board* arduino melalui *port* JP9 sehingga kontaktor berubah posisi dari posisi NO ke posisi NC dan dapat mengalirkan arus serta tegangan dari rangkaian *adjustable buck converter* LM 2596 untuk menyuplai laser dioda.

5.1.4 Aplikasi Android Pengendali Instrumen

Dalam mengendalikan instrumen *driver* laser dioda digunakan mekanisme komunikasi *bluetooth* antara *smartphone* android ke *board* arduino Uno melalui *bluetooth modul* HC-05. Komunikasi tersebut menggunakan kode *ascii* yang dikirimkan ketika melakukan penekanan tombol pada layar *smartphone*. Kode *ascii* yang dikirim *smartphone* android akan diterima *bluetooth modul* HC-05 dan diterjemahkan sesuai koding program yang di-*download*-kan ke mikrokontroler Atmega328 pada *board* arduino Uno. Tiap penekanan tombol memiliki kode *ascii* yang telah diprogram untuk dikirim *smartphone* dan setiap kode *ascii* yang diterima *bluetooth modul* HC-05 diterjemahkan menjadi perintah tersendiri untuk mengendalikan *relay* oleh mikrokontroler Atmega328 pada *board* arduino Uno. Secara lengkap koding program arduino dan logika program aplikasi *smartphone* android terlampir pada lampiran 3 dan lampiran 4.



Gambar 5. 15. Tampilan Aplikasi Android Pengendali Instrumen

Gambar 5.15 menunjukkan tampilan aplikasi android pengendali instrumen laser dioda inaktivasi dengan keterangan gambar sebagai berikut:

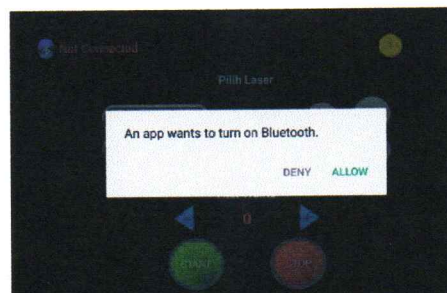
- A. Tombol pemilih *bluetooth* dengan indikator koneksi *bluetooth* antara *smartphone* ke *control module*
- B. Tombol *hint* untuk menampilkan keterangan tiap pilihan daya *output* laser dioda
- C. Tombol pemilih spektrum laser dioda yang digunakan
- D. Tombol pemilih daya *output* tiap laser dioda yang digunakan
- E. Tombol *decrease* nilai pengaturan lama waktu laser menyala. Dengan melakukan *klik* sesaat maka akan menaikkan pengaturan waktu sebesar 0,1 detik. Dengan melakukan *klik* tahan beberapa saat akan menaikkan waktu sebesar 1 detik.
- F. Tombol *increase* nilai pengaturan lama waktu laser menyala. Dengan melakukan *klik* sesaat maka akan menaikkan pengaturan waktu sebesar 0,1 detik. Dengan melakukan *klik* tahan beberapa saat akan menaikkan waktu sebesar 1 detik.

- G. Tombol untuk memulai mengaktifkan laser dioda dan laser dioda akan menyala selama waktu yang telah diatur. Ketika tombol ditekan maka akan menghasilkan nada khas sebagai tanda laser dioda aktif
- H. Tombol untuk menonaktifkan nyala laser dioda. Ketika tombol ditekan maka akan menghasilkan nada khas sebagai tanda laser dioda dinonaktifkan. Laser dioda akan berhenti menyala dan waktu yang telah diatur direset kembali ke 0.
- I. Indikator pengaturan waktu yang menampilkan lama waktu laser dioda diaktifkan dan menampilkan *countdown* waktu aktif secara *real time*



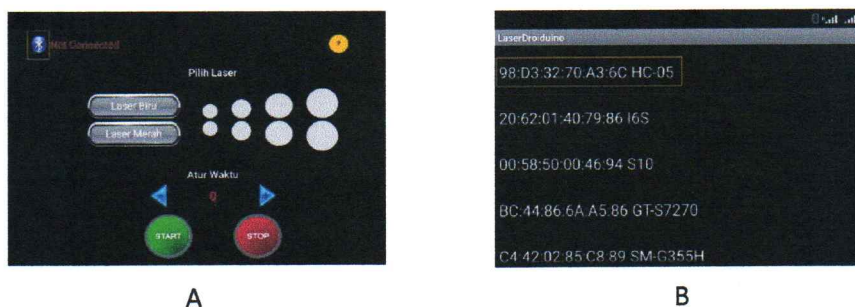
Gambar 5. 16. Indikator LED Hijau Pada *Control module*

Ketika *control module* dinyalakan, maka indikator LED akan menyala berwarna hijau sebagai tanda instrumen aktif dan *bluetooth modul* HC-05 siap untuk melakukan hubungan koneksi *bluetooth* dengan *smartphone* android.



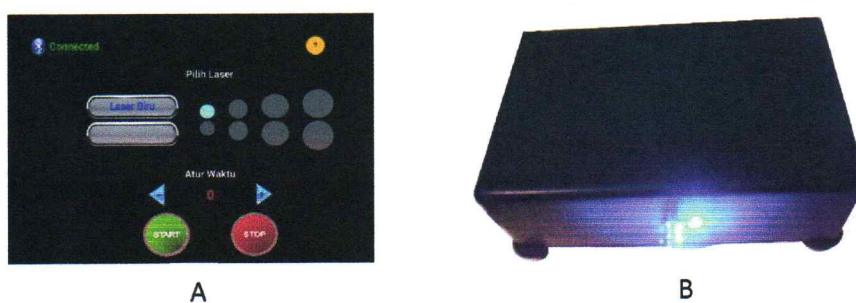
Gambar 5. 17. *Notifier* Permohonan Aktivasi Bluetooth *Smartphone* Android

Ketika aplikasi pada *smartphone* android diaktifkan, akan muncul *notifier* permohonan untuk mengaktifkan perangkat *bluetooth* pada *smartphone* android. *Notifier* tersebut akan muncul apabila perangkat *bluetooth* pada *smartphone* android belum diaktifkan.



Gambar 5. 18. A, Tombol *Bluetooth* Pada Aplikasi Android Untuk Melakukan Koneksi *Bluetooth*. B, Daftar Pilihan Koneksi *Bluetooth*

Dengan menekan tombol *bluetooth* pada pojok kiri atas maka aplikasi akan menampilkan daftar pilihan untuk melakukan koneksi *bluetooth*. *Bluetooth modul* HC-05 pada *control module* memiliki *default name* HC-05, dengan memilih koneksi ke *bluetooth modul* HC-05 maka *smartphone* android akan terhubung dengan *control module* melalui *bluetooth modul* HC-05.



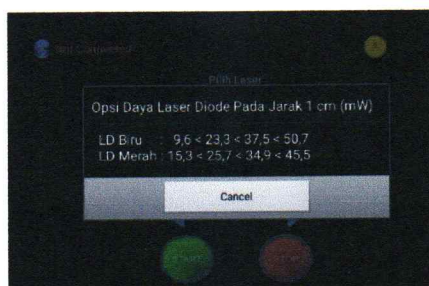
Gambar 5. 19. A, Indikator Koneksi *Bluetooth* Berubah dan Spektrum Laser Terpilih Laser Biru Secara *Default*. B, Indikator LED Pada Main Unit Menyala Biru

Indikator *bluetooth* pada aplikasi android berubah dari *not connected* menjadi *connected* sebagai tanda *smartphone* android telah terhubung dengan *control module* melalui koneksi *bluetooth*. Secara *default* pada aplikasi android pilihan spektrum laser akan terpilih laser biru pada pilihan daya *output* terendah serta indikator LED pada *control module* akan berubah dari nyala hijau menjadi nyala biru sebagai tanda dilakukan pemilihan spektrum laser dioda biru.



Gambar 5. 20. A, Pemilihan Spektrum Laser Merah. B, Indikator LED Pada Control Module Menyala Merah

Ketika dilakukan pemilihan spektrum laser dioda merah, maka secara otomatis daya *output* laser akan terpilih pada pilihan daya terendah untuk laser dioda merah, diikuti indikator LED pada *control module* akan menyala merah sebagai tanda dilakukan pemilihan spektrum laser dioda merah.



Gambar 5. 21. Notifier Pilihan Daya Output Laser Untuk Setiap Spektrum Laser

Terdapat *notifier* yang menampilkan 4 pilihan daya *output* laser untuk setiap spektrum laser dioda. *Notifier* tersebut akan muncul ketika melakukan klik pada tombol *hint* berwarna kuning dengan tanda tanya di pojok kanan atas sebagai

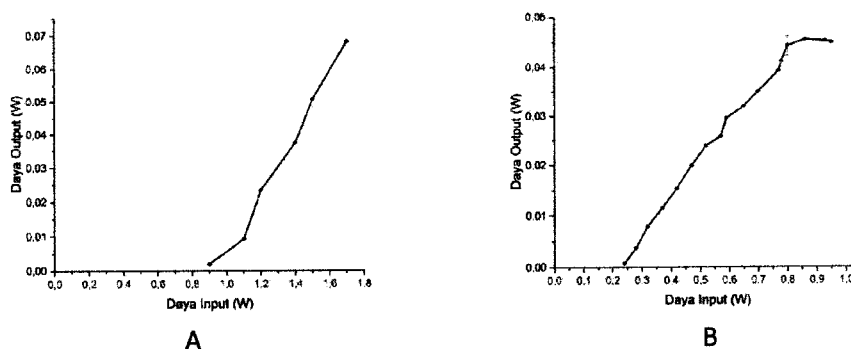
informasi bantuan dalam melakukan pemilihan daya *output* laser dioda untuk kebutuhan penentuan dosis energi laser dioda.

5.2 Uji Performansi Instrumen

Uji performansi instrumen terbagi menjadi uji daya *output* laser terhadap tegangan dan arus *input* yang dihasilkan (daya *input*) instrumen dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dari jarak 1 cm, pengujian luas berkas terhadap jarak paparan dari 1 cm sampai 5 cm dipandu fiber optik *multimode* 8 mm, pengujian kestabilan daya *output* laser terhadap waktu untuk setiap daya *output* yang digunakan dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dari jarak 1 cm, dan pengujian temperatur paparan yang dihasilkan berkas laser dioda terhadap lama waktu paparan dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dari jarak 1 cm untuk tiap 4 pilihan daya *output*.

5.2.1 Pengujian Daya *Input* Terhadap Daya *Output*

Pada Pengujian daya *input* dari pengendalian tegangan *input* terhadap daya *output* laser dioda, diperoleh hasil yang tertampil dalam grafik pada gambar 5.22 sebagai berikut.



Gambar 5. 22. Grafik Hubungan Daya *Output* Terhadap Daya *Input*.
(A) Instrumen Dengan Laser Dioda 445 nm
(B) Instrumen Dengan Laser Dioda 650 nm

Gambar 5.22 menampilkan daya *output* yang terukur karena melakukan perubahan daya *input* dari pengendalian tegangan *input* ke laser dioda yang dipandu fiber optik *multimode* 8 mm pada jarak 1 cm antara detektor dan ujung fiber optik. Gambar A menunjukkan grafik peningkatan daya *output* terhadap daya *input* yang diberikan untuk laser dioda 445 nm sedangkan gambar B menunjukkan grafik peningkatan daya *output* terhadap daya *input* yang diberikan untuk laser dioda 650 nm. Secara lengkap tabel data pengujian daya *output* terhadap daya *input* laser dioda dilampirkan pada lampiran 5 dan lampiran 6.

Dengan membandingkan antara daya *output* laser yang terukur dengan menggunakan fiber optik dan tanpa menggunakan fiber optik dapat diperoleh efisiensi dari fiber optik yang ditampilkan pada tabel 5.1 dan tabel 5.2.

Tabel 5. 1. Perbandingan Daya *Output* Laser Dioda 445 nm

Daya <i>Input</i> (W)	Daya <i>Output</i> (W)		Efisiensi Fiber Optik (%)
	Tanpa Fiber Optik	Dengan Fiber Optik 8 mm	
0,9	0,0039	0,00195	50
1,1	0,0204	0,00916	45
1,2	0,0477	0,023314	49
1,4	0,0746	0,037465	50
1,5	0,1014	0,050706	50
1,7	0,1408	0,06816	48
Rerata			49

Tabel 5.1. menampilkan perbandingan antara daya *output* laser dioda 445 nm tanpa dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dan daya *output* laser dioda dipandu fiber optik *multimode* 8 mm yang terukur menggunakan detektor powermeter Thorlabs PM100D. Diperoleh daya *output* laser dioda dipandu fiber optik 8 mm terukur lebih kecil dibandingkan dengan daya *output* laser dioda tanpa dipandu fiber optik, maka dapat dihitung efisiensi yang dimiliki fiber optik *multimode* 8 mm untuk laser dioda 445 nm rata-rata sebesar 49 %.

Tabel 5. 2. Perbandingan Daya *Output* Laser Dioda 650 nm

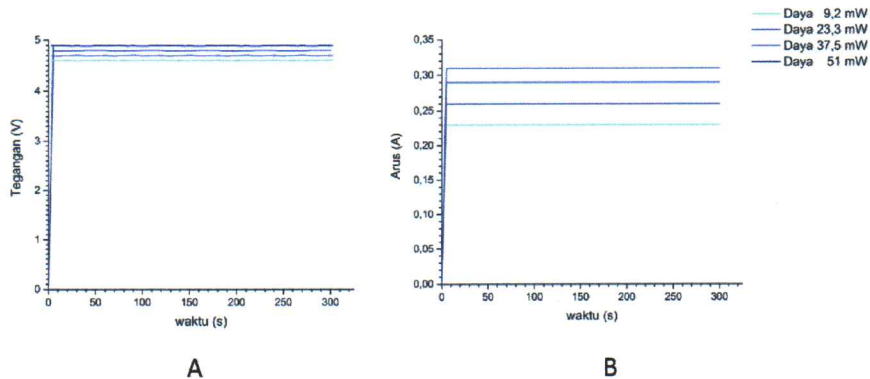
Daya <i>Input</i> (W)	Daya <i>Output</i> (W)		Efisiensi Fiber Optik (%)
	Tanpa Fiber Optik	Dengan Fiber Optik 8 mm	
0,24	0,00147	0,00072	49
0,28	0,00752	0,00373	50
0,32	0,01571	0,00785	50
0,37	0,02263	0,01153	51
0,42	0,03073	0,01535	50
0,47	0,03893	0,01988	51
0,52	0,04639	0,02377	51
0,57	0,05051	0,02572	51
0,59	0,05596	0,02952	53
0,65	0,06134	0,0319	52
0,7	0,06724	0,03496	52
0,77	0,07234	0,03919	54
0,78	0,07594	0,04118	54
0,8	0,08052	0,04427	55
0,86	0,0837	0,04551	54
0,93	0,08341	0,04525	54
0,95	0,08301	0,04497	54
Rerata			52

Tabel 5.2. menampilkan perbandingan antara daya *output* laser dioda 650 nm tanpa dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dan daya *output* laser dioda dipandu fiber optik *multimode* 8 mm yang terukur menggunakan detektor powermeter Thorlabs PM100D. Diperoleh daya *output* laser dioda dipandu fiber optik 8 mm terukur lebih kecil dibandingkan dengan daya *output* laser dioda tanpa dipandu fiber optik, maka dapat dihitung efisiensi yang dimiliki fiber optik *multimode* 8 mm untuk laser dioda 650 nm rata-rata sebesar 52 %.

5.2.2 Pengujian Kestabilan Daya *Input* Terhadap Waktu

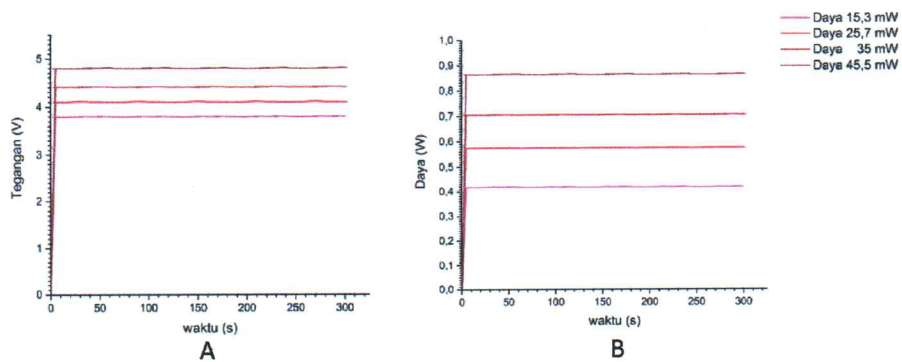
Daya input merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang diberikan sebagai masukan pada laser dioda, uji kestabilan tegangan dan arus masuk selama 5 menit ditunjukkan pada gambar 5.23 untuk tegangan dan arus

masukan laser dioda 445 nm dan gambar 5.24 untuk tegangan dan arus masukan laser dioda 650 nm.



Gambar 5. 23. A, Tegangan Input Instrumen Laser Dioda 445 nm
B, Arus Input Instrumen Laser Dioda 445 nm

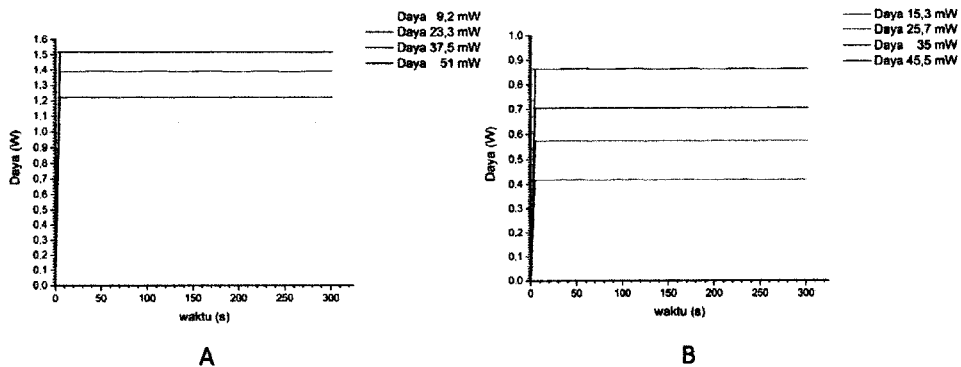
Gambar 5.23 menunjukkan instrumen menghasilkan tegangan dan arus yang stabil untuk setiap pilihan daya output laser dioda 445 nm. Pengukuran menggunakan multimeter digital DT830B diperoleh perubahan tegangan yang terukur sangat kecil dan arus terukur tetap. Data kestabilan arus dan tegangan lebih lengkap ditampilkan pada lampiran 5.



Gambar 5. 24. A, Tegangan Input Instrumen Laser Dioda 650 nm
B, Arus Input Instrumen Laser Dioda 650 nm

Gambar 5.24 menunjukkan instrumen menghasilkan tegangan dan arus yang stabil untuk setiap pilihan daya output laser dioda 650 nm. Pengukuran menggunakan multimeter digital DT830B diperoleh perubahan tegangan yang

terukur sangat kecil dan arus terukur tetap. Data kestabilan arus dan tegangan lebih lengkap ditampilkan pada lampiran 6.

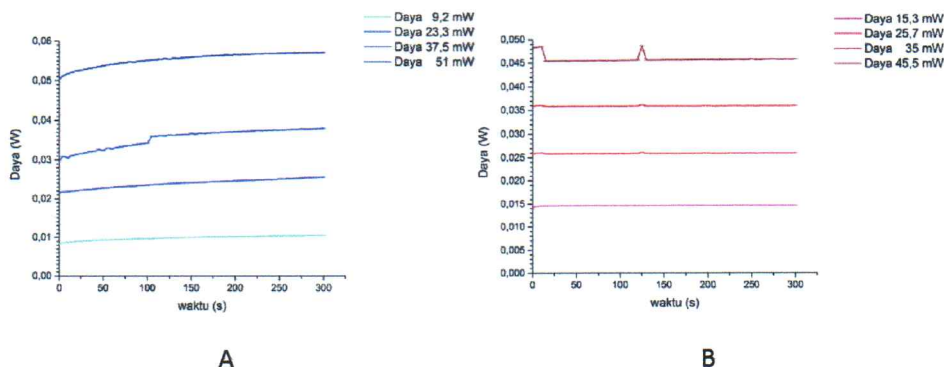


Gambar 5. 25. A, Kestabilan Daya Input Laser Dioda 445 nm
B, Kestabilan Daya Input Laser Dioda 650 nm

Gambar 5.25 menunjukkan instrumen laser dioda menghasilkan daya *input* yang cenderung stabil sebagai masukan laser dioda baik itu laser dioda 445 nm dan 650 nm. Dengan daya *input* yang stabil diharapkan akan menghasilkan daya *output* laser dioda yang stabil dan terkendali. Data kestabilan daya *input* instrumen lebih lengkap dilampirkan pada lampiran 5 dan 6.

5.2.3 Pengujian Kestabilan Daya Output Laser Terhadap Waktu

Pengujian kestabilan daya output laser dilakukan dengan memancarkan laser dioda dengan dipandu fiber optik multi mode berukuran 8 mm pada jarak 1 cm antara ujung output fiber optik ke detektor, selama 300 detik atau 5 menit. Pengujian dilakukan untuk setiap pilihan daya output dari kedua spektrum laser dioda yang digunakan. Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.26.



Gambar 5. 26. A, Kestabilan Tiap Daya Output Laser Diode 445 nm.
B, Kestabilan Tiap Daya Output Laser Dioda 650 nm

Gambar 5.26.A menampilkan grafik hasil pengujian kestabilan daya output laser dioda biru dengan pilihan daya masing-masing 9,2 mW, 23,3 mW, 37,5 mW dan 51 mW yang dipandu dengan fiber optik 8 mm pada jarak 1 cm. Terlihat daya output yang terukur cenderung meningkat. Untuk pilihan daya output 9,2 mW, output daya 9,2 mW akan tercapai setelah 35 detik. Untuk pilihan daya output 23,3 mW, output daya 23,3 akan dicapai setelah 80 detik. Untuk pilihan daya output 37,5 mW, output daya 37,5 mW akan dicapai setelah 235 detik. Untuk pilihan daya output 51 mW, output daya 51 mW telah terukur sejak 0 detik.

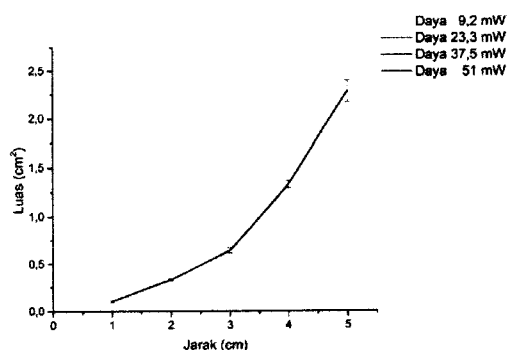
Gambar 5.26.B menampilkan grafik hasil pengujian kestabilan daya output laser dioda merah dengan pilihan daya masing-masing 15,3 mW, 25,7 mW, 35 mW dan 45,5 mW yang dipandu dengan fiber optik 8 mm dari jarak 1 cm. Terlihat untuk daya output 15,3 mW, 25,7 mW dan 35 mW, daya output yang dihasilkan cenderung tetap stabil selama waktu pengujian. Untuk daya 45,5 mW terlihat daya terukur diawal lebih besar dari 45 mW tapi seketika turun ke 45 mW setelah 20 detik, selanjutnya pada detik ke 130 daya terukur melesat mendekati kurang lebih 50 mW tapi seketika kembali turun. Untuk pilihan daya output 15,3 mW, output daya hanya tercapai 14,7 mW pada akhir 300 detik. Untuk pilihan daya output 25,7

mW, output daya cenderung mencapai 25,9 mW dari awal hingga akhir 300 detik. Untuk pilihan daya output 35 mW, output daya cenderung mencapai 35,9 mW dari awal hingga akhir 300 detik. Untuk pilihan daya output 45,5 mW, output daya 45,5 mW terukur setelah 15 detik.

Secara lengkap tabel data pengujian kestabilan daya output terhadap lama waktu dilampirkan pada lampiran 5 dan lampiran 6.

5.2.4 Pengujian Luas Berkas Laser Terhadap Jarak

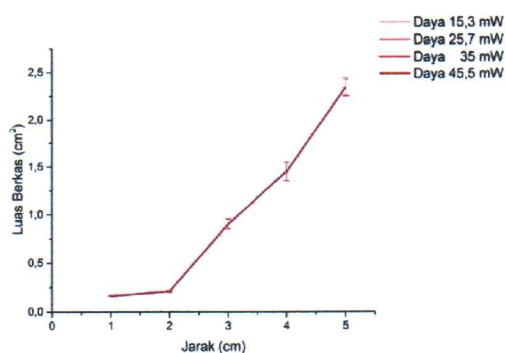
Pengujian luas berkas terhadap perubahan jarak dilakukan dengan memaparkan laser dioda dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dimulai dari jarak 1 cm antara ujung *output* fiber optik ke detektor, hingga jarak 5 cm dengan kenaikan tiap 1 cm untuk setiap pilihan daya *output* laser dioda dari kedua spektrum laser dioda yang digunakan. Pengujian dilakukan untuk setiap pilihan daya *output* dari kedua spektrum laser dioda yang digunakan. Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.27 dan gambar 5.28.



Gambar 5. 27. Grafik Pengujian Luas Berkas Terhadap Perubahan Jarak Laser Dioda 445 nm

Gambar 5.27 menampilkan grafik hasil pengujian luas berkas terhadap perubahan jarak laser dioda 445 nm dengan pilihan daya *output* masing-masing 9,2 mW, 23,3 mW 37,5 mW dan 51 mW yang dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dan

jarak ujung fiber optik ke detektor sebesar 1 cm. Terlihat tidak ada perbedaan luas berkas untuk keempat pilihan daya



Gambar 5. 28. Grafik Pengujian Luas Berkas Terhadap Perubahan Jarak Laser Dioda 650 nm

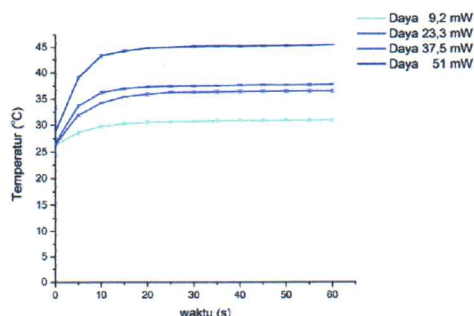
Gambar 5.28 menampilkan grafik hasil pengujian luas berkas terhadap perubahan jarak laser dioda 650 nm dengan pilihan daya *output* masing-masing 15,3 mW, 25,7 mW 35 mW dan 45,5 mW yang dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dan jarak ujung fiber optik ke detektor sebesar 1 cm. Terlihat rerata luas berkas untuk setiap daya tidak ada perbedaan. Dari gambar 5.23 dan gambar 5.24 diperoleh semakin besar jarak laser dioda dipandu fiber optik *multimode* 8 mm ke kertas milimeter blok maka luas berkas laser akan makin besar.

Secara lengkap tabel data pengujian luas berkas paparan terhadap perubahan jarak dilampirkan pada lampiran 5 dan lampiran 6.

5.2.5 Pengujian Temperatur Terhadap Waktu

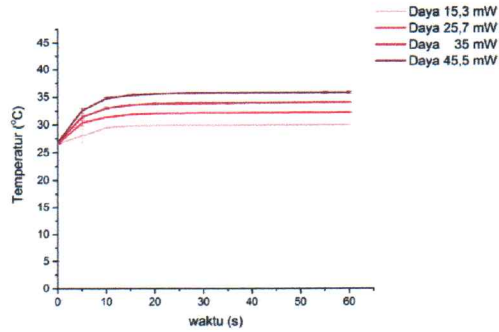
Pengujian peningkatan temperatur terhadap lama waktu paparan dilakukan dengan memancarkan laser dioda dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dengan jarak 1 cm antara ujung *output* fiber optik ke sensor thermometer, selama 60 detik. Pengujian dilakukan untuk setiap pilihan daya *output* dari kedua spektrum laser

dioda yang digunakan. Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.29 dan gambar 5.30.



Gambar 5. 29. Grafik Pengujian Peningkatan Temperatur Terhadap Lama Waktu Paparan Laser Dioda 445 nm Dipandu Fiber Optik 8 mm Pada Jarak 1 cm

Gambar 5.29 menampilkan grafik hasil pengujian temperatur yang meningkat seiring lama waktu dilakukan paparan laser dioda dipandu fiber optik multimode 8 mm. Untuk setiap pilihan daya *output* laser dioda 445 nm cenderung menampilkan peningkatan temperatur hingga detik ke-10, setelahnya peningkatan temperatur terjadi sangat sedikit dan setelah detik ke-20 temperatur yang terukur tetap untuk masing-masing pilihan daya *output* laser dioda 445 nm. Untuk daya *output* 9,2 mW akan mencapai temperatur tertinggi 31°C setelah 20 detik dan stabil, daya *output* 23,3 mW akan mencapai temperatur tertinggi 36°C setelah 20 detik dan stabil, daya *output* 37,5 mW akan mencapai temperatur tertinggi 37°C setelah 15 detik dan stabil, sedangkan daya *output* 51 mW akan mencapai temperatur tertinggi 45°C setelah 20 detik dan stabil.



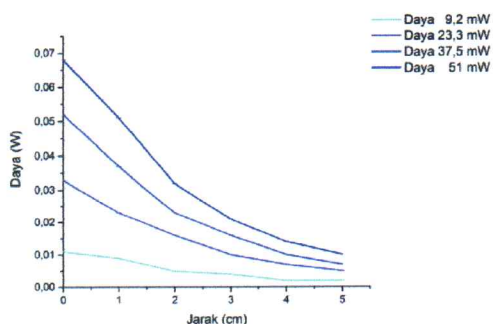
Gambar 5. 30. Grafik Pengujian Peningkatan Temperatur Terhadap Lama Waktu Paparan Laser Dioda 650 nm Dipandu Fiber Optik 8 mm Pada Jarak 1 cm

Gambar 5.30 menampilkan grafik hasil pengujian temperatur yang meningkat seiring lama waktu dilakukan paparan laser dioda dipandu fiber optik *multimode* berukuran 8 mm. Untuk setiap pilihan daya *output* laser dioda 650 nm cenderung menampilkan peningkatan temperatur pada 10 detik awal, setelahnya peningkatan temperatur terjadi sangat sedikit dan setelah detik ke-20 temperatur yang terukur tetap untuk masing-masing pilihan daya *output* laser dioda 650 nm. Untuk daya *output* 15,3 mW akan mencapai temperatur tertinggi 30°C setelah 15 detik dan stabil, daya *output* 25,7 mW akan mencapai temperatur tertinggi 32°C setelah 15 detik dan stabil, daya *output* 35 mW akan mencapai temperatur tertinggi 34°C setelah 20 detik dan stabil, sedangkan daya *output* 45,5 mW akan mencapai temperatur tertinggi 35°C setelah 10 detik dan stabil.

Secara lengkap tabel data pengujian peningkatan temperatur area paparan terhadap lama waktu dilampirkan pada lampiran 5 dan lampiran 6.

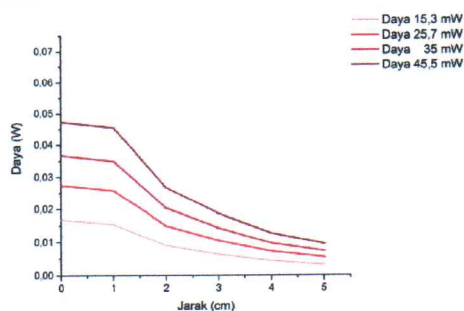
5.2.6 Pengujian Daya *Output* Laser Terhadap Jarak

Pengujian daya *output* laser terhadap jarak dilakukan dengan memanipulasi laser dioda dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dengan jarak antara ujung *output* fiber optik ke sensor diubah dari 0 cm hingga 5 cm dengan kenaikan tiap 1 cm. Pengujian dilakukan untuk setiap pilihan daya *output* dari kedua spektrum laser dioda yang digunakan. Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.31 dan gambar 5.32.



Gambar 5. 31. Grafik Pengujian Daya *Output* Laser Terhadap Perubahan Jarak Paparan Laser Dioda 445 nm Dipandu Fiber Optik 8 mm

Gambar 5.31 menampilkan grafik hasil pengujian daya *output* yang menurun seiring semakin bertambahnya jarak paparan laser dioda 445 nm dipandu fiber optik *multimode* 8 mm. Penurunan daya *output* laser dioda terukur karena bertambahnya jarak antara ujung fiber optik ke detektor untuk keempat pilihan daya *output* laser dioda 445 nm.



Gambar 5. 32. Grafik Pengujian Daya *Output* Laser Terhadap Perubahan Jarak Paparan Laser Dioda 650 nm Dipandu Fiber Optik 8 mm

Gambar 5.32 menampilkan grafik hasil pengujian daya *output* yang menurun seiring semakin bertambahnya jarak paparan laser dioda 650 nm dipandu fiber optik *multimode* 8 mm. Penurunan daya *output* yang terukur karena bertambahnya jarak antara ujung fiber optik ke detektor untuk keempat pilihan daya *output* laser dioda 650 nm.

Secara lengkap tabel data pengujian penurunan daya *output* laser dioda terhadap perubahan jarak terlampir pada lampiran 5 dan lampiran 6.

5.3 Pengujian Instrumen Pada Bakteri Secara *In Vitro*

Dengan diperoleh instrumen laser dioda yang telah diuji dapat menghasilkan pengendalian daya *output* dan pengaturan lama waktu pada penelitian tahap pertama, maka penelitian tahap kedua dapat dilaksanakan. Penelitian tahap kedua yakni penelitian menggunakan instrumen laser dioda untuk diuji kemampuannya dalam menginaktivasi koloni bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* dan dikombinasikan dengan *photosensitizer* klorofil untuk memperoleh optimasi dalam mengurangi koloni bakteri.

Sebelum melakukan perlakuan, perlu dilakukan perhitungan dosis energi dari data pengujian instrumen yang telah diperoleh pada penelitian tahap pertama, serta dari data spektrum serap *photosensitizer* klorofil *Moringa oleifera*. Setelah diperoleh dosis energi yang diharapkan, selanjutnya dilakukan pengujian pada sampel bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*.

5.3.1 Perhitungan Dosis Energi

Perhitungan dosis energi dilakukan dengan menggunakan nilai absorbansi tiap panjang gelombang *photosensitizer* klorofil yang diperoleh dari uji

spektrofotometer UV-vis yang dilampirkan pada lampiran 7. Data hasil perhitungan dosis energi untuk perlakuan ditunjukkan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5. 3. Perhitungan Dosis Energi

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi	Quantum Yield (%)	Dosis Energi Terserap (J.cm ⁻²)	Dosis Energi Paparan (J.cm ⁻²)
430	1,848	98,58094	2,5	2,54
			5	5,07
			7,5	7,61
			10	10,14
660	0,741	81,84484	2,5	3,06
			5	6,11
			7,5	9,16
			10	12,22

Dengan diperoleh dosis energi yang diserap, maka diperlukan penentuan waktu paparan yang sesuai. Perhitungan waktu paparan untuk memperoleh dosis energi paparan yang diperlukan ditunjukkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5. 4. Perhitungan Waktu Paparan

Panjang Gelombang (nm)	Daya Laser Dioda (W)	Waktu Paparan (s)	Luas Berkas (cm ²)	Dosis Energi (J.cm ⁻²)
430	0,00916	27,7	0,1	2,53732
	0,023314	21,8		5,082452
	0,037465	20,3		7,605395
	0,050706	20		10,1412
660	0,015344	32,3	0,162	3,059328
	0,025706	38,5		6,109142
	0,034954	42,5		9,170031
	0,045503	43,5		12,2184

Data tabel 5.4 digunakan untuk perlakuan pada sampel bakteri uji dengan pemberian kode tiap sampel ditampilkan pada tabel 5.5.

Tabel 5. 5. Data Pengujian Fotodinamik Secara *in Vitro*

Kode Sampel	Daya Laser Dioda (W)	Waktu (s)	Luas Berkas (cm ²)	Energi Paparan (J.cm ⁻²)	Keterangan
B1	0,00916	27,7	0,1	2,53732	Perlakuan LD biru tanpa <i>photosensitizer</i> klorofil dengan dosis energi 2,5 J.cm ⁻²
B2	0,023314	21,8	0,1	5,082452	Perlakuan LD biru tanpa <i>photosensitizer</i> klorofil dengan dosis energi 5 J.cm ⁻²
B3	0,037465	20,3	0,1	7,605395	Perlakuan LD biru tanpa <i>photosensitizer</i> klorofil dengan dosis energi 7,5 J.cm ⁻²
B4	0,050706	20	0,1	10,1412	Perlakuan LD biru tanpa <i>photosensitizer</i> klorofil dengan dosis energi 10 J.cm ⁻²
M1	0,015344	32,3	0,162	3,059328	Perlakuan LD merah tanpa <i>photosensitizer</i> klorofil dengan dosis energi 2,5 J.cm ⁻²
M2	0,025706	38,5	0,162	6,109142	Perlakuan LD merah tanpa <i>photosensitizer</i> klorofil dengan dosis energi 5 J.cm ⁻²
M3	0,034954	42,5	0,162	9,170031	Perlakuan LD merah tanpa <i>photosensitizer</i> klorofil dengan dosis energi 7,5 J.cm ⁻²
M4	0,045503	43,5	0,162	12,2184	Perlakuan LD merah tanpa <i>photosensitizer</i> klorofil dengan dosis energi 10 J.cm ⁻²
K(-)	0	0	0	0	Kontrol tanpa PS klorofil dengan dosis energi 0 J.cm ⁻²
BK1	0,00916	27,7	0,1	2,53732	Perlakuan LD biru dengan <i>photosensitizer</i> klorofil dan dosis energi 2,5 J.cm ⁻²
BK2	0,023314	21,8	0,1	5,082452	Perlakuan LD biru dengan <i>photosensitizer</i> klorofil dan dosis energi 5 J.cm ⁻²
BK3	0,037465	20,3	0,1	7,605395	Perlakuan LD biru dengan <i>photosensitizer</i> klorofil dan dosis energi 7,5 J.cm ⁻²
BK4	0,050706	20	0,1	10,1412	Perlakuan LD biru dengan <i>photosensitizer</i> klorofil dan dosis energi 10 J.cm ⁻²

Kode Sampel	Daya Laser Dioda (W)	Waktu (s)	Luas Berkas (cm ²)	Energi Paparan (J.cm ⁻²)	Keterangan
MK1	0,015344	32,3	0,162	3,059328	Perlakuan LD merah dengan <i>photosensitizer</i> klorofil dan dosis energi 2,5 J.cm ⁻²
MK2	0,025706	38,5	0,162	6,109142	Perlakuan LD merah dengan <i>photosensitizer</i> klorofil dan dosis energi 5 J.cm ⁻²
MK3	0,034954	42,5	0,162	9,170031	Perlakuan LD merah dengan <i>photosensitizer</i> klorofil dan dosis energi 7,5 J.cm ⁻²
MK4	0,045503	43,5	0,162	12,2184	Perlakuan LD merah dengan <i>photosensitizer</i> klorofil dan dosis energi 10 J.cm ⁻²
KK	0	0	0	0	Kontrol dengan <i>photosensitizer</i> klorofil dan dosis energi 0 J.cm ⁻²

Waktu paparan untuk sampel perlakuan tanpa *photosensitizer* dibuat sama dengan sampel perlakuan dengan *photosensitizer* klorofil untuk mengetahui pengaruh *photosensitizer* dalam pengujian fotodinamik secara *in vitro*.

5.4.2 Pengujian Fotodinamik Secara *in Vitro*

Pengujian instrumen laser dioda inaktivasi dengan optimasi *photosensitizer* klorofil pada bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* memperoleh hasil berupa koloni bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* yang terhitung dari setiap sampel dan ditunjukkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6. Rerata Koloni Bakteri Terhitung dari Tiap Kelompok

Dosis Energi (J.cm ⁻²)	Koloni Kelompok Perlakuan Tanpa <i>Photosensitizer</i> (CFU.ml ⁻¹)		Koloni Kelompok Perlakuan Dengan <i>Photosensitizer</i> (CFU.ml ⁻¹)	
	LD 445 nm	LD 650 nm	LD 445 nm	LD 650 nm
0 (kontrol)	5,23.10 ¹⁰ ± 1,1.10 ⁹	5,23.10 ¹⁰ ± 1,1.10 ⁹	4,76.10 ¹⁰ ± 4,1.10 ⁹	4,76.10 ¹⁰ ± 4,1.10 ⁹
2,5	3,76.10 ¹⁰ ± 3,9.10 ⁹	3,79.10 ¹⁰ ± 2,6.10 ⁹	2,83.10 ¹⁰ ± 6,4.10 ⁹	1,19.10 ¹⁰ ± 3,2.10 ⁹

Dosis Energi (J.cm ⁻²)	Koloni Kelompok Perlakuan Tanpa Photosensitizer (CFU.ml ⁻¹)		Koloni Kelompok Perlakuan Dengan Photosensitizer (CFU.ml ⁻¹)	
	LD 445 nm	LD 650 nm	LD 445 nm	LD 650 nm
5	3,51.10 ¹⁰ ± 2,2.10 ⁹	3,69.10 ¹⁰ ± 2,5.10 ⁹	2,63.10 ¹⁰ ± 4,6.10 ⁹	1,14.10 ¹⁰ ± 1,7.10 ⁹
7,5	2,92.10 ¹⁰ ± 3,2.10 ⁹	2,69.10 ¹⁰ ± 3,6.10 ⁹	2,41.10 ¹⁰ ± 4,9.10 ⁹	1,12.10 ¹⁰ ± 2,1.10 ⁹
10	2,385.10 ¹⁰ ± 4.10 ⁹	2,44.10 ¹⁰ ± 3,6.10 ⁹	1,71.10 ¹⁰ ± 4.10 ⁹	8,05.10 ⁹ ± 9,7.10 ⁸

Tabel 5.6 menunjukkan rerata koloni bakteri yang terhitung dari tiap sampel. Perhitungan dilakukan dengan cara *total plate count* (TPC) kemudian dikonversi dalam satuan CFU.ml⁻¹. Secara lengkap, keseluruhan data koloni bakteri untuk sampel perlakuan dan sampel kontrol dilampirkan pada lampiran 10. Dengan diperoleh data koloni hasil perlakuan, dapat dilakukan perhitungan untuk memperoleh persentase viabilitas koloni bakteri yang ditampilkan pada tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5. 7. Data Viabilitas Bakteri dari Setiap Kelompok

Dosis Energi (J.cm ⁻²)	Persentase Viabilitas Kelompok Perlakuan Tanpa Photosensitizer (%)		Persentase Viabilitas Kelompok Perlakuan Dengan Photosensitizer (%)	
	LD 445 nm	LD 650 nm	LD 445 nm	LD 650 nm
2,5	-28,12 ± 7,1	-27,47 ± 6	-40,77 ± 11,6	-75,22 ± 5,6
5	-32,93 ± 2,9	-29,49 ± 5,3	-44,58 ± 10,1	-75,72 ± 5,4
7,5	-44,2 ± 5,6	-48,5 ± 7,6	-49,3 ± 10,2	-76,48 ± 3,9
10	-54,41 ± 7,7	-53,42 ± 7	-63,85 ± 10	-83,01 ± 2,4

Tabel 5.7 menampilkan persentase viabilitas bernilai negatif, hal tersebut menunjukkan terjadi kematian bakteri akibat perlakuan yang diberikan, dimana tiap perlakuan yang diberikan menghasilkan besar persentase viabilitas yang berbeda. Secara lengkap, keseluruhan data perhitungan persentase viabilitas koloni bakteri dilampirkan pada lampiran 11.

5.4 Pengujian Statistik

Data penelitian fotodinamik yang telah diperoleh selanjutnya digunakan untuk uji statistik. Uji statistik yang digunakan adalah uji *analysis of variance* atau sering disingkat ANOVA.. Sebelum diuji anova, data terlebih dahulu dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas untuk melihat apakah data yang digunakan telah terdistribusi normal dan memiliki variansi yang homogen.

Hasil uji normalitas (*one-sample kolmogorov-smirnov test*) dan homogenitas (*levene test*) pada data kontrol dan perlakuan fotodinamik menunjukkan data terdistribusi normal dan memiliki variansi yang homogen sehingga data dapat digunakan untuk uji ANOVA.

Hasil uji ANOVA pada data kontrol yakni hubungan antara kelompok kontrol tanpa *photosensitizer* dan kelompok kontrol dengan *photosensitizer* klorofil menunjukkan sig. 0,069 sehingga H_0 diterima atau menyatakan tidak ada perbedaan antara kelompok kontrol tanpa *photosensitizer* dan kelompok kontrol dengan *photosensitizer* ditunjukkan pada tabel 5.8.

Tabel 5. 8. Uji Hubungan Antar Kelompok Kontrol

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4,418E+19	1	4,418E+19	4,905	,069
Within Groups	5,404E+19	6	9,007E+18		
Total	9,822E+19	7			

Dengan tidak adanya perbedaan antara kelompok kontrol tanpa *photosensitizer* dengan kelompok kontrol dengan *photosensitizer*, dapat dinyatakan penggunaan klorofil 20% tidak tidak bersifat toksik pada bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. Selanjutnya hasil uji ANOVA pada data perlakuan

fotodinamik terhadap sampel bakteri memperoleh hasil yang ditunjukkan pada tabel 5.9.

Tabel 5. 9. Uji ANOVA Pengaruh Antar Faktor

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,445E+22 ^a	19	7,604E+20	63,035	,000
Intercept	6,956E+22	1	6,956E+22	5766,557	,000
photosensitizer	3,023E+21	1	3,023E+21	250,633	,000
laser	5,607E+20	1	5,607E+20	46,485	,000
dosis	9,472E+21	4	2,368E+21	196,313	,000
photosensitizer * laser	5,714E+20	1	5,714E+20	47,367	,000
photosensitizer * dosis	4,575E+20	4	1,144E+20	9,481	,000
laser * dosis	1,747E+20	4	4,367E+19	3,620	,010
photosensitizer * laser * dosis	1,873E+20	4	4,684E+19	3,883	,007
Error	7,238E+20	60	1,206E+19		
Total	8,473E+22	80			
Corrected Total	1,517E+22	79			

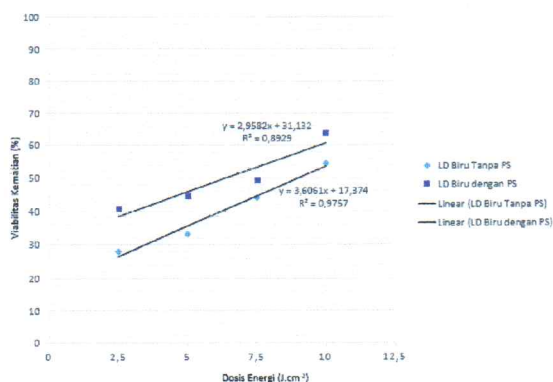
Tabel 5.9 menampilkan uji statistik pengaruh antar faktor pada penelitian fotodinamik. Faktor yang diuji antara lain penggunaan *photosensitizer*, spektrum laser dioda dan dosis energi, terhadap hubungannya dengan koloni bakteri yang tumbuh. Untuk faktor tunggal yakni penggunaan *photosensitizer*, spektrum laser dan dosis energi memiliki nilai sig. 0,000 atau $<0,05$, hal tersebut bermakna H_0 ditolak sehingga dinyatakan terdapat perbedaan jumlah koloni bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* yang tumbuh akibat pengaruh penggunaan *photosensitizer*, spektrum laser dan dosis energi. Selanjutnya untuk kombinasi antar faktor seperti penggunaan *photosensitizer* dengan spektrum laser, penggunaan *photosensitizer* dengan dosis energi, dan penggunaan *photosensitizer* dengan spektrum laser serta dosis energi, memiliki nilai sig. yang lebih kecil dari 0,05 sehingga dinyatakan interaksi antara penggunaan *photosensitizer* dengan spektrum laser, penggunaan *photosensitizer* dengan dosis energi, dan penggunaan *photosensitizer* dengan spektrum laser serta variasi dosis energi, mempengaruhi

pertumbuhan koloni bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. Selanjutnya pengaruh antara variasi dosis energi yang diberikan ditampilkan pada tabel 5.8.

Tabel 5. 10. *Multiple Comparison Dosis Energi*

(I) Dosis Energi	(J) Dosis Energi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0J/cm ²	2,5J/cm ²	2,1050E+10 [*]	1227947135	,000	17596448542	24503551458
	5J/cm ²	2,2537E+10 [*]	1227947135	,000	19083948542	25991051458
	7,5J/cm ²	2,7100E+10 [*]	1227947135	,000	23648448542	30553551458
	10J/cm ²	3,1625E+10 [*]	1227947135	,000	28171448542	35078551458
2,5J/cm ²	0J/cm ²	-2,1050E+10 [*]	1227947135	,000	-2,4504E+10	-1,7596E+10
	5J/cm ²	1487500000 [*]	1227947135	,745	-1968051458	4941051458
	7,5J/cm ²	6050000000 [*]	1227947135	,000	2596448542	9503551458
	10J/cm ²	1,0575E+10 [*]	1227947135	,000	7121448542	14028551458
5J/cm ²	0J/cm ²	-2,2537E+10 [*]	1227947135	,000	-2,5991E+10	-1,9084E+10
	2,5J/cm ²	-1487500000 [*]	1227947135	,745	-4941051458	1966051458
	7,5J/cm ²	4562500000 [*]	1227947135	,004	1108948542	8016051458
	10J/cm ²	9087500000 [*]	1227947135	,000	5633948542	12541051458
7,5J/cm ²	0J/cm ²	-2,7100E+10 [*]	1227947135	,000	-3,0554E+10	-2,3646E+10
	2,5J/cm ²	-6,0500E+9 [*]	1227947135	,000	-9503551458	-2596448542
	5J/cm ²	-4,5625E+9 [*]	1227947135	,004	-8016051458	-1108948542
	10J/cm ²	4525000000 [*]	1227947135	,004	1071448542	7978551458
10J/cm ²	0J/cm ²	-3,1625E+10 [*]	1227947135	,000	-3,5079E+10	-2,8171E+10
	2,5J/cm ²	-1,0575E+10 [*]	1227947135	,000	-1,4029E+10	-7121448542
	5J/cm ²	-9,0875E+9 [*]	1227947135	,000	-1,2541E+10	-5633948542
	7,5J/cm ²	-4,5250E+9 [*]	1227947135	,004	-7978551458	-1071448542

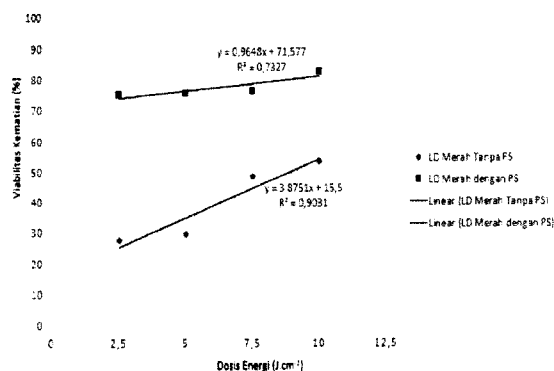
Tabel 5.10. menampilkan komparasi berganda pengaruh dosis energi terhadap pertumbuhan bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* dengan menggunakan uji tukey. Terlihat hubungan antara dosis energi 2,5 J.cm⁻² dengan dosis energi 5 J.cm⁻² memiliki nilai sig. lebih besar dari 0,05 sehingga H0 diterima atau dinyatakan peningkatan dosis energi yang diberikan dari 2,5 J.cm⁻² ke dosis energi 5 J.cm⁻² tidak menghasilkan perbedaan terhadap pertumbuhan koloni bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. Sedangkan untuk hubungan antara dosis energi yang lain memiliki nilai sig. yang lebih kecil dari 0,05 sehingga H0 ditolak atau dapat dinyatakan bahwa terdapat pengaruh berbeda terhadap pertumbuhan koloni bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* dengan dosis energi yang digunakan tersebut. Berikut ditampilkan *scatter plot* dengan *linier fit line* untuk data viabilitas koloni bakteri setelah dilakukan pengujian fotodinamik.



Gambar 5. 33. Viabilitas Kematian Dengan Laser Dioda 445 nm

Gambar 5.33 menunjukkan persentase peningkatan viabilitas kematian bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* dengan penggunaan laser dioda 445 nm baik itu dengan dan tanpa *photosensitizer* klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) terhadap dosis energi yang diberikan. Terlihat persentase kematian bakteri dengan pemberian *photosensitizer* klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) lebih tinggi dibandingkan kematian bakteri tanpa *photosensitizer* untuk setiap dosis energi yang diberikan. Nilai R^2 merupakan koefisien determinasi yang menyatakan seberapa dekat data dengan garis regresi linier atau kedekatan ragam variable independen (pemberian *photosensitizer*, penggunaan spektrum laser dioda dan variasi dosis energi) dengan ragam variable dependen (viabilitas kematian bakteri). Terlihat viabilitas kematian bakteri dengan perlakuan pemberian spektrum laser 445 nm tanpa *photosensitizer* memiliki nilai koefisien determinasi sebesar 0,9757, maka variabel independen dengan pemberian spektrum laser 445 nm tanpa *photosensitizer* dan keragaman variasi dosis energi dapat menjelaskan 97,57% pengaruh terhadap viabilitas kematian bakteri yang dihasilkan dan sisanya 2,43% dijelaskan oleh variabel lain diluar penelitian. Sedangkan viabilitas kematian bakteri dengan perlakuan pemberian spektrum laser

445 nm dan dengan tambahan *photosensitizer* klorofil memiliki nilai koefisien determinasi sebesar 0,8929, maka variabel perlakuan dengan pemberian spektrum laser 445 nm dan dengan *photosensitizer* klorofil serta keragaman variasi dosis energi hanya menjelaskan 89,29% pengaruh terhadap viabilitas kematian bakteri yang dihasilkan dan sisanya 10,71% dijelaskan oleh variabel lain diluar penelitian.



Gambar 5. 34. Viabilitas Kematian Dengan Laser Dioda 650 nm

Gambar 5.34 menunjukkan persentase peningkatan viabilitas kematian bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* dengan penggunaan laser dioda 650 nm baik itu dengan dan tanpa *photosensitizer* klorofil terhadap variasi dosis energi yang diberikan. Terlihat persentase kematian bakteri dengan pemberian *photosensitizer* klorofil lebih tinggi dibandingkan kematian bakteri tanpa *photosensitizer* untuk setiap variasi dosis energi yang diberikan. Untuk viabilitas kematian bakteri dengan perlakuan pemberian spektrum laser 650 nm tanpa *photosensitizer* memiliki nilai koefisien determinasi sebesar 0,9031, maka variabel perlakuan dengan pemberian spektrum laser 650 nm tanpa *photosensitizer* dan keragaman variasi dosis energi hanya menjelaskan 90,31% pengaruh terhadap viabilitas kematian bakteri yang terjadi dan sisanya 9,69% dijelaskan oleh variabel lain diluar penelitian. Sedangkan viabilitas kematian bakteri dengan perlakuan

pemberian spektrum laser 650 nm dan tambahan *photosensitizer* klorofil memiliki nilai koefisien determinasi sebesar 0,7327 , maka variabel perlakuan dengan pemberian spektrum laser 650nm dan dengan *photosensitizer* klorofil serta keragaman variasi dosis energi hanya menjelaskan 73,27% pengaruh terhadap viabilitas kematian bakteri dan sisanya 26,73% dijelaskan oleh variabel lain diluar penelitian.

BAB VI
PEMBAHASAN



BAB VI

PEMBAHASAN

Penelitian yang telah dilakukan terdiri dari dua tahap. Penelitian tahap pertama merupakan perancangan instrumen pengendali laser dioda untuk mengatur daya *output* dan lama waktu nyala laser dioda. Laser dioda digunakan sebagai sumber cahaya pada penelitian tahap kedua yakni pengujian fotodinamik pada bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* dengan *photosensitizer* klorofil hasil ekstraksi daun kelor (*Moringa oleifera*).

Laser dioda dapat menghasilkan cahaya karena bahan semikonduktor didalamnya dialiri arus listrik (Numai, 2015). Tegangan listrik yang diberikan setara dengan energi *bandgap* semikonduktor sehingga dapat terjadi aliran arus dan perpindahan elektron meninggalkan pita valensi ke pita konduksi memicu terjadi *inversion population* atau populasi elektron di pita konduksi lebih banyak dari pita valensi, namun elektron bebas di pita konduksi akan berusaha kembali ke pita valensi sehingga elektron akan melepaskan emisi foton spontan dan dapat kembali ke pita valensi untuk berpasangan dengan *hole* (*elektron-hole pair recombination*) (Csele, 2004). Emisi foton spontan memiliki panjang gelombang, fase dan arah sebaran berbeda yang akan memantul, terserap dan menginduksi terjadinya rekombinasi kembali hingga diperoleh emisi terstimulasi yang dapat menjadi *output* laser dioda dengan sifat monokromatis, koheren dan terarah (Numai, 2015).

Data karakterisasi panjang gelombang yang dihasilkan laser dioda 445 nm menggunakan monokromator JASCO CT-10 dan detektor powermeter Thorlabs PM100D, dari panjang gelombang 410 nm sampai 480 nm menunjukkan laser dioda 445 nm menghasilkan foton terstimulasi dengan *peak daya output* tertinggi mencapai $117,9 \pm 0,37$ mW pada panjang gelombang 430 nm. Dapat disimpulkan foton terstimulasi yang memiliki fase sama lebih dominan dihasilkan oleh laser dioda 445 nm adalah foton dengan panjang gelombang 430 nm sehingga terjadi interferensi foton menghasilkan daya output mencapai $117,9 \pm 0,37$ mW. Sedangkan pada data karakterisasi laser dioda 650 nm dengan monokromator yang sama dari panjang gelombang 615 nm sampai 685 nm diperoleh laser dioda 650 nm menghasilkan *peak daya output* tertinggi mencapai $22,5 \pm 0,006$ mW pada panjang gelombang 660 nm. Dapat disimpulkan bahwa foton terstimulasi dengan fase sama lebih lebih dominan dihasilkan laser dioda 650 nm adalah foton dengan panjang gelombang 660 nm, sehingga terjadi interferensi foton menghasilkan daya output mencapai $22,5 \pm 0,006$ mW.

Karakterisasi daya *input* terhadap daya *output* laser dioda baik itu untuk laser dioda 445 nm dan 650 nm dilakukan dengan mengubah variasi tegangan *input* ke laser dioda, hal itu dapat mempengaruhi besar arus listrik yang mengalir dan dihasilkan variasi daya *output* laser. Diperoleh hasil pengukuran daya *output* (jarak 1 cm) yang berbeda dari kedua laser dioda untuk setiap daya *input* yang digunakan. Pada laser dioda 445 nm dengan pengukuran detektor powermeter pada panjang gelombang 430 nm, untuk tegangan *input* 4,6 Volt, arus yang mengalir ke laser dioda sebesar 0,23 Ampere atau daya *input* laser sebesar 1,1 Watt, daya *output* laser yang terukur sebesar $0,0205 \pm 0,0003$ W. Ketika digunakan tegangan *input*

4,7 Volt, arus yang mengalir ke laser dioda sebesar 0,26 Ampere atau daya *input* laser sebesar 1,2 Watt, daya *output* laser yang terukur sebesar $0,0477 \pm 0,0006$ W. Kemudian digunakan tegangan *input* 4,8 Volt, arus yang mengalir ke laser dioda sebesar 0,29 Ampere atau daya *input* laser sebesar 1,4 Watt, daya *output* laser yang terukur sebesar $0,0746 \pm 0,0001$ W. Selanjutnya dengan tegangan *input* 4,9 Volt, arus yang mengalir ke laser dioda sebesar 0,31 Ampere atau daya *input* laser sebesar 1,5 Watt, daya *output* laser yang terukur sebesar $0,1014 \pm 0,0003$ W. Sedangkan pada laser dioda 650 nm, dengan pengukuran panjang gelombang detektor pada 660 nm diperoleh, untuk tegangan *input* 3,8 Volt, arus yang mengalir ke laser dioda sebesar 0,11 Ampere atau daya *input* laser sebesar 0,42 Watt, daya *output* laser yang terukur sebesar $0,0307 \pm 0,00005$ W. Ketika digunakan tegangan *input* 4,1 Volt, arus yang mengalir ke laser dioda sebesar 0,14 Ampere atau daya *input* laser sebesar 0,57 Watt, daya *output* laser yang terukur sebesar $0,0505 \pm 0,00033$ W. Kemudian digunakan tegangan *input* 4,4 Volt, arus yang mengalir ke laser dioda sebesar 0,16 Ampere atau daya *input* laser sebesar 0,7 Watt, daya *output* laser yang terukur sebesar $0,0672 \pm 0,00007$ W. Selanjutnya dengan tegangan *input* 4,8 Volt, arus yang mengalir ke laser dioda sebesar 0,18 Ampere atau daya *input* laser sebesar 0,86 Watt, daya *output* laser yang terukur sebesar $0,0837 \pm 0,00004$ W. Dapat disimpulkan bahwa dengan mengubah tegangan *input* akan mempengaruhi arus yang mengalir ke laser dioda yang tentunya mempengaruhi foton terstimulasi yang dihasilkan laser dioda. Hasil yang berbeda akan diperoleh untuk laser yang berbeda karena dipengaruhi bahan semikonduktor penyusun laser.

Dari data karakteristik laser dioda tersebut dirancang dan dihasilkan instrumen pengendali laser dioda yang dapat menghasilkan tegangan *input*

bervariasi serta pengendalian waktu. Pada penelitian, instrumen hanya mengendalikan laser dioda untuk menghasilkan masing-masing 4 daya *output*. Digunakan juga fiber optik *multimode* 8 mm untuk memandu foton terstimulasi yang dihasilkan laser dioda. Fiber optik memiliki kemampuan menangkap cahaya dalam rentang panjang gelombang 200 nm (UV) sampai 1600 nm (IR), untuk dikirimkan dari satu sisi ke sisi lainnya (Prasad, 2003). Dengan membandingkan data pengujian daya *output* laser dioda dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dengan data karakteristik daya *output* laser dioda tanpa dipandu fiber optik akan diperoleh efisiensi yang dimiliki fiber optik *multimode* 8 mm. Diperoleh efisiensi fiber optik *multimode* 8 mm sebesar 49 % untuk laser dioda 445 nm dan sebesar 52 % untuk laser dioda 650 nm. Dapat disimpulkan fiber optik *multimode* 8 mm lebih efisien memandu spektrum cahaya merah yang dihasilkan laser dioda 650 nm dibanding cahaya biru yang dihasilkan laser dioda 445 nm.

Dari uji performansi diperoleh laser dioda memiliki kestabilan daya *output* yang berbeda antara laser dioda 445 nm dan 650 nm. Uji kestabilan menunjukkan laser dioda 445 nm cenderung akan menghasilkan daya *output* terukur yang meningkat tiap waktu untuk keempat pilihan daya instrumen laser dioda inaktivasi. Sedangkan untuk laser dioda 650 nm cenderung stabil untuk daya 15,3 mW, 25,7 mW dan 35 mW, pada pilihan daya 45,5 mW dihasilkan daya *output* yang cukup stabil dan diperoleh terjadi *peak* peningkatan daya *output* sesaat meskipun daya input yang diterima stabil, hal tersebut diperkirakan karena karakter semikonduktor penyusun laser dioda.

Instrumen laser dioda yang telah dirancang ditujukan untuk terapi penyakit periodontal, sehingga waktu paparan yang digunakan diharapkan lebih singkat atau

kurang dari 1 menit. Dosis energi yang diberikan disesuaikan dengan *quantum yield photosensitizer* klorofil dari daun kelor (*Moringa oleifera*), dimana untuk panjang gelombang 430 nm adalah sebesar 98,6 % dan untuk panjang gelombang 660 nm adalah sebesar 81,8 %. Karena *quantum yield* penyerapan dosis energi spektrum laser dioda 660 nm lebih rendah dari laser dioda 430 nm, untuk mencapai dosis energi yang setara diperlukan waktu paparan lebih lama untuk setiap penggunaan daya *output* dari instrumen laser dioda 650 nm.

Bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* yang digunakan pada penelitian uji fotodinamik tumbuh baik pada temperatur 37° C, tapi juga dapat tumbuh pada temperatur 20-42° C (Kesić *et al.*, 2009). Untuk dosis energi 2,5 J.cm⁻², 5 J.cm⁻², dan 7,5 J.cm⁻² pada laser dioda 445 nm temperatur yang dihasilkan masih berada dalam temperatur optimal untuk pertumbuhan bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* sehingga disimpulkan jika terjadi kematian dengan pemaparan dengan dosis energi laser dioda tersebut bukan karena akibat efek fotothermal, namun untuk dosis 10 J.cm⁻² pada laser dioda 445 nm temperatur yang dihasilkan 3°C lebih tinggi dari temperatur optimal pertumbuhan bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, sehingga disimpulkan jika terjadi kematian dengan pemaparan dosis energi laser dioda tersebut mungkin dipengaruhi efek fotothermal yang membahayakan bakteri. Untuk laser dioda 650 nm, pada dosis energi 2,5 J.cm⁻², 5 J.cm⁻², 7,5 J.cm⁻² dan 10 J.cm⁻² temperatur yang dihasilkan masih berada dalam temperatur optimal untuk pertumbuhan bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* sehingga disimpulkan jika terjadi kematian dengan pemaparan dosis energi laser dioda tersebut bukan karena akibat efek fotothermal. Mengacu pada gambar 2.25 Pemetaan Interaksi Cahaya Terhadap

Jaringan (Niemz, 2007), paparan cahaya dengan rapat daya $< 10^0 \text{ W.cm}^{-2}$ dan lama waktu paparan $< 10^3$ akan timbul interaksi *photochemical* yaitu reaksi kimia yang terjadi pada makromolekul dan jaringan akibat paparan cahaya.

Pengujian fotodinamik dengan menggunakan instrumen laser dioda dan optimasi *photosensitizer* klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) diperoleh hasil terjadi kematian bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* akibat paparan laser dioda baik itu laser dioda 445 nm dan laser dioda 650 nm. Kematian bakteri tertinggi terjadi untuk kelompok perlakuan dengan *photosensitizer* klorofil dan paparan laser dioda 650 nm dengan dosis energi 10 J.cm^{-2} yakni sebesar $83 \pm 2,44 \%$. Hasil uji ANOVA menunjukkan kematian bakteri dipengaruhi penambahan *photosensitizer* serta kematian bakteri meningkat seiring penggunaan dosis energi meningkat. Namun untuk dosis energi 5 J.cm^{-2} tidak menunjukkan perbedaan peningkatan kematian bakteri dengan dosis energi $2,5 \text{ J.cm}^{-2}$. Pada kelompok tanpa *photosensitizer* dapat terjadi kematian yang lebih rendah perolehannya dibandingkan dengan kelompok dengan *photosensitizer* dikarenakan berkas laser dengan keempat dosis energi untuk kedua spektrum laser dioda mempengaruhi porfirin endogen pada bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* menyebabkan proses fotodinamik inaktivasi. Dengan melihat persentase kematian antara kelompok tanpa *photosensitizer* dan kelompok dengan *photosensitizer*, dapat disimpulkan porfirin endogen bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* tidak menyerap dosis energi paparan laser dioda dibandingkan *photosensitizer* klorofil, sehingga inaktivasi bakteri yang dihasilkan lebih sedikit. Pada perlakuan tanpa *photosensitizer* klorofil kelor, antara paparan laser dioda 445 nm dengan laser dioda 650 nm, diperoleh persentase

viabilitas kematian bakteri cenderung sedikit lebih banyak pada pemaparan laser dioda 445 nm. Hal itu disebabkan bakteri *A.a.* memiliki Protoporphyrin IX yang lebih menyerap pemaparan laser dioda 445 nm dengan foton terstimulasi lebih dominan pada panjang gelombang 430 nm dibandingkan pemaparan laser dioda 650 nm dengan foton terstimulasi lebih dominan pada panjang gelombang 660 nm.

Klorofil yang digunakan merupakan ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) dengan konsentrasi 20%. Pada kelompok kontrol tanpa *photosensitizer* rerata jumlah bakteri yang tumbuh sebesar $5,23.10^{10} \pm 1,1.10^9$ CFU.ml⁻¹ sedangkan pada kelompok kontrol dengan *photosensitizer* rerata jumlah bakteri yang tumbuh sebesar $4,76.10^{10} \pm 4,1.10^9$ CFU.ml⁻¹, dari pengujian statistik *one-way anova* diperoleh hasil tidak ada perbedaan antara kelompok kontrol dengan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) konsentrasi 20% dan kelompok tanpa *photosensitizer*. Sehingga penggunaan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) konsentrasi 20% tidak menyebabkan kematian bagi bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, dan penggunaan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) konsentrasi 20% berperan dalam meningkatkan energi yang terserap pada bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* untuk mendukung proses *intersystem crossing* dan pembentukan *reactive oxygen species*.

Kematian bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* pada penelitian tahap kedua dipengaruhi proses fotofisika, fotokimia dan fotobiologi yang terjadi akibat paparan laser dioda dan dioptimalkan dengan *photosensitizer* klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) untuk meningkatkan jumlah kematian yang terjadi pada bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. Proses fotofisika

akibat pemaparan laser dioda 445 nm atau laser dioda 650 nm akan mempengaruhi porfirin endogen bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* dan *photosensitizer* klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) yang diberikan (untuk kelompok dengan pemberian *photosensitizer* klorofil). Akan terjadi penyerapan energi foton, dimana pada kelompok dengan pemberian *photosensitizer* klorofil ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) diperkirakan menyerap lebih banyak energi foton dibanding kelompok tanpa *photosensitizer* klorofil. Hal tersebut menyebabkan terjadi perpindahan elektron porfirin endogen (Protoporphyrin IX) dan *photosensitizer* klorofil dari *ground state* menuju eksitasi *singlet state*. Molekul protoporphyrin IX dan *photosensitizer* klorofil yang tereksitasi cenderung akan berusaha kembali ke *ground state* baik itu dengan jalur *non radiative* yang menyebabkan terjadi *intersystem crossing* ataupun jalur *radiative* dengan menghasilkan fluoresensi. Dalam fotodinamik yang diharapkan terjadi adalah proses *intersystem crossing* dimana protoporphyrin IX dan *photosensitizer* klorofil dari eksitasi *singlet state* akan berubah menjadi eksitasi *triplet state*. Protoporphyrin IX dan *photosensitizer* klorofil dari eksitasi *triplet state* dapat kembali ke *ground state* dengan melepaskan energi foton menghasilkan fosforesensi dan melakukan transfer energi ke molekul lain. Komposisi tubuh makhluk hidup sebanyak 70% adalah air dan pengujian dilakukan pada bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* yang berada dalam air fisiologis dan lingkungan aerob secara *in vitro*, molekul yang akan menerima transfer energi dari kembalinya protoporphyrin IX dan *photosensitizer* klorofil ke *ground state* adalah molekul H₂O dan oksigen, menyebabkan terjadi proses fotokimia.

Dalam proses fotokimia terdapat dua reaksi, antara lain reaksi tipe I dan reaksi tipe II. Pada reaksi tipe I, protoporphyrin IX dan *photosensitizer* klorofil yang tereksitasi *triplet state* akan mempengaruhi H₂O melalui transfer elektron atau proton menyebabkan terbentuk radikal anion atau kation yang selanjutnya akan bereaksi dengan molekul oksigen memicu *reactive oxygen species* (ROS) seperti anion superoksida, hidrogen peroksida dan hidroksil radikal (Plaetzer *et al.*, 2009). Sedangkan pada reaksi tipe II, protoporphyrin IX dan *photosensitizer* klorofil yang tereksitasi *triplet state* akan mempengaruhi molekul oksigen *triplet* menghasilkan eksitasi oksigen *singlet* (Cox, 2007).

Dari reaksi tipe I dan tipe II diperoleh agen oksidatif antara lain hidroksil radikal, *singlet* oksigen, hidrogen peroksida dan anion superoksida yang akan menyebabkan proses fotobiologi yakni kerusakan sel baik itu pada membran, protein dan DNA sel bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* yang berujung pada kematian bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (Grossweiner, Grossweiner, & Rogers, 2005).

Persentase kematian bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* yang terjadi dengan optimalisasi *photosensitizer* klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) tertinggi pada pemaparan laser dioda 650 nm dengan dosis energi 10 J.cm⁻². Sedangkan laser dioda 445 nm dengan dosis energi 10 J.cm⁻² tidak dapat menyebabkan persentase kematian bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* sebanyak yang diperoleh laser dioda 650 nm. Hal tersebut dikarenakan waktu paparan laser dioda 650 nm (43,5 detik) lebih lama dibandingkan dengan waktu paparan laser dioda 445 nm (20 detik) untuk mencapai dosis energi 10 J.cm⁻². Sehingga dengan waktu yang lebih lama dan dosis energi

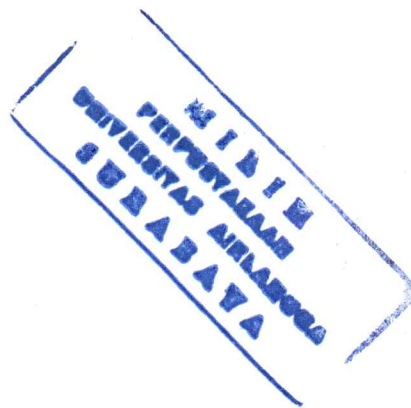
yang besar dapat memicu terjadi proses fotofisika, fotokimia dan fotobiologi yang lebih banyak menghasilkan agen oksidatif untuk menyebabkan kematian bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* lebih banyak.

Data viabilitas kematian bakteri karena pemaparan laser dioda dan penggunaan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun *Moringa oleifera* dapat digunakan sebagai acuan untuk menangani respon inflamasi akibat pertumbuhan bakteri pada penyakit periodontal. Untuk individu dengan inflamasi *hyper-response* akan memerlukan dosis energi yang lebih besar dimana pada penelitian ini viabilitas kematian bakteri lebih besar dari 50% diperoleh dari pemaparan laser dioda laser dioda 650 nm dengan dosis energi 2,5 J.cm⁻² (15mW; 32,3 detik), 5 J.cm⁻² (25,7mW; 38,5 detik), 7,5 J.cm⁻² (35mW; 42,5 detik) dan dosis energi 10 J.cm⁻² (45,5mW; 43,5 detik), akibat tubuh individu tersebut yang sangat peka dengan adanya bakteri meski dalam jumlah sedikit. Sedangkan untuk individu dengan inflamasi *hypo-response* tidak memerlukan dosis energi sebesar yang dibutuhkan individu dengan inflamasi *hyper-response* , sehingga pada penelitian ini viabilitas kematian bakteri kurang dari 50% diperoleh dari pemaparan laser dioda laser dioda 445 nm dengan dosis energi 2,5 J.cm⁻² (9mW; 27,7 detik), 5 J.cm⁻² (23,3mW; 21,8 detik), dan 7,5 J.cm⁻² (37,5mW; 20,3 detik), akibat tubuh individu tersebut yang tidak peka dengan adanya bakteri meski dalam jumlah lebih banyak. Pada individu yang memiliki respon inflamasi normal, maka akan membutuh dosis pemaparan laser dioda dengan dosis energi yang berada diantara kebutuhan dosis energi individu dengan inflamasi *hyper-response* dan *hypo-response*, dimana pada penelitian ini dapat digunakan pemaparan dengan laser dioda 445 nm dengan dosis energi 5 J.cm⁻² (23,3mW; 21,8 detik) dan 7,5 J.cm⁻² (37,5mW; 20,3 detik), serta

dengan laser dioda 650 nm dengan dosis energi $2,5 \text{ J.cm}^{-2}$ (15mW; 32,3 detik) untuk mengurangi pertumbuhan bakteri sehingga tidak menimbulkan respon inflamasi yang memicu penyakit periodontal.

Penanganan dan pencegahan terjadinya penyakit periodontal yang dapat dilakukan adalah mengendalikan pertumbuhan bakteri patogen agar tidak menyebabkan respon inflamasi sebagai awal mula terjadinya penyakit periodontal. Dalam pengendalian pertumbuhan bakteri patogen, harus diperhatikan bakteri komensal yang dalam jumlah kecil berperan bagi sel-sel epitel mukosa dalam memelihara *barrier* dan berkontribusi terhadap homeostasis serta pertahanan tubuh individu, juga ikut menekan pertumbuhan bakteri patogen lainnya. Dengan ditemukan variasi dosis energi dari penggunaan instrumen laser dioda inaktivasi yang dioptimalkan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun *Moringa oleifera* dalam metode fotodinamik inaktivasi, dapat menjadi acuan untuk terapi penyakit periodontal dengan mengendalikan pertumbuhan bakteri patogen dan bakteri komensal dalam rongga mulut sehingga tidak menyebabkan respon inflamasi sebagai awal mula terjadinya penyakit periodontal.

BAB VII
KESIMPULAN DAN SARAN



BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan antara lain :

1. Mikrokontroler Atmega328 pada *board* arduino uno dan IC LM2596 dapat digunakan dalam rancang bangun instrumen laser dioda, dimana IC LM2596 dapat meregulasi tegangan masukan ke laser dioda dengan dikombinasikan *relay* yang menerima perintah dari mikrokontroler Atmega328 pada *board* arduino uno untuk memperoleh instrumen laser dioda yang memiliki variasi daya keluaran dan pengendalian waktu paparan.
2. Instrumen laser dioda inaktivasi dirancang dapat mengendalikan 4 daya *output* masing-masing menggunakan laser dioda 445 nm pada berkas panjang gelombang paling dominan 430 nm adalah sebesar 9,2 mW, 23,3 mW, 37,5 mW dan 51 mW, sedangkan untuk laser dioda 650 nm pada berkas panjang gelombang paling dominan 660 nm adalah sebesar 15,3 mW, 25,7 mW, 35 mW dan 45,5 mW dengan efisiensi fiber optik 8 mm sebesar 49 % untuk laser dioda 445 nm dan 52 % untuk laser dioda 650 nm. Waktu paparan dapat diatur maksimal mencapai 60 detik. Uji kestabilan menunjukkan suplai daya *input* instrumen ke laser dioda yang stabil dengan perubahan tegangan yang terukur sangat kecil dan arus terukur tetap. Uji kestabilan daya *output* laser dioda menunjukkan daya output laser dioda 445 nm cenderung meningkat untuk keempat pilihan daya *output* dan memerlukan beberapa waktu untuk mencapai daya output yang diharapkan,

sedangkan daya *output* laser dioda 650 nm cenderung stabil untuk keempat pilihan daya *output* meski pada pilihan daya *output* 45,5 mW terdapat *peak* peningkatan daya *output* yang terjadi selama 15 detik diawal penyalaan laser dioda dan selama 5 detik pada detik ke 125.

3. Penggunaan klorofil konsentrasi 20 % dari ekstrak daun kelor sebagai *photosensitizer* eksogen terbukti meningkatkan kematian yang terjadi pada proses fotodinamik baik itu dengan pemaparan laser dioda 445 nm ataupun laser dioda 650 nm. *Photosensitizer* klorofil dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) dengan konsentrasi 20 % terbukti tidak bersifat toksik pada bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* dan hanya bereaksi mematikan ketika dikombinasikan dengan pemaparan laser dioda baik itu 445 nm ataupun 650 nm pada proses fotodinamik. Dengan meningkatkan dosis energi paparan, akan diperoleh persentase kematian bakteri yang lebih besar. Persentase kematian bakteri *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* yang diberikan *photosensitizer* klorofil ekstrak daun *Moringa oleifera* tertinggi pada pemaparan menggunakan laser dioda 650 nm dengan dosis energi 10 J.cm^{-2} yakni sebesar $83 \pm 2,44\%$ dan terendah pada pemaparan menggunakan laser dioda 445 nm dengan dosis energi $2,5 \text{ J.cm}^{-2}$ yakni sebesar $40,8 \pm 11,55\%$. Beberapa persentase kematian bakteri yang diperoleh dari variasi dosis energi laser dioda dapat dimanfaatkan pada terapi penyakit periodontal bagi individu dengan respon inflamasi yang berbeda untuk mengurangi dan menekan pertumbuhan bakteri sehingga tidak memicu respon inflamasi.

7.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian serupa selanjutnya antara lain:

1. Disarankan melakukan pengukuran absorbansi panjang gelombang sampel uji sebelum dan sesudah pemberian *photosensitizer*
2. Disarankan melakukan karakterisasi panjang gelombang sumber cahaya dengan instrumen optical spectrum analyzer (OSA)
3. Disarankan menggunakan fiber optik dengan efisiensi yang lebih besar untuk memperkecil rugi-rugi daya *output* laser
4. Disarankan melakukan variasi daya laser dioda dengan waktu paparan tetap untuk mengetahui pengaruh daya laser dioda terhadap viabilitas bakteri

DAFTAR PUSTAKA

Daftar Pustaka

- Ackroyd, R, C Kelty, N Brown, and M Reed. 2001. "The History of Photodetection and Photodynamic Therapy." *Photochemistry and photobiology* 74(5): 656–69.
- Astuti, Suryani Dyah, A. Zaidan, Ernie Maduratna Setiawati, and Suhariningsih. 2016. "Chlorophyll Mediated Photodynamic Inactivation of Blue Laser on *Streptococcus Mutans*." In *5TH INTERNATIONAL CONFERENCE AND WORKSHOP ON BASIC AND APPLIED SCIENCES (ICOWOBAS 2015)*, AIP Publishing.
<http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.4943353>.
- Atmel. 2015. "ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P." : 50.
- Bachmann, Friedrich, Peter Loosen, and Reinhart Poprawe, eds. 2007. *High Power Diode Lasers: Technology and Applications*. New York: Springer.
- Banzi, Massimo. 2011. *11 Computing in Science Engineering Getting Started with Arduino*. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.
- Bhatti, Manpreet et al. 1998. "A Study of The Uptake of Toluidine Blue O by *Porphyromonas Gingivalis* and The Mechanism of Lethal Photosensitization." *Photochemistry and photobiology* 68.3(September): 370–76. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9747591>.
- . 2001. "Identification of Photolabile Outer Membrane Proteins of *Porphyromonas Gingivalis*." *Current Microbiology* 43.2(August): 96–99.
- Brestoff, Jonathan R, and David Artis. 2013. "Commensal Bacteria at the Interface of Host Metabolism and the Immune System." *Nature immunology* 14(7): 676–84.
- Budiyanto, Aji Wahyu, Soenarto Notosudarmo, and Leenawaty Limantara. 2009. "Pengaruh Pengasaman Terhadap Fotodegradasi Klorofil a." *Jurnal Matematika & Sains* 13 No. 3(September): 66–75.
- Castano, Ana P., Tatiana N. Demidova, and Michael R. Hamblin. 2004. "Mechanisms in Photodynamic Therapy: Part One—Photosensitizers, Photochemistry and Cellular Localization." *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy* 1(4)(December): 279–93.
- Chan, You, and Chern Hsiung Lai. 2003. "Bactericidal Effects of Different Laser Wavelengths on Periodontopathic Germs in Photodynamic Therapy." *Lasers in Medical Science* 18: 51–55.
- Cox, Ben. 2007. "Introduction to Laser-Tissue Interactions." *PHAS 4886* (March): 1–61. http://www.tomg.ps.pl/laser-tissue_March07.pdf.
- Csele, Mark. 2004. *Fundamentals of Light Sources and Lasers*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
<http://books.google.com/books?id=8Q003u9IfPYC&pgis=1>.
- Das, M et al. 1997. "Infective Endocarditis Caused by HACEK Microorganisms." *Annual review of medicine* 48 No.1: 25–33.
- Davies, Michael J. 2005. "The Oxidative Environment and Protein Damage." *Biochimica et Biophysica Acta - Proteins and Proteomics* 1703(2): 93–109.
- Djuandi, Feri. 2011. "Pengenalan Arduino." *E-book*. www.tobuku.com: 1–24.
<http://www.tobuku.com/docs/Arduino-Pengenalan.pdf>.

- Fine, Daniel H. et al. 2007. "Aggregatibacter Actinomycetemcomitans and Its Relationship to Initiation of Localized Aggressive Periodontitis: Longitudinal Cohort Study of Initially Healthy Adolescents." *Journal of Clinical Microbiology* 45 No. 12(December): 3859–69.
- Fine, Daniel H., Jeffrey B. Kaplan, Scott C. Kachlany, and Helen C. Schreiner. 2006. "How We Got Attached to Actinobacillus Actinomycetemcomitans: A Model for Infectious Diseases." *Periodontology* 2000 42 No.1: 114–57.
- Fyrestam, Jonas, Nadja Bjurshammar, Elin Paulsson, and Annsofi Johannsen. 2015. "Determination of Porphyrins in Oral Bacteria by Liquid Chromatography Electrospray Ionization Tandem Mass Spectrometry." *Analytical and bioanalytical chemistry* 407(23): 7013–23.
- Grossweiner, Leonard I., James B. Grossweiner, and B.H. Gerald Rogers. 2005. *The Science of Phototherapy: An Introduction*. ed. Linda Ramball Jones. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Gupta, G. 2011. "Probiotics and Periodontal Health." *Journal of medicine and life* 4(4): 387–94.
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3227153&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- Hall, Robert N. et al. 1962. "Coherent Light Emission from GaAs Junctions." *Physical Review Letters* 9 (9)(November): 366–68.
- Hamblin, Michael R., and Tayyaba Hasan. 2004. "Photodynamic Therapy: A New Antimicrobial Approach to Infectious Disease?" *Photochem Photobiol Sci.* 3 (5)(May): 436–50.
<http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleHTML/2004/PP/B311900A%5Cnhttp://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3071049&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- Harris, F, L K Chatfield, and D a Phoenix. 2005. "Phenothiazinium Based Photosensitisers--Photodynamic Agents with A Multiplicity of Cellular Targets and Clinical Applications." *Current drug targets* 6.5(August): 615–27. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16026282>.
- Hasan, Md. Nazmul, and Yung-Chun Lee. 2015. "Beam Pen Lithography Based on Focused Laser Diode Beam with Single Microlens Fabricated by Excimer Laser." *Optics Express* 23(4)(February): 4494–4505.
<http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=oe-23-4-4494>.
- Hermawan, David Fajar, Iwan Setiawan, and Trias Andromeda. 2011. "Penggunaan Teknologi Java Pada Sistem Pengendali Peralatan Elektronik Melalui Bluetooth." Universitas Diponegoro.
- ITead Studio. 2010. "HC-05 Bluetooth Module." : 1–13.
- Kachlany, S C. 2010. "Aggregatibacter Actinomycetemcomitans Leukotoxin: From Threat to Therapy." *Journal of dental research* 89 (6): 561–70.
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3144085&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- KEMENKES RI. 2013. "Riset Kesehatan Dasar 2013." : 883.
- Kesić, Ljiljana, Jelena Milasin, Marija Igic, and Radmila Obradovic. 2008. "Microbial Etiology of Periodontal Disease- Mini Review." *Medicine and biology* 15 No. 1: 1–6.

- Kesić, Ljiljana, Milica Petrović, Radmila Obradović, and Ana Pejčić. 2009. "The Importance of Aggregatibacter Actinomycetemcomitans in Etiology of Periodontal Disease - Mini Review." *Acta Medica Medianae* 48 No.3: 35–37.
- Konopka, K, and T Goslinski. 2007. "Photodynamic Therapy in Dentistry." *J Dent Res* 86 (8): 694–707.
<http://jdr.iadrjournals.org/cgi/content/abstract/86/8/694>.
- Krisanaprakornkit, Suttichai et al. 2000. "Inducible Expression of Human B-Defensin 2 by Fusobacterium Nucleatum in Oral Epithelial Cells: Multiple Signaling Pathways and Role of Commensal Bacteria in Innate Immunity and the Epithelial Barrier." *Infection and immunity* 68(5): 2907–15.
- Kusmita, Lia, and Leenawaty Limantara. 2009. "The Influence of Strong and Weak Acid upon Aggregation and Pheophytinization of Chlorophyll a and B." *Indo J.Chem* 9 (1): 70–76.
- Master, Alyssa, Megan Livingston, and Anirban Sen Gupta. 2013. "Photodynamic Nanomedicine in The Treatment of Solid Tumors: Perspectives and Challenges." *Journal of Controlled Release* 168 (1)(May): 88–102.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3780355/>.
- Milenković, Sanja M., Jelena B. Zvezdanović, Tatjana D. Anđelković, and Dejan Z. Marković. 2012. "The Identification of Chlorophyll and Its Derivatives in The Pigment Mixtures: HPLC-Chromatography, Visible and Mass Spectroscopy Studies." *Advanced technologies* 1(1): 16–24.
- Nakamura, Shuji, Takashi Mukai, and Masayuki Senoh. 1994. "Candela-Class High-Brightness InGaN/AlGaIn Double-Heterostructure Blue-Light-Emitting Diodes." *Applied Physics Letters* 64 (13): 1687–89.
- Nanci, Antonio, and Dieter D. Bosshardt. 2000. "Structure of Periodontal Tissues in Health and Disease." *Periodontology* 2000 40: 11–28.
https://www.researchgate.net/profile/Dieter_Bosshardt/publication/7372461_Structure_of_periodontal_tissues_in_health_and_disease/links/0912f50f4f9935851d000000.pdf.
- Newman, Michael G., Henry H. Takei, Perry R. Klokkevold, and Fermin A. Carranza. 2015. *Carranza's Clinical Periodontology, Twelfth Edition*. 12th ed. Missouri: Elsevier Health Sciences.
<http://dentallibrary.blogspot.co.id/2016/01/ebook-carranzas-clinical-periodontology.html>.
- Nield-Gehrig, Jill Shiffer, and Donald E. Willmann. 2003. *Foundations of Periodontics for The Dental Hygienist*. 1st ed. Lippincott Williams & Wilkins.
- Niemz, Markolf H. 2007. *Laser-Tissue Interactions, Fundamentals and Applications, Third Enlarged Edition*. 3rd ed. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Nitzan, Yeshayahu, Mali Salmon-Divon, Einav Shporen, and Zvi Malik. 2004. "ALA Induced Photodynamic Effects on Gram Positive and Negative Bacteria." *Photochemical & photobiological sciences: Official journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology* 3: 430–35.
- Numai, Takahiro. 2015. *Fundamentals of Semiconductor Lasers*. Heidelberg: Springer-Verlag.

- Olsvik, B., and F. C. Tenover. 1993. "Tetracycline Resistance in Periodontal Pathogens." *Clinical Infectious Diseases* 16(Supplement 4): S310–13.
- Oruba, Zuzanna, Przemysław Łabuz, Wojciech Macyk, and Maria Chomyszyn-Gajewska. 2015. "Antimicrobial Photodynamic Therapy — A Discovery Originating from The Pre-Antibiotic Era in A Novel Periodontal Therapy." *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy* 12(October): 612–18. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1572100015300399>.
- Papageorgiou, P., A. Katsambas, and A. Chu. 2000. "Phototherapy with Blue (415 Nm) and Red (660 Nm) Light in The Treatment of Acne Vulgaris." *British Journal of Dermatology* 142(5): 973–78. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>.
- Plaetzer, K. et al. 2009. "Photophysics and Photochemistry of Photodynamic Therapy: Fundamental Aspects." *Lasers in Medical Science* 24(February): 259–68.
- Pokress, Shaileen Crawford, and José Juan Dominguez Veiga. 2013. "MIT App Inventor: Enabling Personal Mobile Computing." *arXiv preprint arXiv:1310.2830*: 3. <http://arxiv.org/abs/1310.2830>.
- Pospiech, Matthias, and Sha Liu. 2004. "Laser Diodes, An Introduction." (May): 25.
- Prasad, Paras N. 2003. *Introduction to Biophotonics*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Prates, Renato Araujo et al. 2007. "Bactericidal Effect of Malachite Green and Red Laser on Actinobacillus Actinomycetemcomitans." *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 86 no. 1: 70–76.
- Ramberg, Kristin, Thor Bernt Melø, and Anders Johnsson. 2004. "In Situ Assessment of Porphyrin Photosensitizers in Propionibacterium Acnes." *Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences* 59 nos. 1–2: 93–98.
- Raulin, Christian, and Syrus Karsai, eds. 2011. *53 Journal of Chemical Information and Modeling Laser and IPL Technology in Dermatology and Aesthetic Medicine*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Rieuwpassa, Irene E, and Mochammad Hatta. 2009. "Deteksi Mutasi Gen Gyrase A Porphyromonas Gingivalis Resisten Terhadap Ciprofloxacin Berdasarkan Teknik Polymerase Chain Reaction." *Journal Kedokteran Yarsi* 17 (1): 11–20.
- Safaat, H. Nazridon. 2014. *Informatika Pemrograman Aplikasi Mobile Smartphone Dan Tablet PC Berbasis Android*.
- Sari, Dhony Nurlita, Soetomo Nawawi, and Rahadian Alif. 2014. *Perbedaan Pengaruh Antara Probiotik A, B, Dan C Terhadap Daya Hambat Pertumbuhan Bakteri Aggregatibacter Actinomycetemcomitans (Kajian In Vitro)*. Diss. Surakarta.
- Schubert, E. Fred. 2003. *Light Emitting Diodes*. New York: Cambridge University Press.
- Talebi, Mohammadreza et al. 2016. "Microbiological Efficacy of Photodynamic Therapy as an Adjunct to Non-Surgical Periodontal Treatment: A Clinical Trial." *Journal of Lasers in Medical Sciences* 7 (2)(March): 126–30.

- Taufiq, Aris. 2009. "Pengontrolan Sistem Digital Pada Laboratorium Elektronika Berbasis Pemrograman Delphi Dengan Mikrokontroler." *Jurnal Paradigma* X no. 2(Desember): 107–19.
- Texas Instruments Inc. 2013. "LM2596 SIMPLE SWITCHER ® Power Converter 150 kHz 3A Step-Down Voltage Regulator." (April).
- Torezan, Luís, Ane Beatriz Mautari Niwa, and Cyro Festa Neto. 2009. "Terapia Fotodinâmica Em Dermatologia: Princípios Básicos E Aplicações." *Anais Brasileiros de Dermatologia* 84(5): 445–59.
- Utomo, Eko Priyo. 2012. "From Newbie to Advanced Mudahnya Membuat Aplikasi Android." *Edisi I: Yogyakarta. CV Andi Offset*: 1–2.
- Wainwright, Mark. 1998. "Photodynamic Antimicrobial Chemotherapy (PACT)." *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 42.1: 13–28.
- Zambon, J J. 1985. "Actinobacillus Actinomycetemcomitans in Human Periodontal Disease." *Journal of clinical periodontology* 12.1: 1–20.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Karakterisasi Laser Dioda 445 nm

Karakterisasi Panjang Gelombang Terhadap Daya Output

Panjang Gelombang (nm)	Daya (mW)										Standar Deviasi	
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Replikasi 6	Replikasi 7	Replikasi 8	Replikasi 9	Replikasi 10		rerata
410	2,7013	2,701	2,6951	2,7009	2,6944	2,6977	2,6929	2,7015	2,6899	2,6835	2,69582	0,0059
415	3,2723	3,2656	3,2743	3,2824	3,2819	3,2762	3,2828	3,2934	3,2837	3,2906	3,28032	0,0084
420	4,4556	4,4866	4,464	4,4819	4,4655	4,4705	4,4551	4,4652	4,4581	4,466	4,46685	0,0105
425	106,88	106,76	107,13	106,95	107,42	107,21	107,34	107,19	107,15	107,01	107,104	0,2049
430	118,26	117,9	118,16	118,27	117,93	118,05	117,97	117,56	117,25	117,31	117,866	0,3707
435	108,49	108,88	108,78	109,04	108,64	108,7	108,8	108,48	108,48	108,06	108,635	0,2741
440	102,51	102,81	102,7	102,74	102,8	102,8	102,59	102,82	102,76	102,35	102,688	0,1567
445	96,303	96,328	96,235	96,162	96,228	96,036	96,054	96,096	96,093	96,363	96,1898	0,1185
450	89,232	89,664	89,646	89,77	89,92	90,438	90,295	90,396	90,251	90,215	89,9827	0,3985
455	81,435	81,354	81,464	81,246	81,14	81,078	81,681	81,364	81,288	81,286	81,3336	0,1713
460	72,282	72,252	72,091	72,118	72,39	72,49	72,572	72,222	72,448	72,379	72,3244	0,1584
465	2,8331	2,8239	2,8234	2,8197	2,828	2,8231	2,8326	2,824	2,8102	2,8127	2,82307	0,0075
470	1,4706	1,4729	1,4703	1,4687	1,4724	1,4724	1,4692	1,4694	1,4702	1,4709	1,4707	0,0015
475	0,99588	0,99834	0,99305	0,999	0,99727	0,99557	0,99699	1,0006	1,0017	0,9983	0,99767	0,0025
480	0,66633	0,66637	0,66524	0,6653	0,66488	0,66559	0,66576	0,66397	0,66564	0,66518	0,66543	0,0007

Karakterisasi Daya Input Terhadap Daya Output (jarak LD ke detektor 1 cm)

V _{in} (V)	A _{in} (A)	Daya input (W)	Daya output (W)							Standar deviasi				
			Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Replikasi 6	Replikasi 7		Replikasi 8	Replikasi 9	Replikasi 10	rerata
4,5	0,2	0,9	0,0038	0,0039	0,0039	0,0040	0,0040	0,0040	0,0039	0,0039	0,0038	0,0037	0,0039	0,0001
4,6	0,23	1,1	0,0202	0,0207	0,0201	0,0202	0,0204	0,0205	0,0201	0,0202	0,0202	0,0206	0,0209	0,0003
4,7	0,26	1,2	0,0472	0,0474	0,0472	0,0479	0,0481	0,0471	0,0473	0,0473	0,0477	0,0486	0,0485	0,0006
4,8	0,29	1,4	0,0743	0,0746	0,0746	0,0744	0,0744	0,0747	0,0747	0,0747	0,0745	0,0747	0,0746	0,0001
4,9	0,31	1,5	0,1016	0,1011	0,1013	0,1012	0,1012	0,1015	0,1011	0,1011	0,1019	0,1012	0,1018	0,0003
5,0	0,34	1,7	0,1404	0,1405	0,1407	0,1405	0,1405	0,1405	0,1408	0,1408	0,1409	0,1413	0,1417	0,0004



Karakterisasi Waktu Terhadap Daya Output (jarak LD ke detektor 1 cm)

Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
5	0,12695	0,12678	0,12925	0,12485	0,12693	0,126952	0,0016
10	0,12791	0,12669	0,13021	0,12581	0,12789	0,127702	0,0017
15	0,12858	0,12901	0,13088	0,12648	0,12856	0,128702	0,0016
20	0,12909	0,12923	0,13139	0,12699	0,12907	0,129154	0,0016
25	0,12948	0,12915	0,13178	0,12738	0,12946	0,12945	0,0016
30	0,12982	0,1297	0,13212	0,12772	0,1298	0,129832	0,0016
35	0,13007	0,12996	0,13237	0,12797	0,13005	0,130084	0,0016
40	0,1303	0,13019	0,1326	0,1282	0,13028	0,130314	0,0016
45	0,13062	0,13051	0,13292	0,12852	0,1306	0,130634	0,0016
50	0,13079	0,13068	0,13309	0,12869	0,13077	0,130804	0,0016
55	0,13099	0,13088	0,13329	0,12889	0,13097	0,131004	0,0016
60	0,13118	0,13107	0,13348	0,12908	0,13116	0,131194	0,0016
65	0,13134	0,13123	0,13364	0,12924	0,13132	0,131354	0,0016
70	0,13149	0,13138	0,13379	0,12939	0,13147	0,131504	0,0016
75	0,13164	0,13153	0,13394	0,12954	0,13162	0,131654	0,0016
80	0,13177	0,13166	0,13407	0,12967	0,13175	0,131784	0,0016
85	0,1319	0,13179	0,1342	0,1298	0,13188	0,131914	0,0016
90	0,13203	0,13192	0,13433	0,12993	0,13201	0,132044	0,0016
95	0,13221	0,1321	0,13451	0,13011	0,13219	0,132224	0,0016
100	0,13233	0,13222	0,13463	0,13023	0,13231	0,132344	0,0016
105	0,1325	0,13239	0,1348	0,1304	0,13248	0,132514	0,0016
110	0,13261	0,1325	0,13491	0,13051	0,13259	0,132624	0,0016
115	0,13279	0,13268	0,13509	0,13069	0,13277	0,132804	0,0016
120	0,1329	0,13279	0,1352	0,1308	0,13288	0,132914	0,0016
125	0,13302	0,13291	0,13532	0,13092	0,133	0,133034	0,0016
130	0,13314	0,13303	0,13544	0,13104	0,13312	0,133154	0,0016
135	0,13322	0,13311	0,13552	0,13112	0,1332	0,133234	0,0016
140	0,13341	0,1333	0,13571	0,13131	0,13339	0,133424	0,0016
145	0,13351	0,1334	0,13581	0,13141	0,13349	0,133524	0,0016
150	0,13366	0,13355	0,13596	0,13156	0,13364	0,133674	0,0016
155	0,13377	0,13366	0,13607	0,13167	0,13375	0,133784	0,0016
160	0,13385	0,13374	0,13615	0,13175	0,13383	0,133864	0,0016
165	0,13391	0,1338	0,13621	0,13181	0,13389	0,133924	0,0016
170	0,13402	0,13391	0,13632	0,13192	0,134	0,134034	0,0016
175	0,1341	0,13399	0,1364	0,132	0,13408	0,134114	0,0016
180	0,13414	0,13403	0,13644	0,13204	0,13412	0,134154	0,0016
185	0,13424	0,13413	0,13654	0,13214	0,13422	0,134254	0,0016
190	0,13432	0,13421	0,13662	0,13222	0,1343	0,134334	0,0016
195	0,13443	0,13432	0,13673	0,13233	0,13441	0,134444	0,0016
200	0,13449	0,13438	0,13679	0,13239	0,13447	0,134504	0,0016
205	0,13456	0,13445	0,13686	0,13246	0,13454	0,134574	0,0016
210	0,13468	0,13457	0,13698	0,13258	0,13466	0,134694	0,0016
215	0,13468	0,13457	0,13698	0,13258	0,13466	0,134694	0,0016
220	0,1348	0,13469	0,1371	0,1327	0,13478	0,134814	0,0016
225	0,13486	0,13475	0,13716	0,13276	0,13484	0,134874	0,0016
230	0,13495	0,13484	0,13725	0,13285	0,13493	0,134964	0,0016

Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
235	0,13503	0,13492	0,13733	0,13293	0,13501	0,135044	0,0016
240	0,13512	0,13501	0,13742	0,13302	0,1351	0,135134	0,0016
245	0,13519	0,13508	0,13749	0,13309	0,13517	0,135204	0,0016
250	0,13529	0,13518	0,13759	0,13319	0,13527	0,135304	0,0016
255	0,13541	0,1353	0,13771	0,13331	0,13539	0,135424	0,0016
260	0,13558	0,13547	0,13788	0,13348	0,13556	0,135594	0,0016
265	0,13565	0,13554	0,13795	0,13355	0,13563	0,135664	0,0016
270	0,13574	0,13563	0,13804	0,13364	0,13572	0,135754	0,0016
275	0,13586	0,13575	0,13816	0,13376	0,13584	0,135874	0,0016
280	0,13596	0,13585	0,13826	0,13386	0,13594	0,135974	0,0016
285	0,13608	0,13597	0,13838	0,13398	0,13606	0,136094	0,0016
290	0,13619	0,13608	0,13849	0,13409	0,13617	0,136204	0,0016
295	0,13629	0,13618	0,13859	0,13419	0,13627	0,136304	0,0016
300	0,1364	0,13629	0,1387	0,1343	0,13638	0,136414	0,0016
305	0,13653	0,13642	0,13883	0,13443	0,13651	0,136544	0,0016
310	0,13662	0,13651	0,13892	0,13452	0,1366	0,136634	0,0016
315	0,13673	0,13662	0,13903	0,13463	0,13671	0,136744	0,0016
320	0,13682	0,13671	0,13912	0,13472	0,1368	0,136834	0,0016
325	0,13689	0,13678	0,13919	0,13479	0,13687	0,136904	0,0016
330	0,13703	0,13692	0,13933	0,13493	0,13701	0,137044	0,0016
335	0,13709	0,13698	0,13939	0,13499	0,13707	0,137104	0,0016
340	0,1372	0,13709	0,1395	0,1351	0,13718	0,137214	0,0016
345	0,13725	0,13714	0,13955	0,13515	0,13723	0,137264	0,0016
350	0,13731	0,1372	0,13961	0,13521	0,13729	0,137324	0,0016
355	0,13736	0,13725	0,13966	0,13526	0,13734	0,137374	0,0016
360	0,13748	0,13737	0,13978	0,13538	0,13746	0,137494	0,0016
365	0,13755	0,13744	0,13985	0,13545	0,13753	0,137564	0,0016
370	0,13761	0,1375	0,13991	0,13551	0,13759	0,137624	0,0016
375	0,13769	0,13758	0,13999	0,13559	0,13767	0,137704	0,0016
380	0,13776	0,13765	0,14006	0,13566	0,13774	0,137774	0,0016
385	0,1378	0,13769	0,1401	0,1357	0,13778	0,137814	0,0016
390	0,13786	0,13775	0,14016	0,13576	0,13784	0,137874	0,0016
395	0,13789	0,13778	0,14019	0,13579	0,13787	0,137904	0,0016
400	0,13793	0,13782	0,14023	0,13583	0,13791	0,137944	0,0016
405	0,138	0,13789	0,1403	0,1359	0,13798	0,138014	0,0016
410	0,13807	0,13796	0,14037	0,13597	0,13805	0,138084	0,0016
415	0,13813	0,13802	0,14043	0,13603	0,13811	0,138144	0,0016
420	0,13819	0,13808	0,14049	0,13609	0,13817	0,138204	0,0016
425	0,13827	0,13816	0,14057	0,13617	0,13825	0,138284	0,0016
430	0,1383	0,13819	0,1406	0,1362	0,13828	0,138314	0,0016
435	0,13832	0,13821	0,14062	0,13622	0,1383	0,138334	0,0016
440	0,13837	0,13826	0,14067	0,13627	0,13835	0,138384	0,0016
445	0,13839	0,13828	0,14069	0,13629	0,13837	0,138404	0,0016
450	0,13844	0,13833	0,14074	0,13634	0,13842	0,138454	0,0016
455	0,1385	0,13839	0,1408	0,1364	0,13848	0,138514	0,0016
460	0,13854	0,13843	0,14084	0,13644	0,13852	0,138554	0,0016
465	0,13859	0,13848	0,14089	0,13649	0,13857	0,138604	0,0016

Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
470	0,13865	0,13854	0,14095	0,13655	0,13863	0,138664	0,0016
475	0,1387	0,13859	0,141	0,1366	0,13868	0,138714	0,0016
480	0,13872	0,13861	0,14102	0,13662	0,1387	0,138734	0,0016
485	0,13873	0,13862	0,14103	0,13663	0,13871	0,138744	0,0016
490	0,13877	0,13866	0,14107	0,13667	0,13875	0,138784	0,0016
495	0,13881	0,1387	0,14111	0,13671	0,13879	0,138824	0,0016
500	0,13883	0,13872	0,14113	0,13673	0,13881	0,138844	0,0016
505	0,13885	0,13874	0,14115	0,13675	0,13883	0,138864	0,0016
510	0,1389	0,13879	0,1412	0,1368	0,13888	0,138914	0,0016
515	0,13893	0,13882	0,14123	0,13683	0,13891	0,138944	0,0016
520	0,13896	0,13885	0,14126	0,13686	0,13894	0,138974	0,0016
525	0,13902	0,13891	0,14132	0,13692	0,139	0,139034	0,0016
530	0,13905	0,13894	0,14135	0,13695	0,13903	0,139064	0,0016
535	0,13905	0,13894	0,14135	0,13695	0,13903	0,139064	0,0016
540	0,13908	0,13897	0,14138	0,13698	0,13906	0,139094	0,0016
545	0,13909	0,13898	0,14139	0,13699	0,13907	0,139104	0,0016
550	0,13911	0,139	0,14141	0,13701	0,13909	0,139124	0,0016
555	0,13913	0,13902	0,14143	0,13703	0,13911	0,139144	0,0016
560	0,13916	0,13905	0,14146	0,13706	0,13914	0,139174	0,0016
565	0,13915	0,13904	0,14145	0,13705	0,13913	0,139164	0,0016
570	0,13917	0,13906	0,14147	0,13707	0,13915	0,139184	0,0016
575	0,13918	0,13907	0,14148	0,13708	0,13916	0,139194	0,0016
580	0,13918	0,13907	0,14148	0,13708	0,13916	0,139194	0,0016
585	0,13921	0,1391	0,14151	0,13711	0,13919	0,139224	0,0016
590	0,13921	0,1391	0,14151	0,13711	0,13919	0,139224	0,0016
595	0,13922	0,13911	0,14152	0,13712	0,1392	0,139234	0,0016
600	0,13925	0,13914	0,14155	0,13715	0,13923	0,139264	0,0016
605	0,13922	0,13911	0,14152	0,13712	0,1392	0,139234	0,0016
610	0,13922	0,13911	0,14152	0,13712	0,1392	0,139234	0,0016
615	0,13923	0,13912	0,14153	0,13713	0,13921	0,139244	0,0016
620	0,13923	0,13912	0,14153	0,13713	0,13921	0,139244	0,0016
625	0,13924	0,13913	0,14154	0,13714	0,13922	0,139254	0,0016
630	0,1393	0,13919	0,1416	0,1372	0,13928	0,139314	0,0016
635	0,13929	0,13918	0,14159	0,13719	0,13927	0,139304	0,0016
640	0,1393	0,13919	0,1416	0,1372	0,13928	0,139314	0,0016
645	0,13932	0,13921	0,14162	0,13722	0,1393	0,139334	0,0016
650	0,13935	0,13924	0,14165	0,13725	0,13933	0,139364	0,0016
655	0,13938	0,13927	0,14168	0,13728	0,13936	0,139394	0,0016
660	0,13944	0,13933	0,14174	0,13734	0,13942	0,139454	0,0016
665	0,13947	0,13936	0,14177	0,13737	0,13945	0,139484	0,0016
670	0,13948	0,13937	0,14178	0,13738	0,13946	0,139494	0,0016
675	0,13947	0,13936	0,14177	0,13737	0,13945	0,139484	0,0016
680	0,13949	0,13938	0,14179	0,13739	0,13947	0,139504	0,0016
685	0,13959	0,13948	0,14189	0,13749	0,13957	0,139604	0,0016
690	0,13955	0,13944	0,14185	0,13745	0,13953	0,139564	0,0016
695	0,13955	0,13944	0,14185	0,13745	0,13953	0,139564	0,0016
700	0,13956	0,13945	0,14186	0,13746	0,13954	0,139574	0,0016

Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
705	0,13957	0,13946	0,14187	0,13747	0,13955	0,139584	0,0016
710	0,1396	0,13949	0,1419	0,1375	0,13958	0,139614	0,0016
715	0,13964	0,13953	0,14194	0,13754	0,13962	0,139654	0,0016
720	0,13964	0,13953	0,14194	0,13754	0,13962	0,139654	0,0016
725	0,13967	0,13956	0,14197	0,13757	0,13965	0,139684	0,0016
730	0,13967	0,13956	0,14197	0,13757	0,13965	0,139684	0,0016
735	0,13969	0,13958	0,14199	0,13759	0,13967	0,139704	0,0016
740	0,13969	0,13958	0,14199	0,13759	0,13967	0,139704	0,0016
745	0,13968	0,13957	0,14198	0,13758	0,13966	0,139694	0,0016
750	0,13969	0,13958	0,14199	0,13759	0,13967	0,139704	0,0016
755	0,13969	0,13958	0,14199	0,13759	0,13967	0,139704	0,0016
760	0,13969	0,13958	0,14199	0,13759	0,13967	0,139704	0,0016
765	0,1397	0,13959	0,142	0,1376	0,13968	0,139714	0,0016
770	0,1397	0,13959	0,142	0,1376	0,13968	0,139714	0,0016
775	0,13971	0,1396	0,14201	0,13761	0,13969	0,139724	0,0016
780	0,13973	0,13962	0,14203	0,13763	0,13971	0,139744	0,0016
785	0,13974	0,13963	0,14204	0,13764	0,13972	0,139754	0,0016
790	0,13975	0,13964	0,14205	0,13765	0,13973	0,139764	0,0016
795	0,13977	0,13966	0,14207	0,13767	0,13975	0,139784	0,0016
800	0,13978	0,13967	0,14208	0,13768	0,13976	0,139794	0,0016
805	0,13976	0,13965	0,14206	0,13766	0,13974	0,139774	0,0016
810	0,13976	0,13965	0,14206	0,13766	0,13974	0,139774	0,0016
815	0,13974	0,13963	0,14204	0,13764	0,13972	0,139754	0,0016
820	0,13975	0,13964	0,14205	0,13765	0,13973	0,139764	0,0016
825	0,13977	0,13966	0,14207	0,13767	0,13975	0,139784	0,0016
830	0,13977	0,13966	0,14207	0,13767	0,13975	0,139784	0,0016
835	0,13977	0,13966	0,14207	0,13767	0,13975	0,139784	0,0016
840	0,13978	0,13967	0,14208	0,13768	0,13976	0,139794	0,0016
845	0,13978	0,13967	0,14208	0,13768	0,13976	0,139794	0,0016
850	0,1398	0,13969	0,1421	0,1377	0,13978	0,139814	0,0016
855	0,1398	0,13969	0,1421	0,1377	0,13978	0,139814	0,0016
860	0,13979	0,13968	0,14209	0,13769	0,13977	0,139804	0,0016
865	0,13978	0,13967	0,14208	0,13768	0,13976	0,139794	0,0016
870	0,1398	0,13969	0,1421	0,1377	0,13978	0,139814	0,0016
875	0,13977	0,13966	0,14207	0,13767	0,13975	0,139784	0,0016
880	0,13978	0,13967	0,14208	0,13768	0,13976	0,139794	0,0016
885	0,13979	0,13968	0,14209	0,13769	0,13977	0,139804	0,0016
890	0,13979	0,13968	0,14209	0,13769	0,13977	0,139804	0,0016
895	0,13979	0,13968	0,14209	0,13769	0,13977	0,139804	0,0016
900	0,1398	0,13969	0,1421	0,1377	0,13978	0,139814	0,0016

Karakterisasi Jarak Terhadap Luas Berkas Laser

Daya	Jarak (cm)	Luas Berkas (mm ²)						Luas Berkas (cm ²)	Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata		
I	1	1	1	1	1	1	1	0,01	0,000
	2	2	2	2	2	2	2	0,02	0,000
	3	4	4	5	5	5	4,6	0,046	0,005
	4	10	10	11	10	10	10,2	0,102	0,004
	5	16	14	14	14	15	14,6	0,146	0,008
II	1	1	1	1	1	1	1	0,01	0,000
	2	2	2	2	2	2	2	0,02	0,000
	3	5	4	5	5	5	4,8	0,048	0,004
	4	10	10	11	11	10	10,4	0,104	0,005
	5	16	14	15	14	15	14,8	0,148	0,007
III	1	1	1	1	1	1	1	0,01	0,000
	2	2	2	2	2	2	2	0,02	0,000
	3	5	4	5	4	5	4,6	0,046	0,005
	4	10	10	10	10	10	10	0,1	0,000
	5	15	14	15	14	15	14,6	0,146	0,005
IV	1	1	1	1	1	1	1	0,01	0,000
	2	2	2	2	2	2	2	0,02	0,000
	3	4	5	5	5	5	4,8	0,048	0,004
	4	10	10	11	11	10	10,4	0,104	0,005
	5	14	14	15	15	15	14,6	0,146	0,005

Karakterisasi Waktu Terhadap Temperatur Berkas Laser (jarak LD ke sensor 1 cm)

Daya Output (W)	Waktu (s)	Temperatur (°C)						Standar deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
0,0204057	0	26,4	26,4	26,5	26,4	26,3	26,4	0,0707
	5	40	40,5	42	40,8	41,3	40,92	0,7662
	10	46	47,5	47,9	47,4	47,8	47,32	0,7662
	15	49,7	50,4	50,7	50,3	49,6	50,14	0,4722
	20	50,7	51,9	51,8	51,6	51,1	51,42	0,5070
	25	51,4	52,9	52,8	52,9	52,7	52,54	0,6427
	30	51,9	52,9	53,4	52,9	53,3	52,88	0,5933
	35	52	53,1	53,9	52,9	53,4	53,06	0,7021
	40	52,5	53,1	53,9	52,7	53,6	53,16	0,5899
	45	52,7	53,4	54	52,9	53,7	53,34	0,5413
	50	52,7	53,8	54,2	52,7	53,9	53,46	0,7092
55	53	54	54,3	52,8	54,1	53,64	0,6877	
60	53,3	54,3	54,3	53	54,1	53,8	0,6083	

Daya Output (W)	Waktu (s)	Temperatur (°C)						Standar deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
0,0476952	0	26,4	26,5	26,6	26,4	26,4	26,46	0,0894
	5	60	60,1	60	58,3	58	59,28	1,0378
	10	73	72,9	73,5	74,3	75	73,74	0,8961
	15	79,3	77,6	79,3	79,9	80,8	79,38	1,1692
	20	81,6	81,3	81,9	82	83	81,96	0,6427
	25	83	82,9	84	83,1	84,1	83,42	0,5805
	30	83,6	84,3	83,8	83,8	85	84,1	0,5657
	35	82,9	84,1	84,8	84	85,7	84,3	1,0368
	40	83,3	83,5	85,3	85	86,1	84,64	1,2033
	45	83,4	84,8	85	84,3	86,4	84,78	1,0964
	50	84	85,8	84,7	85	86,1	85,12	0,8468
	55	84,7	85,5	85,7	85,5	85,4	85,36	0,3847
60	84,8	85,4	85,3	86,1	85,2	85,36	0,4722	
0,0745543	0	26,4	26,6	26,6	26,8	26,7	26,62	0,1483
	5	72	77	78,2	82,9	78,9	77,8	3,9262
	10	97	98,9	98,2	99,9	100,2	98,84	1,3012
	15	106,9	107,1	107,5	106,7	108,4	107,32	0,6723
	20	110,6	109,8	109,8	110,2	111,7	110,42	0,7887
	25	111,6	111,9	110,4	112,5	113,4	111,96	1,1104
	30	112,6	113,1	112,5	113,2	114,2	113,12	0,6760
	35	113,7	113,7	114,4	114,2	114,6	114,12	0,4087
	40	114,8	114,4	115,2	114,2	115,3	114,78	0,4817
	45	114,1	114,8	115,9	115,1	115,8	115,14	0,7436
	50	113,4	114,7	116,3	115,6	116,3	115,26	1,2300
	55	113,2	115,3	116,8	115,8	116,2	115,46	1,3777
60	113,6	115	117,2	116,7	116,4	115,78	1,4670	
0,101392	0	26,6	26,8	26,7	26,7	26,8	26,72	0,0837
	5	88,3	93,2	97,3	93,6	91	92,68	3,3342
	10	121,3	123	125	123	123,6	123,18	1,3312
	15	132,8	134,6	135,5	134	135,7	134,52	1,1819
	20	138,5	138,8	140	140,3	140,1	139,54	0,8264
	25	140,5	141,7	141,2	142,1	142,9	141,68	0,9066
	30	142,8	143,1	143,6	141,6	142,8	142,78	0,7362
	35	144	142,4	144,4	140,9	144,1	143,16	1,4843
	40	144,7	143,6	144,3	143,6	144,6	144,16	0,5320
	45	144	143,8	144,7	145	145,5	144,6	0,7036
	50	142	143,8	144,4	145,9	145,4	144,3	1,5264
	55	140,7	143,8	144,3	146,6	146	144,28	2,3124
60	140,9	144,2	144,9	146,9	146,2	144,62	2,3339	

Lampiran 2. Data Karakterisasi Laser Dioda 650 nm

Karakterisasi Panjang Gelombang Terhadap Daya Output

Panjang Gelombang (nm)	Daya (mW)										rerata	Standar Deviasi
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Replikasi 6	Replikasi 7	Replikasi 8	Replikasi 9	Replikasi 10		
615	0,16139	0,15962	0,15994	0,15921	0,15949	0,15974	0,16002	0,15935	0,15992	0,15914	0,15978	0,0006
620	0,17858	0,17842	0,17852	0,17856	0,17845	0,17897	0,17903	0,17857	0,17893	0,17825	0,17863	0,0003
625	0,19468	0,19555	0,19571	0,19569	0,19599	0,19484	0,19583	0,19638	0,19599	0,19586	0,19565	0,0005
630	0,97991	0,97936	0,97928	0,97817	0,97774	0,97645	0,97764	0,97397	0,97514	0,97489	0,97725	0,0021
635	3,6245	3,6234	3,6229	3,6226	3,6228	3,6234	3,6511	3,6513	3,6515	3,6501	3,63436	0,0143
640	8,4725	8,4743	8,4691	8,4721	8,4728	8,4689	8,4733	8,4695	8,4676	8,4664	8,47065	0,0027
645	13,795	13,804	13,819	13,818	13,82	13,812	13,828	13,827	13,827	13,829	13,8179	0,0113
650	18,99	18,987	18,988	18,989	18,988	18,989	18,982	18,986	18,988	18,99	18,9877	0,0024
655	21,596	21,598	21,598	21,598	21,598	21,599	21,598	21,601	21,604	21,599	21,5989	0,0022
660	22,521	22,524	22,525	22,524	22,521	22,522	22,507	22,512	22,514	22,514	22,5184	0,0062
665	21,226	21,226	21,224	21,228	21,227	21,228	21,232	21,224	21,224	21,226	21,2265	0,0025
670	17,844	17,846	17,844	17,846	17,844	17,844	17,842	17,841	17,842	17,841	17,8434	0,0018
675	12,563	12,566	12,567	12,565	12,566	12,567	12,567	12,566	12,565	12,567	12,5659	0,0013
680	7,2587	7,2599	7,2566	7,2573	7,254	7,2512	7,2574	7,2599	7,2561	7,2559	7,2567	0,0027
685	5,8389	5,8479	5,859	5,8253	5,835	5,8109	5,848	5,83	5,8299	5,9651	5,849	0,0430

Karakterisasi Daya Input Terhadap Daya Output (jarak LD ke detektor 1 cm)

Vin (V)	Ain (A)	Daya input (W)	Daya output (W)										rerata	Standar Deviasi	
			Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Replikasi 6	Replikasi 7	Replikasi 8	Replikasi 9	Replikasi 10			
3,4	0,07	0,24	0,00143	0,00143	0,00144	0,00145	0,00146	0,00147	0,00149	0,00152	0,00153	0,00153	0,00153	0,00147	0,00004
3,5	0,08	0,28	0,00760	0,00757	0,00757	0,00753	0,00750	0,00746	0,00746	0,00747	0,00749	0,00749	0,00757	0,00752	0,00005
3,6	0,09	0,32	0,01585	0,01580	0,01573	0,01571	0,01569	0,01568	0,01568	0,01564	0,01567	0,01567	0,01563	0,01571	0,00007
3,7	0,1	0,37	0,02267	0,02273	0,02264	0,02211	0,02272	0,02252	0,02202	0,02288	0,02310	0,02289	0,02263	0,00034	0,00006
3,8	0,11	0,42	0,03077	0,03075	0,03076	0,03078	0,03075	0,03068	0,03077	0,03063	0,03072	0,03068	0,03073	0,00005	0,00006
3,9	0,12	0,47	0,03892	0,03885	0,03886	0,03893	0,03893	0,03887	0,03894	0,03900	0,03898	0,03905	0,03893	0,00006	0,00006

Vin (V)	Ain (A)	Daya input (W)	Daya output (W)										Standar Deviasi	
			Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Replikasi 6	Replikasi 7	Replikasi 8	Replikasi 9	Replikasi 10		rerata
4,0	0,13	0,52	0,04601	0,04616	0,04616	0,04618	0,04621	0,04604	0,04684	0,04699	0,04658	0,04672	0,04639	0,00036
4,1	0,14	0,57	0,05021	0,05023	0,05024	0,05031	0,05039	0,05054	0,05027	0,05100	0,05088	0,05098	0,05051	0,00033
4,2	0,14	0,59	0,05593	0,05594	0,05573	0,05637	0,05614	0,05606	0,05602	0,05561	0,05576	0,05600	0,05596	0,00022
4,3	0,15	0,65	0,06149	0,06131	0,06122	0,06126	0,06139	0,06141	0,06138	0,06151	0,06120	0,06121	0,06134	0,00011
4,4	0,16	0,70	0,06714	0,06729	0,06723	0,06722	0,06713	0,06730	0,06720	0,06726	0,06731	0,06736	0,06724	0,00007
4,5	0,17	0,77	0,07250	0,07240	0,07235	0,07231	0,07233	0,07226	0,07223	0,07227	0,07232	0,07243	0,07234	0,00008
4,6	0,17	0,78	0,07601	0,07599	0,07581	0,07586	0,07589	0,07587	0,07595	0,07593	0,07616	0,07598	0,07594	0,00010
4,7	0,17	0,80	0,08055	0,08055	0,08058	0,08054	0,08055	0,08055	0,08058	0,08048	0,08041	0,08041	0,08052	0,00006
4,8	0,18	0,86	0,08364	0,08365	0,08366	0,08369	0,08369	0,08371	0,08372	0,08376	0,08373	0,08375	0,08370	0,00004
4,9	0,19	0,93	0,08335	0,08338	0,08336	0,08338	0,08340	0,08341	0,08343	0,08344	0,08344	0,08347	0,08341	0,00004
5,0	0,19	0,95	0,08296	0,08297	0,08298	0,08299	0,08301	0,08301	0,08305	0,08304	0,08305	0,08306	0,08301	0,00004

Karakterisasi Waktu Terhadap Daya Output (jarak LD ke detektor 1 cm)

Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
5	0,0853	0,0854	0,0817	0,0801	0,0853	0,0835	0,0025
10	0,0851	0,0852	0,0816	0,0799	0,0852	0,0834	0,0025
15	0,0850	0,0851	0,0815	0,0798	0,0850	0,0833	0,0025
20	0,0849	0,0850	0,0813	0,0797	0,0849	0,0832	0,0025
25	0,0848	0,0849	0,0812	0,0796	0,0848	0,0831	0,0025
30	0,0847	0,0848	0,0811	0,0795	0,0847	0,0830	0,0025
35	0,0846	0,0847	0,0810	0,0794	0,0846	0,0829	0,0025
40	0,0845	0,0846	0,0809	0,0793	0,0845	0,0827	0,0025
45	0,0844	0,0845	0,0808	0,0792	0,0844	0,0827	0,0025
50	0,0843	0,0844	0,0807	0,0791	0,0843	0,0826	0,0025
55	0,0842	0,0843	0,0807	0,0790	0,0843	0,0825	0,0025
60	0,0841	0,0842	0,0806	0,0789	0,0842	0,0824	0,0025
65	0,0841	0,0842	0,0805	0,0789	0,0841	0,0823	0,0025
70	0,0840	0,0841	0,0804	0,0788	0,0840	0,0823	0,0025
75	0,0839	0,0840	0,0804	0,0787	0,0839	0,0822	0,0025
80	0,0839	0,0840	0,0803	0,0787	0,0839	0,0821	0,0025
85	0,0838	0,0839	0,0802	0,0786	0,0838	0,0820	0,0025
90	0,0837	0,0838	0,0802	0,0785	0,0837	0,0820	0,0025
95	0,0836	0,0837	0,0800	0,0784	0,0836	0,0819	0,0025
100	0,0835	0,0836	0,0799	0,0783	0,0835	0,0818	0,0025
105	0,0834	0,0835	0,0799	0,0782	0,0834	0,0817	0,0025
110	0,0833	0,0835	0,0798	0,0781	0,0834	0,0816	0,0025
115	0,0833	0,0834	0,0797	0,0781	0,0833	0,0816	0,0025
120	0,0832	0,0834	0,0797	0,0780	0,0833	0,0815	0,0025
125	0,0832	0,0833	0,0796	0,0780	0,0832	0,0814	0,0025
130	0,0831	0,0832	0,0796	0,0779	0,0831	0,0814	0,0025
135	0,0830	0,0832	0,0795	0,0778	0,0831	0,0813	0,0025
140	0,0830	0,0831	0,0794	0,0778	0,0830	0,0813	0,0025
145	0,0830	0,0831	0,0794	0,0778	0,0830	0,0812	0,0025
150	0,0829	0,0830	0,0794	0,0777	0,0829	0,0812	0,0025
155	0,0829	0,0830	0,0793	0,0777	0,0829	0,0812	0,0025
160	0,0828	0,0829	0,0793	0,0776	0,0828	0,0811	0,0025
165	0,0827	0,0829	0,0792	0,0775	0,0828	0,0810	0,0025
170	0,0827	0,0828	0,0792	0,0775	0,0827	0,0810	0,0025
175	0,0827	0,0828	0,0791	0,0775	0,0827	0,0809	0,0025
180	0,0826	0,0827	0,0790	0,0774	0,0826	0,0809	0,0025
185	0,0825	0,0827	0,0790	0,0773	0,0826	0,0808	0,0025
190	0,0825	0,0826	0,0789	0,0773	0,0825	0,0808	0,0025
195	0,0824	0,0825	0,0789	0,0772	0,0824	0,0807	0,0025
200	0,0824	0,0825	0,0788	0,0772	0,0824	0,0807	0,0025
205	0,0824	0,0825	0,0788	0,0772	0,0824	0,0806	0,0025
210	0,0823	0,0824	0,0787	0,0771	0,0823	0,0806	0,0025
215	0,0822	0,0823	0,0787	0,0770	0,0823	0,0805	0,0025
220	0,0822	0,0823	0,0786	0,0770	0,0822	0,0805	0,0025
225	0,0821	0,0823	0,0786	0,0769	0,0822	0,0804	0,0025
230	0,0821	0,0822	0,0785	0,0769	0,0821	0,0804	0,0025

Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
235	0,0821	0,0822	0,0785	0,0769	0,0821	0,0803	0,0025
240	0,0820	0,0821	0,0784	0,0768	0,0820	0,0803	0,0025
245	0,0820	0,0821	0,0784	0,0768	0,0820	0,0802	0,0025
250	0,0819	0,0820	0,0783	0,0767	0,0819	0,0802	0,0025
255	0,0819	0,0820	0,0783	0,0767	0,0819	0,0801	0,0025
260	0,0818	0,0819	0,0783	0,0766	0,0818	0,0801	0,0025
265	0,0818	0,0819	0,0782	0,0766	0,0818	0,0800	0,0025
270	0,0817	0,0818	0,0782	0,0765	0,0818	0,0800	0,0025
275	0,0817	0,0818	0,0781	0,0765	0,0817	0,0799	0,0025
280	0,0817	0,0818	0,0781	0,0765	0,0817	0,0799	0,0025
285	0,0816	0,0817	0,0781	0,0764	0,0816	0,0799	0,0025
290	0,0816	0,0817	0,0780	0,0764	0,0816	0,0798	0,0025
295	0,0815	0,0816	0,0780	0,0763	0,0816	0,0798	0,0025
300	0,0815	0,0816	0,0780	0,0763	0,0815	0,0798	0,0025
305	0,0815	0,0816	0,0779	0,0763	0,0815	0,0797	0,0025
310	0,0814	0,0815	0,0779	0,0762	0,0815	0,0797	0,0025
315	0,0814	0,0815	0,0778	0,0762	0,0814	0,0796	0,0025
320	0,0814	0,0815	0,0778	0,0762	0,0814	0,0796	0,0025
325	0,0813	0,0814	0,0778	0,0761	0,0813	0,0796	0,0025
330	0,0813	0,0814	0,0777	0,0761	0,0813	0,0796	0,0025
335	0,0812	0,0813	0,0777	0,0760	0,0813	0,0795	0,0025
340	0,0812	0,0813	0,0776	0,0760	0,0812	0,0795	0,0025
345	0,0812	0,0813	0,0776	0,0760	0,0812	0,0794	0,0025
350	0,0811	0,0813	0,0776	0,0759	0,0812	0,0794	0,0025
355	0,0811	0,0812	0,0775	0,0759	0,0811	0,0794	0,0025
360	0,0811	0,0812	0,0776	0,0759	0,0811	0,0794	0,0025
365	0,0811	0,0812	0,0775	0,0759	0,0811	0,0794	0,0025
370	0,0811	0,0812	0,0775	0,0759	0,0811	0,0793	0,0025
375	0,0810	0,0811	0,0775	0,0758	0,0811	0,0793	0,0025
380	0,0810	0,0811	0,0774	0,0758	0,0810	0,0793	0,0025
385	0,0810	0,0811	0,0774	0,0758	0,0810	0,0792	0,0025
390	0,0810	0,0811	0,0774	0,0758	0,0810	0,0792	0,0025
395	0,0809	0,0810	0,0774	0,0757	0,0809	0,0792	0,0025
400	0,0809	0,0810	0,0773	0,0757	0,0809	0,0792	0,0025
405	0,0809	0,0810	0,0773	0,0757	0,0809	0,0791	0,0025
410	0,0808	0,0809	0,0773	0,0756	0,0809	0,0791	0,0025
415	0,0808	0,0809	0,0773	0,0756	0,0808	0,0791	0,0025
420	0,0808	0,0809	0,0772	0,0756	0,0808	0,0790	0,0025
425	0,0807	0,0808	0,0772	0,0755	0,0807	0,0790	0,0025
430	0,0807	0,0808	0,0772	0,0755	0,0807	0,0790	0,0025
435	0,0807	0,0808	0,0771	0,0755	0,0807	0,0789	0,0025
440	0,0807	0,0808	0,0771	0,0755	0,0807	0,0789	0,0025
445	0,0807	0,0808	0,0771	0,0755	0,0807	0,0789	0,0025
450	0,0806	0,0807	0,0771	0,0754	0,0806	0,0789	0,0025
455	0,0806	0,0807	0,0771	0,0754	0,0806	0,0789	0,0025
460	0,0806	0,0807	0,0770	0,0754	0,0806	0,0788	0,0025
465	0,0806	0,0807	0,0770	0,0754	0,0806	0,0788	0,0025

Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
470	0,0805	0,0806	0,0770	0,0753	0,0805	0,0788	0,0025
475	0,0805	0,0806	0,0770	0,0753	0,0805	0,0788	0,0025
480	0,0805	0,0806	0,0769	0,0753	0,0805	0,0788	0,0025
485	0,0805	0,0806	0,0769	0,0753	0,0805	0,0787	0,0025
490	0,0805	0,0806	0,0769	0,0753	0,0805	0,0787	0,0025
495	0,0804	0,0805	0,0769	0,0752	0,0804	0,0787	0,0025
500	0,0804	0,0805	0,0768	0,0752	0,0804	0,0787	0,0025
505	0,0804	0,0805	0,0768	0,0752	0,0804	0,0787	0,0025
510	0,0804	0,0805	0,0768	0,0752	0,0804	0,0786	0,0025
515	0,0804	0,0805	0,0768	0,0752	0,0804	0,0786	0,0025
520	0,0803	0,0805	0,0768	0,0751	0,0804	0,0786	0,0025
525	0,0803	0,0804	0,0768	0,0751	0,0803	0,0786	0,0025
530	0,0803	0,0804	0,0767	0,0751	0,0803	0,0786	0,0025
535	0,0803	0,0804	0,0767	0,0751	0,0803	0,0785	0,0025
540	0,0802	0,0804	0,0767	0,0750	0,0803	0,0785	0,0025
545	0,0802	0,0804	0,0767	0,0750	0,0803	0,0785	0,0025
550	0,0802	0,0803	0,0767	0,0750	0,0802	0,0785	0,0025
555	0,0802	0,0803	0,0766	0,0750	0,0802	0,0785	0,0025
560	0,0802	0,0803	0,0766	0,0750	0,0802	0,0784	0,0025
565	0,0802	0,0803	0,0766	0,0750	0,0802	0,0784	0,0025
570	0,0801	0,0802	0,0766	0,0749	0,0802	0,0784	0,0025
575	0,0801	0,0802	0,0766	0,0749	0,0802	0,0784	0,0025
580	0,0801	0,0802	0,0766	0,0749	0,0801	0,0784	0,0025
585	0,0801	0,0802	0,0766	0,0749	0,0801	0,0784	0,0025
590	0,0801	0,0802	0,0765	0,0749	0,0801	0,0784	0,0025
595	0,0801	0,0802	0,0765	0,0749	0,0801	0,0784	0,0025
600	0,0801	0,0802	0,0765	0,0749	0,0801	0,0783	0,0025
605	0,0801	0,0802	0,0765	0,0749	0,0801	0,0783	0,0025
610	0,0801	0,0802	0,0765	0,0749	0,0801	0,0784	0,0025
615	0,0800	0,0801	0,0765	0,0748	0,0801	0,0783	0,0025
620	0,0800	0,0801	0,0765	0,0748	0,0800	0,0783	0,0025
625	0,0800	0,0801	0,0764	0,0748	0,0800	0,0783	0,0025
630	0,0800	0,0801	0,0764	0,0748	0,0800	0,0783	0,0025
635	0,0800	0,0801	0,0764	0,0748	0,0800	0,0783	0,0025
640	0,0800	0,0801	0,0764	0,0748	0,0800	0,0782	0,0025
645	0,0799	0,0800	0,0764	0,0747	0,0800	0,0782	0,0025
650	0,0799	0,0801	0,0764	0,0747	0,0800	0,0782	0,0025
655	0,0799	0,0800	0,0763	0,0747	0,0799	0,0782	0,0025
660	0,0799	0,0800	0,0763	0,0747	0,0799	0,0782	0,0025
665	0,0799	0,0800	0,0763	0,0747	0,0799	0,0781	0,0025
670	0,0799	0,0800	0,0763	0,0747	0,0799	0,0781	0,0025
675	0,0798	0,0800	0,0763	0,0746	0,0799	0,0781	0,0025
680	0,0798	0,0799	0,0763	0,0746	0,0799	0,0781	0,0025
685	0,0798	0,0799	0,0763	0,0746	0,0799	0,0781	0,0025
690	0,0798	0,0799	0,0762	0,0746	0,0798	0,0781	0,0025
695	0,0798	0,0799	0,0762	0,0746	0,0798	0,0781	0,0025
700	0,0798	0,0799	0,0762	0,0746	0,0798	0,0781	0,0025

Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
705	0,0798	0,0799	0,0762	0,0746	0,0798	0,0780	0,0025
710	0,0798	0,0799	0,0762	0,0746	0,0798	0,0780	0,0025
715	0,0797	0,0798	0,0762	0,0745	0,0797	0,0780	0,0025
720	0,0798	0,0799	0,0762	0,0746	0,0798	0,0780	0,0025
725	0,0797	0,0798	0,0762	0,0745	0,0798	0,0780	0,0025
730	0,0797	0,0798	0,0761	0,0745	0,0797	0,0780	0,0025
735	0,0797	0,0798	0,0761	0,0745	0,0797	0,0780	0,0025
740	0,0797	0,0798	0,0761	0,0745	0,0797	0,0780	0,0025
745	0,0797	0,0798	0,0761	0,0745	0,0797	0,0779	0,0025
750	0,0796	0,0797	0,0761	0,0744	0,0797	0,0779	0,0025
755	0,0796	0,0798	0,0761	0,0744	0,0797	0,0779	0,0025
760	0,0796	0,0797	0,0761	0,0744	0,0797	0,0779	0,0025
765	0,0796	0,0797	0,0761	0,0744	0,0796	0,0779	0,0025
770	0,0796	0,0797	0,0761	0,0744	0,0796	0,0779	0,0025
775	0,0796	0,0797	0,0760	0,0744	0,0796	0,0779	0,0025
780	0,0796	0,0797	0,0760	0,0744	0,0796	0,0779	0,0025
785	0,0796	0,0797	0,0760	0,0744	0,0796	0,0779	0,0025
790	0,0796	0,0797	0,0760	0,0744	0,0796	0,0778	0,0025
795	0,0796	0,0797	0,0760	0,0744	0,0796	0,0778	0,0025
800	0,0796	0,0797	0,0760	0,0744	0,0796	0,0778	0,0025
805	0,0796	0,0797	0,0760	0,0744	0,0796	0,0778	0,0025
810	0,0796	0,0797	0,0760	0,0744	0,0796	0,0778	0,0025
815	0,0795	0,0796	0,0760	0,0743	0,0796	0,0778	0,0025
820	0,0795	0,0796	0,0760	0,0743	0,0795	0,0778	0,0025
825	0,0795	0,0796	0,0760	0,0743	0,0795	0,0778	0,0025
830	0,0795	0,0796	0,0760	0,0743	0,0795	0,0778	0,0025
835	0,0795	0,0796	0,0759	0,0743	0,0795	0,0778	0,0025
840	0,0795	0,0796	0,0759	0,0743	0,0795	0,0778	0,0025
845	0,0795	0,0796	0,0759	0,0743	0,0795	0,0777	0,0025
850	0,0795	0,0796	0,0759	0,0743	0,0795	0,0777	0,0025
855	0,0794	0,0796	0,0759	0,0742	0,0795	0,0777	0,0025
860	0,0794	0,0796	0,0759	0,0742	0,0795	0,0777	0,0025
865	0,0794	0,0796	0,0759	0,0742	0,0795	0,0777	0,0025
870	0,0794	0,0795	0,0759	0,0742	0,0795	0,0777	0,0025
875	0,0794	0,0795	0,0759	0,0742	0,0794	0,0777	0,0025
880	0,0794	0,0795	0,0758	0,0742	0,0794	0,0777	0,0025
885	0,0794	0,0795	0,0758	0,0742	0,0794	0,0777	0,0025
890	0,0794	0,0795	0,0758	0,0742	0,0794	0,0777	0,0025
895	0,0794	0,0795	0,0758	0,0742	0,0794	0,0777	0,0025
900	0,0794	0,0795	0,0758	0,0742	0,0794	0,0777	0,0025

Karakterisasi Jarak Terhadap Luas Berkas Laser

Daya	Jarak (cm)	Luas Berkas (mm ²)						Luas Berkas (cm ²)	Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata		
I	1	4	4	4	5	4	4,2	0,042	0,004
	2	5	4	5	4	4	4,4	0,044	0,005
	3	6	6	6	6	7	6,2	0,062	0,004
	4	6	7	7	6	7	6,6	0,066	0,005
	5	5	5	6	7	6	5,8	0,058	0,008
II	1	4	3	5	5	4	4,2	0,042	0,008
	2	6	4	3	5	4	4,4	0,044	0,011
	3	6	5	5	6	7	5,8	0,058	0,008
	4	6	7	7	7	7	6,8	0,068	0,004
	5	5	6	6	7	6	6	0,06	0,007
III	1	3	3	5	5	5	4,2	0,042	0,011
	2	5	4	4	4	5	4,4	0,044	0,005
	3	7	5	6	6	6	6	0,06	0,007
	4	6	7	7	6	7	6,6	0,066	0,005
	5	6	6	5	7	5	5,8	0,058	0,008
IV	1	4	5	4	4	4	4,2	0,042	0,004
	2	4	4	4	5	5	4,4	0,044	0,005
	3	7	5	5	6	6	5,8	0,058	0,008
	4	7	7	6	7	6	6,6	0,066	0,005
	5	6	5	5	7	6	5,8	0,058	0,008

Karakterisasi Waktu Terhadap Temperatur Berkas Laser (jarak LD ke sensor 1 cm)

Daya Output (W)	Waktu (s)	Temperatur (°C)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
0,030733	0	26,4	26,5	26,5	26,6	26,5	26,5	0,0707
	5	31,2	30,2	31	31,5	30,7	30,92	0,4970
	10	34,1	34	33,3	33,7	32,9	33,6	0,5000
	15	35,4	34,9	34,6	34,9	34,2	34,8	0,4416
	20	36,1	35,5	35,1	35	34,6	35,26	0,5683
	25	36,4	35,8	35,3	35	34,8	35,46	0,6465
	30	36,6	35,9	35,3	35,1	34,7	35,52	0,7430
	35	36,7	35,8	35,1	35,2	34,8	35,52	0,7530
	40	36,7	35,8	35,4	35,3	34,9	35,62	0,6834
	45	36,6	36	35,5	35,5	35	35,72	0,6058
	50	36,6	36	35,5	35,4	34,9	35,68	0,6458
	55	36,3	35,9	35,2	35,4	35	35,56	0,5320
60	36,5	36	35	35,5	35,1	35,62	0,6301	

Daya Output (W)	Waktu (s)	Temperatur (°C)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
0,050453	0	26,6	26,4	26,5	26,5	26,4	26,48	0,0837
	5	33,2	33,4	32,6	32,7	32,5	32,88	0,3962
	10	36,7	36,7	36,2	36	35,7	36,26	0,4393
	15	38,4	37,9	37,8	37,7	36,9	37,74	0,5413
	20	39,1	38,5	38,5	38,3	37,5	38,38	0,5762
	25	39,5	38,7	38,8	38,5	38	38,7	0,5431
	30	39,5	39,1	38,8	38,7	38,1	38,84	0,5177
	35	39,4	39	38,8	38,6	38,1	38,78	0,4817
	40	39,4	39,1	39	38,7	38	38,84	0,5320
	45	39,3	39,1	39	38,9	38,2	38,9	0,4183
	50	39,6	38,9	38,7	38,9	38,3	38,88	0,4712
	55	39,7	38,8	38,6	38,9	38,3	38,86	0,5225
60	39,6	38,6	38,6	38,8	38,3	38,78	0,4919	
0,06723	0	26,5	26,5	26,7	26,6	26,6	26,58	0,0837
	5	37	37,5	38	38,1	38,4	37,8	0,5523
	10	43,7	43,6	44,2	44,1	44	43,92	0,2588
	15	46,5	46,4	46,9	46,7	46,7	46,64	0,1949
	20	47,3	47,6	48,1	47,4	47,2	47,52	0,3564
	25	48	48,3	48,7	47,7	47,9	48,12	0,3899
	30	48,1	48,3	48,9	48,3	48,1	48,34	0,3286
	35	48,1	48,5	48,8	48,6	48,2	48,44	0,2881
	40	48,2	48,5	49,1	48,3	48,7	48,56	0,3578
	45	48	48,8	49,1	48,4	48,1	48,48	0,4658
	50	48	48,7	49,3	48,7	48,7	48,68	0,4604
	55	48,4	48,7	49,4	48,7	48,9	48,82	0,3701
60	48,7	49	49,4	48,8	48,9	48,96	0,2702	
0,083693	0	26,5	26,6	26,7	26,5	26,6	26,58	0,0837
	5	40,1	40,4	40,8	40,4	40,7	40,48	0,2775
	10	48,1	48,5	48,4	48,7	48,9	48,52	0,3033
	15	51,8	51,1	51,4	51,5	51,3	51,42	0,2588
	20	52,6	52,7	52,8	52,6	52,5	52,64	0,1140
	25	53	53,5	53,5	52,8	53	53,16	0,3209
	30	53,5	53,7	53,8	53,1	53,7	53,56	0,2793
	35	53,7	53,7	53,9	53,4	54	53,74	0,2302
	40	53,9	53,5	53,9	53,4	54,1	53,76	0,2966
	45	53,8	54,1	54,3	53	54,3	53,9	0,5431
	50	54	54,4	54,5	53,6	54,2	54,14	0,3578
	55	53,7	54,5	54,6	53,6	54,3	54,14	0,4615
60	53	54,6	54,6	53,8	54,3	54,06	0,6768	

Lampiran 3. Koding Program Mikrokontroller

```

char val;
void setup() {
  pinMode(2,OUTPUT); //set pin 2 sebagai output
  pinMode(3,OUTPUT); //set pin 3 sebagai output
  pinMode(4,OUTPUT); //set pin 4 sebagai output
  pinMode(5,OUTPUT); //set pin 5 sebagai output
  pinMode(6,OUTPUT); //set pin 6 sebagai output
  pinMode(7,OUTPUT); //set pin 7 sebagai output
  pinMode(8,OUTPUT); //set pin 8 sebagai output
  pinMode(9,OUTPUT); //set pin 9 sebagai output
  pinMode(10,OUTPUT); //set pin 10 sebagai output
  pinMode(11,OUTPUT); //set pin 11 sebagai output
  pinMode(12,OUTPUT); //set pin 12 sebagai output
  pinMode(13,OUTPUT); //set pin 13 sebagai output
  //digunakan relay yang on dengan sinyal LOW dan off dengan sinyal HIGH
  digitalWrite(2,HIGH); // set kondisi awal relay 1 off
  digitalWrite(3,HIGH); // set kondisi awal relay 2 off
  digitalWrite(4,HIGH); // set kondisi awal relay 3 off
  digitalWrite(5,HIGH); // set kondisi awal relay 4 off
  digitalWrite(6,HIGH); // set kondisi awal relay 5 off
  digitalWrite(7,HIGH); // set kondisi awal relay 6 off
  digitalWrite(8,HIGH); // set kondisi awal relay 7 off
  digitalWrite(9,HIGH); // set kondisi awal relay 8 off
  digitalWrite(10,HIGH); // set kondisi awal relay 9 off
  digitalWrite(11,HIGH); // indikator alat nyala atau idle (hijau)
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  if( Serial.available() >0 ) {
    val = Serial.read(); // membaca string yang diterima
    Serial.println(val);
  }
  if( val == '1' ) { // jika diterima string 1
    digitalWrite(2,LOW); } // maka relay 1 on
  else if( val == '2' ) { // jika diterima string 2
    digitalWrite(3,LOW); } // maka relay 2 on
  else if( val == '3' ) { // jika diterima string 3
    digitalWrite(4,LOW); } // maka relay 3 on
  else if( val == '4' ) { // jika diterima string 4
    digitalWrite(5,LOW); } // maka relay 4 on
  else if( val == '5' ) { // jika diterima string 5
    digitalWrite(6,LOW); } // maka relay 5 on
  else if( val == '6' ) { // jika diterima string 6
    digitalWrite(7,LOW); } // maka relay 6 on
}

```

```

else if( val == '7' ) { // jika diterima string 7
  digitalWrite(8,LOW); } // maka relay 7 on
else if( val == '8' ) { // jika diterima string 8
  digitalWrite(9,LOW); } // maka relay 8 on
else if( val == '9' ) { // jika diterima string 9
  digitalWrite(10,LOW); } // maka relay 9 on
else if( val == 'A' ) { // jika diterima string A
  digitalWrite(2,HIGH); } // maka relay 1 off
else if( val == 'B' ) { // jika diterima string B
  digitalWrite(3,HIGH); } // maka relay 2 off
else if( val == 'C' ) { // jika diterima string C
  digitalWrite(4,HIGH); } // maka relay 3 off
else if( val == 'D' ) { // jika diterima string D
  digitalWrite(5,HIGH); } // maka relay 4 off
else if( val == 'E' ) { // jika diterima string E
  digitalWrite(6,HIGH); } // maka relay 5 off
else if( val == 'F' ) { // jika diterima string F
  digitalWrite(7,HIGH); } // maka relay 6 off
else if( val == 'G' ) { // jika diterima string G
  digitalWrite(8,HIGH); } // maka relay 7 off
else if( val == 'H' ) { // jika diterima string H
  digitalWrite(9,HIGH); } // maka relay 8 off
else if( val == 'I' ) { // jika diterima string I
  digitalWrite(10,HIGH); } // maka relay 9 on
else if( val == 'O' ) { // jika diterima string O
  digitalWrite(11,HIGH); } //indikator alat nyala hijau (idle)
else if( val == 'P' ) { // jika diterima string P
  digitalWrite(12,HIGH); } //indikator hand unit laser diode biru aktif
else if( val == 'Q' ) { // jika diterima string Q
  digitalWrite(13,HIGH); } //indikator hand unit Laser diode merah aktif
else if( val == 'X' ) { // jika diterima string X
  digitalWrite(11,LOW); } //indikator idle off
else if( val == 'Y' ) { // jika diterima string Y
  digitalWrite(12,LOW); } //indikator hand unit Laser diode biru off
else if( val == 'Z' ) { // jika diterima string Z
  digitalWrite(13,LOW); } //indikator hand unit Laser diode merah off
}

```



```

when Click Click
do call SendText to text
call SendText to text
call SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text

```

```

when Click Click
do call SendText to text
call SendText to text
call SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text

```

```

when Click Click
do call SendText to text
call SendText to text
call SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text

```

```

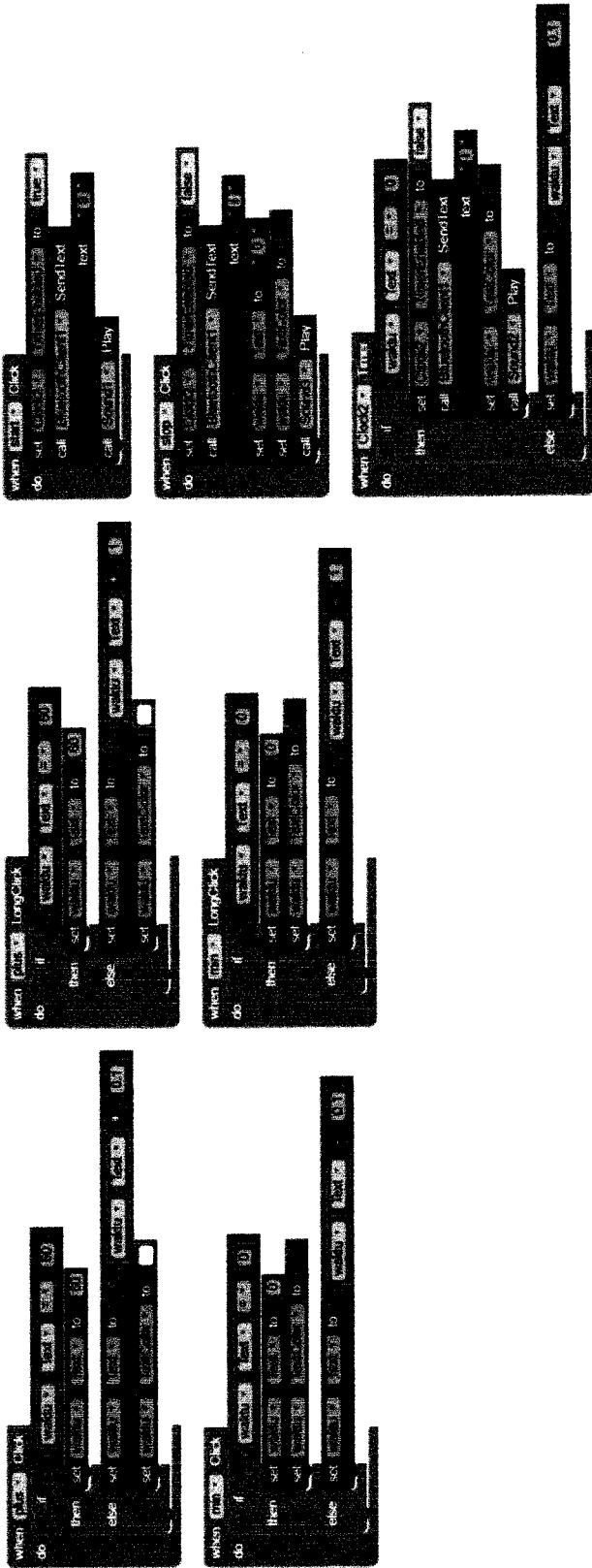
when Click Click
do call SendText to text
call SendText to text
call SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text

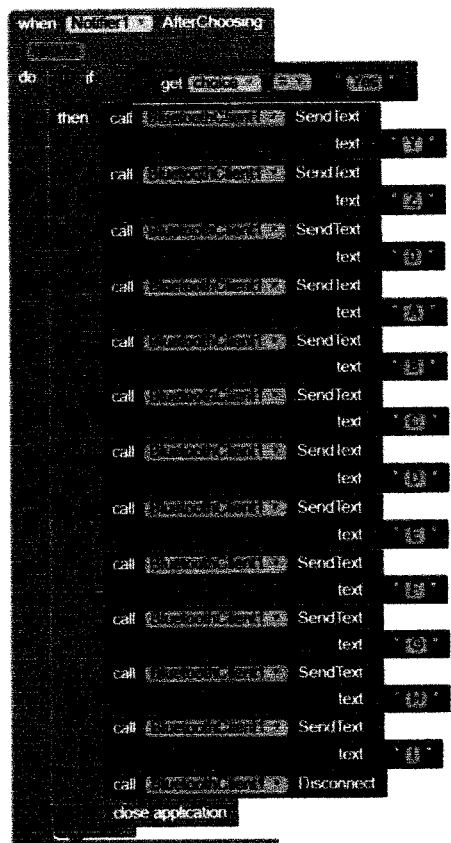
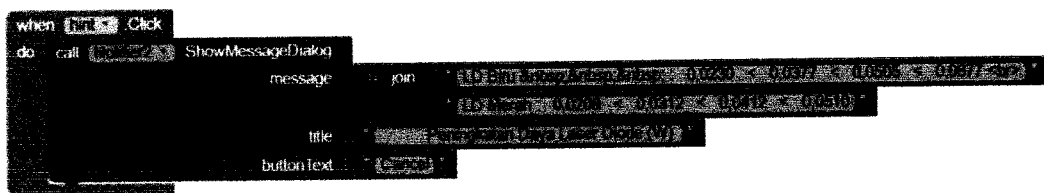
```

```

when Click Click
do call SendText to text
call SendText to text
call SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text
call SendText to text
set SendText to text

```



Lampiran 5. Data Uji Instrumen LD 445 nm

Uji Daya Output Terhadap Daya Input (jarak LD ke detektor 1 cm dengan fiber optik 8 mm)

Vin (V)	Ain (A)	Daya input (W)	Daya output (W)										rerata	Standar Deviasi			
			Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Replikasi 6	Replikasi 7	Replikasi 8	Replikasi 9	Replikasi 10					
4,5	0,2	0,9	0,00199	0,00200	0,00190	0,00199	0,00194	0,00193	0,00199	0,00195	0,00199	0,00199	0,00195	0,00190	0,00193	0,00195	0,00004
4,6	0,23	1,1	0,00915	0,00912	0,00913	0,00913	0,00918	0,00921	0,00926	0,00920	0,00926	0,00926	0,00920	0,00912	0,00911	0,00916	0,00005
4,7	0,26	1,2	0,02332	0,02333	0,02330	0,02332	0,02330	0,02331	0,02331	0,02330	0,02331	0,02331	0,02331	0,02334	0,02330	0,02331	0,00002
4,8	0,29	1,4	0,03744	0,03744	0,03745	0,03745	0,03747	0,03747	0,03747	0,03747	0,03747	0,03747	0,03749	0,03749	0,03749	0,03746	0,00002
4,9	0,31	1,5	0,05076	0,05075	0,05073	0,05069	0,05070	0,05073	0,05068	0,05069	0,05068	0,05069	0,05067	0,05067	0,05066	0,05071	0,00003
5,0	0,34	1,7	0,06840	0,06845	0,06824	0,06800	0,06820	0,06800	0,06800	0,06821	0,06800	0,06821	0,06810	0,06810	0,06800	0,06816	0,00017

Uji Kestabilan Tegangan, Arus Dan Daya Input

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
I	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	5	4,600	4,610	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,058	1,059	0,001
	10	4,600	4,600	4,610	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,060	1,059	0,001
	15	4,600	4,600	4,600	4,600	0,000	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,058	1,058	0,000
	20	4,620	4,600	4,600	4,607	0,012	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,058	1,060	0,003
	25	4,610	4,600	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,058	1,058	0,001
	30	4,600	4,600	4,600	4,600	0,000	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,058	1,058	0,000
	35	4,610	4,600	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,060	1,060	0,001
	40	4,600	4,610	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,058	1,059	0,001
	45	4,600	4,610	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,058	1,059	0,001
	50	4,610	4,600	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,060	1,060	0,001
	55	4,600	4,610	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,060	1,060	0,001

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	60	4,610	4,620	4,610	4,613	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,063	1,060	1,061	0,001
	65	4,600	4,610	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,058	1,059	0,001
	70	4,600	4,600	4,610	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,060	1,059	0,001
	75	4,600	4,600	4,600	4,600	0,000	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,058	1,058	0,000
	80	4,620	4,600	4,600	4,607	0,012	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,063	1,058	1,058	1,060	0,003
	85	4,610	4,600	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,058	1,059	0,001
	90	4,600	4,600	4,600	4,600	0,000	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,058	1,058	0,000
	95	4,610	4,600	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,060	1,059	0,001
	100	4,600	4,610	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,060	1,060	0,001
	105	4,600	4,610	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,058	1,059	0,001
	110	4,610	4,600	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,060	1,060	0,001
	115	4,600	4,610	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,060	1,060	0,001
	120	4,610	4,620	4,610	4,613	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,063	1,060	1,061	0,001
	125	4,600	4,610	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,058	1,059	0,001
	130	4,600	4,600	4,610	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,060	1,059	0,001
	135	4,600	4,600	4,600	4,600	0,000	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,058	1,058	0,000
	140	4,620	4,600	4,600	4,607	0,012	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,063	1,058	1,058	1,060	0,003
	145	4,610	4,600	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,058	1,059	0,001
	150	4,600	4,600	4,600	4,600	0,000	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,058	1,058	0,000
	155	4,610	4,600	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,058	1,059	0,001
	160	4,600	4,610	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,060	1,060	0,001
	165	4,600	4,610	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,058	1,059	0,001
	170	4,610	4,600	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,060	1,060	0,001
	175	4,600	4,610	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,060	1,060	0,001
	180	4,610	4,620	4,610	4,613	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,063	1,060	1,061	0,001
	185	4,600	4,610	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,058	1,059	0,001
	190	4,600	4,600	4,610	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,060	1,059	0,001
	195	4,600	4,600	4,600	4,600	0,000	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,060	1,058	0,000
	200	4,620	4,600	4,600	4,607	0,012	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,063	1,058	1,058	1,060	0,003

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	205	4,610	4,600	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,058	1,059	0,001
	210	4,600	4,600	4,600	4,600	0,000	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,058	1,058	0,000
	215	4,610	4,600	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,058	1,059	0,001
	220	4,600	4,610	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,060	1,060	0,001
	225	4,600	4,610	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,058	1,059	0,001
	230	4,610	4,600	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,060	1,060	0,001
	235	4,600	4,610	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,063	1,060	1,061	0,001
	240	4,610	4,620	4,610	4,613	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,058	1,059	0,001
	245	4,600	4,610	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,060	1,059	0,001
	250	4,600	4,600	4,610	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,058	1,058	0,000
	255	4,600	4,600	4,600	4,600	0,000	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,063	1,058	1,058	1,060	0,003
	260	4,620	4,600	4,600	4,607	0,012	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,058	1,059	0,001
	265	4,610	4,600	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,058	1,058	1,058	0,000
	270	4,600	4,600	4,600	4,600	0,000	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,058	1,059	0,001
	275	4,610	4,600	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,060	1,060	0,001
	280	4,600	4,610	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,058	1,059	0,001
	285	4,600	4,610	4,600	4,603	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,058	1,059	0,001
	290	4,610	4,600	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,058	1,060	1,060	0,001
	295	4,600	4,610	4,610	4,607	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,058	1,060	1,060	1,060	0,001
	300	4,610	4,620	4,610	4,613	0,006	0,230	0,230	0,230	0,230	0,000	1,060	1,063	1,060	1,061	0,001
II	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	5	4,690	4,700	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,219	1,222	1,222	1,221	0,002
	10	4,690	4,700	4,690	4,693	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,219	1,222	1,222	1,220	0,002
	15	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	20	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	25	4,710	4,700	4,700	4,703	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,222	1,223	0,002
	30	4,710	4,710	4,700	4,707	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,225	1,222	1,224	0,002
	35	4,700	4,700	4,710	4,703	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,223	0,002

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	40	4,700	4,690	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,219	1,222	1,221	0,002
	45	4,700	4,690	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,219	1,222	1,221	0,002
	50	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	55	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	60	4,710	4,700	4,690	4,700	0,010	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,219	1,222	0,003
	65	4,690	4,700	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,219	1,222	1,222	1,221	0,002
	70	4,690	4,700	4,690	4,693	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,219	1,222	1,219	1,220	0,002
	75	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	80	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	85	4,710	4,700	4,700	4,703	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,225	1,222	1,224	0,002
	90	4,710	4,710	4,700	4,707	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,225	1,223	0,002
	95	4,700	4,700	4,710	4,703	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,219	1,222	1,221	0,002
	100	4,700	4,690	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,219	1,222	1,221	0,002
	105	4,700	4,690	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	110	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	115	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,219	1,222	0,003
	120	4,710	4,700	4,690	4,700	0,010	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,222	1,221	0,002
	125	4,690	4,700	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,219	1,222	1,219	1,220	0,002
	130	4,690	4,700	4,690	4,693	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	135	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	140	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	145	4,710	4,700	4,700	4,703	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,225	1,222	1,223	0,002
	150	4,710	4,710	4,700	4,707	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,222	1,224	0,002
	155	4,700	4,700	4,710	4,703	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,225	1,223	0,002
	160	4,700	4,690	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,219	1,222	1,221	0,002
	165	4,700	4,690	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,219	1,222	1,221	0,002
	170	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	175	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	180	4,710	4,700	4,690	4,700	0,010	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,219	1,222	0,003

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	185	4,690	4,700	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,219	1,222	1,222	1,221	0,002
	190	4,690	4,700	4,690	4,693	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,219	1,222	1,219	1,220	0,002
	195	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	200	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	205	4,710	4,700	4,700	4,703	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,222	1,223	0,002
	210	4,710	4,710	4,700	4,707	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,222	1,224	0,002
	215	4,700	4,700	4,710	4,703	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,223	0,002
	220	4,700	4,690	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	225	4,700	4,690	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	230	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	235	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,222	1,222	0,000
	240	4,710	4,700	4,690	4,700	0,010	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,219	1,222	1,222	1,221	0,002
	245	4,690	4,700	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,219	1,222	1,222	1,220	0,002
	250	4,690	4,700	4,690	4,693	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,219	1,222	1,222	1,220	0,002
	255	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	260	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,222	1,222	0,000
	265	4,710	4,700	4,700	4,703	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,222	1,223	0,002
	270	4,710	4,710	4,700	4,707	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,222	1,224	0,002
	275	4,700	4,700	4,710	4,703	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,223	0,002
	280	4,700	4,690	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,221	0,002
	285	4,700	4,690	4,700	4,697	0,006	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,221	0,002
	290	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	295	4,700	4,700	4,700	4,700	0,000	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,222	1,222	1,222	1,222	0,000
	300	4,710	4,700	4,690	4,700	0,010	0,260	0,260	0,260	0,260	0,000	1,225	1,222	1,222	1,222	0,003
III	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	5	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	10	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	15	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	20	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	25	4,800	4,790	4,790	4,793	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,389	1,389	1,390	0,002
	30	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,392	1,389	1,390	0,002
	35	4,790	4,800	4,800	4,797	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,392	1,392	1,391	0,002
	40	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	45	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	50	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	55	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	60	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	65	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	70	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	75	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	80	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,389	1,389	1,390	0,002
	85	4,800	4,790	4,790	4,793	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,392	1,389	1,390	0,002
	90	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,392	1,392	1,391	0,002
	95	4,790	4,800	4,800	4,797	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	100	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	105	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	110	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	115	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	120	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	125	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	130	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	135	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	140	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	145	4,800	4,790	4,790	4,793	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,389	1,389	1,390	0,002
	150	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,392	1,389	1,390	0,002
	155	4,790	4,800	4,800	4,797	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,392	1,392	1,391	0,002
	160	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	165	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	170	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	175	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	180	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	185	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	190	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	195	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	200	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	205	4,800	4,790	4,790	4,793	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,006	1,392	1,392	1,392	1,392	0,002
	210	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,006	1,392	1,392	1,392	1,392	0,002
	215	4,790	4,800	4,800	4,797	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,006	1,392	1,392	1,392	1,392	0,002
	220	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	225	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	230	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	235	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	240	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	245	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	250	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	255	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	260	4,790	4,790	4,790	4,790	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,389	1,389	1,389	1,389	0,000
	265	4,800	4,790	4,790	4,793	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,006	1,392	1,392	1,392	1,392	0,002
	270	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,006	1,392	1,392	1,392	1,392	0,002
	275	4,790	4,800	4,800	4,797	0,006	0,290	0,290	0,290	0,290	0,006	1,392	1,392	1,392	1,392	0,002
	280	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	285	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	290	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	295	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000
	300	4,800	4,800	4,800	4,800	0,000	0,290	0,290	0,290	0,290	0,000	1,392	1,392	1,392	1,392	0,000

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
IV	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	5	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002
	10	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002
	15	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002
	20	4,890	4,890	4,900	4,893	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,519	1,517	0,002
	25	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	30	4,900	4,900	4,890	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,516	1,518	0,002
	35	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	40	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	45	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	50	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002
	55	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002
	60	4,900	4,890	4,890	4,893	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,516	1,517	0,002
	65	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002
70	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002	
75	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002	
80	4,890	4,890	4,900	4,893	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,519	1,517	0,002	
85	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000	
90	4,900	4,900	4,890	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,516	1,518	0,002	
95	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000	
100	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000	
105	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000	
110	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002	
115	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002	
120	4,900	4,890	4,890	4,893	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,517	0,002	
125	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002	
130	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002	
135	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002	
140	4,890	4,890	4,900	4,893	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,517	0,002	

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	145	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	150	4,900	4,900	4,890	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,516	1,518	0,002
	155	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	160	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	165	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	170	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,519	1,518	0,002
	175	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,519	1,518	0,002
	180	4,900	4,890	4,890	4,893	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,516	1,517	0,002
	185	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,516	1,518	0,002
	190	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,519	1,518	0,002
	195	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,519	1,518	0,002
	200	4,890	4,890	4,900	4,893	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	205	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,516	1,518	0,002
	210	4,900	4,900	4,890	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	215	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	220	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,519	1,518	0,002
	225	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,519	1,518	0,002
	230	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,516	1,517	0,002
	235	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,516	1,518	0,002
	240	4,900	4,890	4,890	4,893	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,516	1,518	0,002
	245	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,516	1,518	0,002
	250	4,900	4,890	4,890	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,519	1,518	0,002
	255	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,519	1,517	0,002
	260	4,890	4,890	4,900	4,893	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,519	1,516	0,000
	265	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,518	0,002
	270	4,900	4,900	4,890	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,519	1,516	1,518	0,002
	275	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,519	1,517	0,002
	280	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000
	285	4,890	4,890	4,890	4,890	0,000	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,516	1,516	1,516	1,516	0,000

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	250	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002
	295	4,900	4,890	4,900	4,897	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,519	1,518	0,002
	300	4,900	4,890	4,890	4,893	0,006	0,310	0,310	0,310	0,310	0,000	1,519	1,516	1,516	1,517	0,002

Uji Daya Output Terhadap Waktu (jarak LD ke detektor 1 cm dengan FO 8mm)

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
I	0	0,008386	0,008409	0,008275	0,008176	0,008428	0,008335	0,00011
	5	0,008729	0,008752	0,008618	0,008519	0,008771	0,008678	0,00011
	10	0,008829	0,008852	0,008718	0,008619	0,008871	0,008778	0,00011
	15	0,008933	0,008957	0,008822	0,008723	0,008976	0,008882	0,00011
	20	0,00908	0,009103	0,008969	0,00887	0,009122	0,009029	0,00011
	25	0,009127	0,00915	0,009016	0,008917	0,009169	0,009076	0,00011
	30	0,009235	0,009258	0,009124	0,009025	0,009277	0,009184	0,00011
	35	0,009269	0,009292	0,009158	0,009059	0,009311	0,009218	0,00011
	40	0,009398	0,009421	0,009287	0,009188	0,00944	0,009347	0,00011
	45	0,009408	0,009432	0,009297	0,009198	0,009451	0,009357	0,00011
	50	0,00944	0,009463	0,009329	0,00923	0,009482	0,009389	0,00011
	55	0,009455	0,009478	0,009344	0,009245	0,009497	0,009404	0,00011
	60	0,009488	0,009511	0,009377	0,009278	0,00953	0,009437	0,00011
	65	0,009544	0,009567	0,009433	0,009334	0,009586	0,009493	0,00011
	70	0,009572	0,009596	0,009461	0,009362	0,009615	0,009521	0,00011
	75	0,009614	0,009637	0,009503	0,009404	0,009656	0,009563	0,00011
	80	0,009636	0,009659	0,009525	0,009426	0,009678	0,009585	0,00011
	85	0,009725	0,009748	0,009614	0,009515	0,009767	0,009674	0,00011
	90	0,00974	0,009763	0,009629	0,00953	0,009782	0,009689	0,00011
	95	0,00975	0,009773	0,009639	0,00954	0,009792	0,009699	0,00011
	100	0,009757	0,00978	0,009646	0,009547	0,009799	0,009706	0,00011
	105	0,009768	0,009791	0,009657	0,009558	0,00981	0,009717	0,00011
	110	0,009836	0,009859	0,009725	0,009626	0,009878	0,009784	0,00011
	115	0,00986	0,009883	0,009749	0,00965	0,009902	0,009809	0,00011
	120	0,009936	0,009959	0,009825	0,009726	0,009978	0,009884	0,00011
	125	0,009939	0,009962	0,009828	0,009729	0,009981	0,009888	0,00011
	130	0,009978	0,010001	0,009867	0,009768	0,01002	0,009927	0,00011
	135	0,009987	0,01001	0,009876	0,009777	0,010029	0,009936	0,00011
	140	0,010025	0,010048	0,009914	0,009815	0,010067	0,009974	0,00011
	145	0,010065	0,010088	0,009954	0,009855	0,010107	0,010014	0,00011
	150	0,010066	0,010089	0,009955	0,009856	0,010108	0,010015	0,00011
	155	0,010098	0,010121	0,009987	0,009888	0,01014	0,010047	0,00011
	160	0,010117	0,01014	0,010006	0,009907	0,010159	0,010066	0,00011
	165	0,010152	0,010175	0,010041	0,009942	0,010194	0,010101	0,00011
	170	0,010175	0,010198	0,010064	0,009965	0,010217	0,010124	0,00011
	175	0,010176	0,010199	0,010065	0,009966	0,010218	0,010125	0,00011
	180	0,010181	0,010204	0,01007	0,009971	0,010223	0,01013	0,00011
	185	0,010197	0,01022	0,010086	0,009987	0,010239	0,010146	0,00011
	190	0,010221	0,010244	0,01011	0,010011	0,010263	0,01017	0,00011
	195	0,010243	0,010266	0,010132	0,010033	0,010285	0,010192	0,00011
	200	0,010268	0,010291	0,010157	0,010058	0,01031	0,010217	0,00011
	205	0,010286	0,010309	0,010175	0,010076	0,010328	0,010235	0,00011
	210	0,010293	0,010316	0,010182	0,010083	0,010335	0,010242	0,00011
	215	0,010301	0,010324	0,01019	0,010091	0,010343	0,01025	0,00011
	220	0,010306	0,010329	0,010195	0,010096	0,010348	0,010255	0,00011
	225	0,010309	0,010332	0,010198	0,010099	0,010351	0,010258	0,00011
	230	0,010351	0,010374	0,01024	0,010141	0,010393	0,0103	0,00011

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
	235	0,010358	0,010381	0,010247	0,010148	0,0104	0,010307	0,00011
	240	0,010393	0,010416	0,010282	0,010183	0,010435	0,010342	0,00011
	245	0,010416	0,010439	0,010305	0,010206	0,010458	0,010365	0,00011
	250	0,01044	0,010463	0,010329	0,01023	0,010482	0,010389	0,00011
	255	0,010469	0,010492	0,010358	0,010259	0,010511	0,010418	0,00011
	260	0,010471	0,010494	0,01036	0,010261	0,010513	0,01042	0,00011
	265	0,010473	0,010496	0,010362	0,010263	0,010515	0,010422	0,00011
	270	0,010481	0,010504	0,01037	0,010271	0,010523	0,01043	0,00011
	275	0,010486	0,010509	0,010375	0,010276	0,010528	0,010435	0,00011
	280	0,010528	0,010551	0,010417	0,010318	0,01057	0,010477	0,00011
	285	0,010535	0,010558	0,010424	0,010325	0,010577	0,010484	0,00011
	290	0,010562	0,010585	0,010451	0,010352	0,010604	0,010511	0,00011
	295	0,010564	0,010587	0,010453	0,010354	0,010606	0,010513	0,00011
	300	0,010566	0,010589	0,010455	0,010356	0,010608	0,010515	0,00011
II	0	0,021764	0,021787	0,021653	0,021554	0,021807	0,021713	0,00011
	5	0,021856	0,021879	0,021745	0,021646	0,021899	0,021805	0,00011
	10	0,021949	0,021972	0,021838	0,021739	0,021992	0,021898	0,00011
	15	0,022035	0,022058	0,021924	0,021825	0,022078	0,021984	0,00011
	20	0,022136	0,022159	0,022025	0,021926	0,022179	0,022085	0,00011
	25	0,022307	0,02233	0,022196	0,022097	0,02235	0,022256	0,00011
	30	0,022403	0,022426	0,022292	0,022193	0,022446	0,022352	0,00011
	35	0,022443	0,022466	0,022332	0,022233	0,022486	0,022392	0,00011
	40	0,022589	0,022612	0,022478	0,022379	0,022632	0,022538	0,00011
	45	0,022743	0,022766	0,022632	0,022533	0,022786	0,022692	0,00011
	50	0,022872	0,022895	0,022761	0,022662	0,022915	0,022821	0,00011
	55	0,022912	0,022935	0,022801	0,022702	0,022955	0,022861	0,00011
	60	0,022998	0,023021	0,022887	0,022788	0,023041	0,022947	0,00011
	65	0,023118	0,023141	0,023007	0,022908	0,023161	0,023067	0,00011
	70	0,023186	0,023209	0,023075	0,022976	0,023229	0,023135	0,00011
	75	0,023212	0,023235	0,023101	0,023002	0,023255	0,023161	0,00011
	80	0,023319	0,023342	0,023208	0,023109	0,023362	0,023268	0,00011
	85	0,023326	0,023349	0,023215	0,023116	0,023369	0,023275	0,00011
	90	0,023455	0,023478	0,023344	0,023245	0,023498	0,023404	0,00011
	95	0,023468	0,023491	0,023357	0,023258	0,023511	0,023417	0,00011
	100	0,023595	0,023618	0,023484	0,023385	0,023638	0,023544	0,00011
	105	0,023684	0,023707	0,023573	0,023474	0,023727	0,023633	0,00011
	110	0,023752	0,023775	0,023641	0,023542	0,023795	0,023701	0,00011
	115	0,023779	0,023802	0,023668	0,023569	0,023822	0,023728	0,00011
	120	0,023915	0,023938	0,023804	0,023705	0,023958	0,023864	0,00011
	125	0,023975	0,023998	0,023864	0,023765	0,024018	0,023924	0,00011
	130	0,023999	0,024022	0,023888	0,023789	0,024042	0,023948	0,00011
	135	0,024037	0,02406	0,023926	0,023827	0,02408	0,023986	0,00011
	140	0,024083	0,024106	0,023972	0,023873	0,024126	0,024032	0,00011
	145	0,024132	0,024155	0,024021	0,023922	0,024175	0,024081	0,00011
	150	0,024153	0,024176	0,024042	0,023943	0,024196	0,024102	0,00011
	155	0,024189	0,024212	0,024078	0,023979	0,024232	0,024138	0,00011
	160	0,024261	0,024284	0,02415	0,024051	0,024304	0,02421	0,00011

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
	165	0,024298	0,024321	0,024187	0,024088	0,024341	0,024247	0,00011
	170	0,024353	0,024376	0,024242	0,024143	0,024396	0,024302	0,00011
	175	0,024425	0,024448	0,024314	0,024215	0,024468	0,024374	0,00011
	180	0,024428	0,024451	0,024317	0,024218	0,024471	0,024377	0,00011
	185	0,024489	0,024512	0,024378	0,024279	0,024532	0,024438	0,00011
	190	0,024542	0,024565	0,024431	0,024332	0,024585	0,024491	0,00011
	195	0,024554	0,024577	0,024443	0,024344	0,024597	0,024503	0,00011
	200	0,024647	0,02467	0,024536	0,024437	0,02469	0,024596	0,00011
	205	0,024674	0,024697	0,024563	0,024464	0,024717	0,024623	0,00011
	210	0,02475	0,024773	0,024639	0,02454	0,024793	0,024699	0,00011
	215	0,024757	0,02478	0,024646	0,024547	0,0248	0,024706	0,00011
	220	0,02476	0,024783	0,024649	0,02455	0,024803	0,024709	0,00011
	225	0,024844	0,024867	0,024733	0,024634	0,024887	0,024793	0,00011
	230	0,024859	0,024882	0,024748	0,024649	0,024902	0,024808	0,00011
	235	0,024965	0,024988	0,024854	0,024755	0,025008	0,024914	0,00011
	240	0,024981	0,025004	0,02487	0,024771	0,025024	0,02493	0,00011
	245	0,025005	0,025028	0,024894	0,024795	0,025048	0,024954	0,00011
	250	0,025111	0,025134	0,025	0,024901	0,025154	0,02506	0,00011
	255	0,025137	0,02516	0,025026	0,024927	0,02518	0,025086	0,00011
	260	0,025214	0,025237	0,025103	0,025004	0,025257	0,025163	0,00011
	265	0,025237	0,02526	0,025126	0,025027	0,02528	0,025186	0,00011
	270	0,025283	0,025306	0,025172	0,025073	0,025326	0,025232	0,00011
	275	0,02536	0,025383	0,025249	0,02515	0,025403	0,025309	0,00011
	280	0,025436	0,025459	0,025325	0,025226	0,025479	0,025385	0,00011
	285	0,025452	0,025475	0,025341	0,025242	0,025495	0,025401	0,00011
	290	0,025474	0,025497	0,025363	0,025264	0,025517	0,025423	0,00011
	295	0,025514	0,025537	0,025403	0,025304	0,025557	0,025463	0,00011
	300	0,025554	0,025577	0,025443	0,025344	0,025597	0,025503	0,00011
III	0	0,030124	0,030147	0,030013	0,029914	0,030167	0,030073	0,00011
	5	0,031003	0,031026	0,030892	0,030793	0,031046	0,030952	0,00011
	10	0,030654	0,030677	0,030543	0,030444	0,030697	0,030603	0,00011
	15	0,031251	0,031274	0,03114	0,031041	0,031294	0,0312	0,00011
	20	0,031508	0,031531	0,031397	0,031298	0,031551	0,031457	0,00011
	25	0,031732	0,031755	0,031621	0,031522	0,031775	0,031681	0,00011
	30	0,031952	0,031975	0,031841	0,031742	0,031995	0,031901	0,00011
	35	0,03217	0,032193	0,032059	0,03196	0,032213	0,032119	0,00011
	40	0,032337	0,03236	0,032226	0,032127	0,03238	0,032286	0,00011
	45	0,032754	0,032777	0,032643	0,032544	0,032797	0,032703	0,00011
	50	0,032528	0,032551	0,032417	0,032318	0,032571	0,032477	0,00011
	55	0,033111	0,033134	0,033	0,032901	0,033154	0,03306	0,00011
	60	0,032944	0,032967	0,032833	0,032734	0,032987	0,032893	0,00011
	65	0,033268	0,033291	0,033157	0,033058	0,033311	0,033217	0,00011
	70	0,033461	0,033484	0,03335	0,033251	0,033504	0,03341	0,00011
	75	0,033635	0,033658	0,033524	0,033425	0,033678	0,033584	0,00011
	80	0,033754	0,033777	0,033643	0,033544	0,033797	0,033703	0,00011
	85	0,033908	0,033931	0,033797	0,033698	0,033951	0,033857	0,00011
	90	0,034086	0,034109	0,033975	0,033876	0,034129	0,034035	0,00011

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
	95	0,034211	0,034234	0,0341	0,034001	0,034254	0,03416	0,00011
	100	0,034346	0,034369	0,034235	0,034136	0,034389	0,034295	0,00011
	105	0,036034	0,036057	0,035923	0,035824	0,036077	0,035983	0,00011
	110	0,036086	0,036109	0,035975	0,035876	0,036129	0,036035	0,00011
	115	0,036276	0,036299	0,036165	0,036066	0,036319	0,036225	0,00011
	120	0,036215	0,036238	0,036104	0,036005	0,036258	0,036164	0,00011
	125	0,036393	0,036416	0,036282	0,036183	0,036436	0,036342	0,00011
	130	0,036346	0,036369	0,036235	0,036136	0,036389	0,036295	0,00011
	135	0,036456	0,036479	0,036345	0,036246	0,036499	0,036405	0,00011
	140	0,03652	0,036543	0,036409	0,03631	0,036563	0,036469	0,00011
	145	0,036583	0,036606	0,036472	0,036373	0,036626	0,036532	0,00011
	150	0,036744	0,036767	0,036633	0,036534	0,036787	0,036693	0,00011
	155	0,036665	0,036688	0,036554	0,036455	0,036708	0,036614	0,00011
	160	0,036827	0,03685	0,036716	0,036617	0,03687	0,036776	0,00011
	165	0,03679	0,036813	0,036679	0,03658	0,036833	0,036739	0,00011
	170	0,03691	0,036933	0,036799	0,0367	0,036953	0,036859	0,00011
	175	0,037002	0,037025	0,036891	0,036792	0,037045	0,036951	0,00011
	180	0,036982	0,037005	0,036871	0,036772	0,037025	0,036931	0,00011
	185	0,037078	0,037101	0,036967	0,036868	0,037121	0,037027	0,00011
	190	0,037114	0,037137	0,037003	0,036904	0,037157	0,037063	0,00011
	195	0,03716	0,037183	0,037049	0,03695	0,037203	0,037109	0,00011
	200	0,037233	0,037256	0,037122	0,037023	0,037276	0,037182	0,00011
	205	0,037279	0,037302	0,037168	0,037069	0,037322	0,037228	0,00011
	210	0,037302	0,037325	0,037191	0,037092	0,037345	0,037251	0,00011
	215	0,037364	0,037387	0,037253	0,037154	0,037407	0,037313	0,00011
	220	0,037407	0,03743	0,037296	0,037197	0,03745	0,037356	0,00011
	225	0,037501	0,037524	0,03739	0,037291	0,037544	0,03745	0,00011
	230	0,037456	0,037479	0,037345	0,037246	0,037499	0,037405	0,00011
	235	0,037549	0,037572	0,037438	0,037339	0,037592	0,037498	0,00011
	240	0,03759	0,037613	0,037479	0,03738	0,037633	0,037539	0,00011
	245	0,037656	0,037679	0,037545	0,037446	0,037699	0,037605	0,00011
	250	0,03763	0,037653	0,037519	0,03742	0,037673	0,037579	0,00011
	255	0,037688	0,037711	0,037577	0,037478	0,037731	0,037637	0,00011
	260	0,037732	0,037755	0,037621	0,037522	0,037775	0,037681	0,00011
	265	0,037784	0,037807	0,037673	0,037574	0,037827	0,037733	0,00011
	270	0,037802	0,037825	0,037691	0,037592	0,037845	0,037751	0,00011
	275	0,03792	0,037943	0,037809	0,03771	0,037963	0,037869	0,00011
	280	0,037853	0,037876	0,037742	0,037643	0,037896	0,037802	0,00011
	285	0,037889	0,037912	0,037778	0,037679	0,037932	0,037838	0,00011
	290	0,037947	0,03797	0,037836	0,037737	0,03799	0,037896	0,00011
	295	0,037981	0,038004	0,03787	0,037771	0,038024	0,03793	0,00011
	300	0,038053	0,038076	0,037942	0,037843	0,038096	0,038002	0,00011
IV	0	0,05052	0,050543	0,050409	0,05031	0,050563	0,050469	0,00011
	5	0,05132	0,051343	0,051209	0,05111	0,051363	0,051269	0,00011
	10	0,0518	0,051823	0,051689	0,05159	0,051843	0,051749	0,00011
	15	0,05218	0,052203	0,052069	0,05197	0,052223	0,052129	0,00011
	20	0,05254	0,052563	0,052429	0,05233	0,052583	0,052489	0,00011

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
	25	0,05266	0,052683	0,052549	0,05245	0,052703	0,052609	0,00011
	30	0,05294	0,052963	0,052829	0,05273	0,052983	0,052889	0,00011
	35	0,05316	0,053183	0,053049	0,05295	0,053203	0,053109	0,00011
	40	0,05335	0,053373	0,053239	0,05314	0,053393	0,053299	0,00011
	45	0,05359	0,053613	0,053479	0,05338	0,053633	0,053539	0,00011
	50	0,05381	0,053833	0,053699	0,0536	0,053853	0,053759	0,00011
	55	0,05404	0,054063	0,053929	0,05383	0,054083	0,053989	0,00011
	60	0,05416	0,054183	0,054049	0,05395	0,054203	0,054109	0,00011
	65	0,05431	0,054333	0,054199	0,0541	0,054353	0,054259	0,00011
	70	0,0545	0,054523	0,054389	0,05429	0,054543	0,054449	0,00011
	75	0,05458	0,054603	0,054469	0,05437	0,054623	0,054529	0,00011
	80	0,05481	0,054833	0,054699	0,0546	0,054853	0,054759	0,00011
	85	0,05473	0,054753	0,054619	0,05452	0,054773	0,054679	0,00011
	90	0,05495	0,054973	0,054839	0,05474	0,054993	0,054899	0,00011
	95	0,05505	0,055073	0,054939	0,05484	0,055093	0,054999	0,00011
	100	0,05516	0,055183	0,055049	0,05495	0,055203	0,055109	0,00011
	105	0,05525	0,055273	0,055139	0,05504	0,055293	0,055199	0,00011
	110	0,05534	0,055363	0,055229	0,05513	0,055383	0,055289	0,00011
	115	0,05542	0,055443	0,055309	0,05521	0,055463	0,055369	0,00011
	120	0,05559	0,055613	0,055479	0,05538	0,055633	0,055539	0,00011
	125	0,05545	0,055473	0,055339	0,05524	0,055493	0,055399	0,00011
	130	0,05576	0,055783	0,055649	0,05555	0,055803	0,055709	0,00011
	135	0,05565	0,055673	0,055539	0,05544	0,055693	0,055599	0,00011
	140	0,05581	0,055833	0,055699	0,0556	0,055853	0,055759	0,00011
	145	0,05586	0,055883	0,055749	0,05565	0,055903	0,055809	0,00011
	150	0,05595	0,055973	0,055839	0,05574	0,055993	0,055899	0,00011
	155	0,05607	0,056093	0,055959	0,05586	0,056113	0,056019	0,00011
	160	0,05611	0,056133	0,055999	0,0559	0,056153	0,056059	0,00011
	165	0,05622	0,056243	0,056109	0,05601	0,056263	0,056169	0,00011
	170	0,05628	0,056303	0,056169	0,05607	0,056323	0,056229	0,00011
	175	0,05634	0,056363	0,056229	0,05613	0,056383	0,056289	0,00011
	180	0,05638	0,056403	0,056269	0,05617	0,056423	0,056329	0,00011
	185	0,05643	0,056453	0,056319	0,05622	0,056473	0,056379	0,00011
	190	0,05653	0,056553	0,056419	0,05632	0,056573	0,056479	0,00011
	195	0,05647	0,056493	0,056359	0,05626	0,056513	0,056419	0,00011
	200	0,05663	0,056653	0,056519	0,05642	0,056673	0,056579	0,00011
	205	0,05658	0,056603	0,056469	0,05637	0,056623	0,056529	0,00011
	210	0,05667	0,056693	0,056559	0,05646	0,056713	0,056619	0,00011
	215	0,05667	0,056693	0,056559	0,05646	0,056713	0,056619	0,00011
	220	0,05674	0,056763	0,056629	0,05653	0,056783	0,056689	0,00011
	225	0,05682	0,056843	0,056709	0,05661	0,056863	0,056769	0,00011
	230	0,0568	0,056823	0,056689	0,05659	0,056843	0,056749	0,00011
	235	0,05689	0,056913	0,056779	0,05668	0,056933	0,056839	0,00011
	240	0,05687	0,056893	0,056759	0,05666	0,056913	0,056819	0,00011
	245	0,05689	0,056913	0,056779	0,05668	0,056933	0,056839	0,00011
	250	0,05694	0,056963	0,056829	0,05673	0,056983	0,056889	0,00011
	255	0,05693	0,056953	0,056819	0,05672	0,056973	0,056879	0,00011
	260	0,05699	0,057013	0,056879	0,05678	0,057033	0,056939	0,00011

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
	265	0,05699	0,057013	0,056879	0,05678	0,057033	0,056939	0,00011
	270	0,05703	0,057053	0,056919	0,05682	0,057073	0,056979	0,00011
	275	0,05706	0,057083	0,056949	0,05685	0,057103	0,057009	0,00011
	280	0,05708	0,057103	0,056969	0,05687	0,057123	0,057029	0,00011
	285	0,05711	0,057133	0,056999	0,0569	0,057153	0,057059	0,00011
	290	0,05715	0,057173	0,057039	0,05694	0,057193	0,057099	0,00011
	295	0,05713	0,057153	0,057019	0,05692	0,057173	0,057079	0,00011
	300	0,05718	0,057203	0,057069	0,05697	0,057223	0,057129	0,00011

Uji Luas Berkas Laser Terhadap Jarak (dengan Fiber 8 mm)

Daya	Jarak (cm)	Luas Berkas (mm ²)						Luas Berkas (cm ²)	Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata		
I	1	11	9	12	9	9	10	0,1	0,014142
	2	33	34	34	31	33	33	0,33	0,012247
	3	66	61	63	61	68	63,8	0,638	0,031145
	4	132	133	130	128	139	132,4	1,324	0,041593
	5	215	217	236	234	239	228,2	2,282	0,113004
II	1	11	10	11	9	9	10	0,1	0,01
	2	33	34	34	31	32	32,8	0,328	0,013038
	3	66	61	63	64	68	64,4	0,644	0,027019
	4	133	133	131	128	139	132,8	1,328	0,040249
	5	215	220	236	234	239	228,8	2,288	0,10616
III	1	10	11	9	10	10	10	0,1	0,007071
	2	34	33	33	32	33	33	0,33	0,007071
	3	66	61	63	63	68	64,2	0,642	0,027749
	4	132	133	131	130	139	133	1,33	0,035355
	5	215	217	236	234	240	228,4	2,284	0,115456
IV	1	11	9	11	10	9	10	0,1	0,01
	2	33	33	34	33	33	33,2	0,332	0,004472
	3	66	62	63	61	68	64	0,64	0,029155
	4	132	133	131	128	139	132,6	1,326	0,040373
	5	215	217	236	234	239	228,2	2,282	0,113004

Uji Temperatur Berkas Laser Terhadap Waktu (jarak LD ke sensor 1 cm dengan FO 8mm)

Daya Output (W)	Waktu (s)	Temperatur (°C)						Standar Deviasi	Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata		
0,00916	0	26,3	26,3	26,4	26,3	26,5	26,36	0,080	0,089
	5	28,1	28,6	28,6	29,2	28,7	28,64	0,350	0,391
	10	29,2	29,7	29,7	30,1	30	29,74	0,314	0,351
	15	29,7	30,2	30,3	30,5	30,7	30,28	0,337	0,377
	20	30	30,4	30,6	30,7	30,9	30,52	0,306	0,342
	25	30,2	30,6	30,7	30,8	31	30,66	0,265	0,297
	30	30,3	30,6	30,7	30,9	31,1	30,72	0,271	0,303
	35	30,4	30,6	30,9	31,1	31,2	30,84	0,301	0,336
	40	30,4	30,6	30,9	31,2	31,3	30,88	0,343	0,383
45	30,4	30,6	30,8	31,2	31,3	30,86	0,344	0,385	

Daya Output (W)	Waktu (s)	Temperatur (°C)					Rerata	Standar Deviasi	Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5			
0,023314	50	30,5	30,8	30,9	31,2	31,2	30,92	0,264	0,295
	55	30,5	30,7	30,9	31,2	31,3	30,92	0,299	0,335
	60	30,6	30,8	30,9	31,3	31,3	30,98	0,279	0,311
0,023314	0	26,5	26,2	26,3	26,4	26,5	26,38	0,117	0,130
	5	32	31,6	32,1	32,2	31,8	31,94	0,215	0,241
	10	34,4	34,2	34,3	34,3	34,2	34,28	0,075	0,084
	15	35,6	35,3	35,4	35,5	35,5	35,46	0,102	0,114
	20	36,1	35,7	35,4	36,1	36,2	35,9	0,303	0,339
	25	36,3	36	36,2	36,5	36,4	36,28	0,172	0,192
	30	36,2	36	36,2	36,6	36,6	36,32	0,240	0,268
	35	36,3	35,9	36,2	36,7	36,7	36,36	0,307	0,344
	40	36,5	36	36,2	36,7	36,7	36,42	0,279	0,311
	45	36,3	36,1	36,4	36,8	36,7	36,46	0,258	0,288
	50	36,4	36,3	36,3	36,9	36,7	36,52	0,240	0,268
	55	36,5	36,2	36,3	37	36,7	36,54	0,287	0,321
0,037465	60	36,4	36,3	36,3	37	36,7	36,54	0,273	0,305
	0	26,5	26,6	26,6	26,6	26,7	26,6	0,063	0,071
	5	34,1	33,6	33,4	34	33,4	33,7	0,297	0,332
	10	35,9	36	36,3	36,4	36,5	36,22	0,232	0,259
	15	36,7	36,9	37,1	37,2	37,2	37,02	0,194	0,217
	20	37	37,2	37,4	37,5	37,5	37,32	0,194	0,217
	25	37,2	37,3	37,5	37,7	37,6	37,46	0,185	0,207
	30	37,3	37,4	37,5	37,7	37,7	37,52	0,160	0,179
	35	37,4	37,5	37,6	37,7	37,7	37,58	0,117	0,130
	40	37,5	37,5	37,7	37,8	37,8	37,66	0,136	0,152
	45	37,5	37,6	37,7	37,8	37,9	37,7	0,141	0,158
	50	37,5	37,6	37,7	37,8	37,8	37,68	0,117	0,130
55	37,4	37,6	37,8	37,9	37,9	37,72	0,194	0,217	
60	37,5	37,7	37,8	37,9	37,9	37,76	0,150	0,167	
0,050706	0	26,6	26,7	36,7	26,7	26,6	28,66	4,020	4,495
	5	39,6	39,2	38,9	38,9	38,8	39,08	0,293	0,327
	10	43,8	43,3	43	43,2	43	43,26	0,294	0,329
	15	44,6	44,3	44,3	44,3	43,9	44,28	0,223	0,249
	20	44,9	44,8	44,9	44,7	45	44,86	0,102	0,114
	25	45	45	45	44,9	45	44,98	0,040	0,045
	30	45,1	45,1	45,1	45,1	45,5	45,18	0,160	0,179
	35	45,2	45,2	45,2	45,2	45,5	45,26	0,120	0,134
	40	45,2	45,2	45,1	45,2	45,5	45,24	0,136	0,152
	45	45,4	45,3	45,1	45,2	45,5	45,3	0,141	0,158
	50	45,4	45,1	45,4	45,3	45,5	45,34	0,136	0,152
	55	45,4	45,2	45,4	45,3	45,5	45,36	0,102	0,114
60	45,5	45,4	45,5	45,4	45,5	45,46	0,049	0,055	

Uji Perubahan Daya Terhadap Perubahan Jarak Waktu (dengan FO 8mm)

Pilih Daya	Jarak (cm)	Daya (mW)										Standar Deviasi	
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Replikasi 6	Replikasi 7	Replikasi 8	Replikasi 9	Replikasi 10		rerata
I	0	0,01105	0,01106	0,01099	0,01095	0,01092	0,01088	0,01089	0,01089	0,01085	0,01082	0,01093	0,00008
	1	0,00915	0,00912	0,00913	0,00913	0,00918	0,00921	0,00926	0,00920	0,00912	0,00911	0,00916	0,00005
	2	0,00465	0,00460	0,00459	0,00460	0,00459	0,00459	0,00459	0,00459	0,00460	0,00460	0,00460	0,00002
	3	0,00359	0,00360	0,00362	0,00359	0,00359	0,00362	0,00360	0,00360	0,00359	0,00362	0,00360	0,00001
	4	0,00235	0,00238	0,00235	0,00238	0,00235	0,00238	0,00235	0,00238	0,00236	0,00237	0,00237	0,00001
II	0	0,03261	0,03252	0,03251	0,03257	0,03253	0,03254	0,03254	0,03253	0,03250	0,03256	0,03254	0,00003
	1	0,02332	0,02333	0,02330	0,02332	0,02330	0,02331	0,02331	0,02331	0,02334	0,02330	0,02331	0,00002
	2	0,01556	0,01556	0,01556	0,01555	0,01553	0,01555	0,01552	0,01555	0,01554	0,01551	0,01554	0,00002
	3	0,00993	0,00994	0,00994	0,00992	0,00994	0,00992	0,00992	0,00992	0,00993	0,00990	0,00993	0,00001
	4	0,00662	0,00658	0,00657	0,00656	0,00656	0,00653	0,00651	0,00649	0,00648	0,00647	0,00654	0,00005
III	0	0,00526	0,00527	0,00526	0,00526	0,00526	0,00525	0,00526	0,00525	0,00526	0,00525	0,00526	0,00001
	1	0,05155	0,05153	0,05152	0,05151	0,05150	0,05150	0,05150	0,05149	0,05148	0,05148	0,05150	0,00002
	2	0,03744	0,03744	0,03745	0,03745	0,03747	0,03747	0,03747	0,03749	0,03749	0,03749	0,03746	0,00002
	3	0,02350	0,02350	0,02350	0,02350	0,02350	0,02350	0,02350	0,02349	0,02351	0,02350	0,02350	0,00000
	4	0,01558	0,01558	0,01559	0,01558	0,01559	0,01560	0,01560	0,01560	0,01559	0,01560	0,01559	0,00001
IV	0	0,01019	0,01019	0,01019	0,01018	0,01018	0,01017	0,01016	0,01017	0,01016	0,01015	0,01017	0,00001
	1	0,00747	0,00747	0,00746	0,00747	0,00747	0,00747	0,00747	0,00748	0,00748	0,00748	0,00747	0,00000
	2	0,06815	0,06817	0,06816	0,06816	0,06817	0,06816	0,06811	0,06810	0,06812	0,06809	0,06814	0,00003
	3	0,05076	0,05075	0,05073	0,05069	0,05070	0,05073	0,05068	0,05069	0,05067	0,05066	0,05071	0,00003
	4	0,03202	0,03201	0,03201	0,03200	0,03200	0,03199	0,03199	0,03198	0,03197	0,03195	0,03199	0,00002

Lampiran 6. Data Uji Instrumen LD 650 nm

Uji Daya Output Terhadap Daya Input (jarak LD ke detektor 1 cm dengan fiber optik 8 mm)

Vin (V)	Ain (A)	Daya input (W)	Daya output (W)										Standar Deviasi					
			Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Replikasi 6	Replikasi 7	Replikasi 8	Replikasi 9	Replikasi 10		rerata				
3,4	0,07	0,24	0,00073	0,00071	0,00073	0,00072	0,00072	0,00073	0,00071	0,00072	0,00072	0,00072	0,00072	0,00072	0,00072	0,00072	0,00072	0,00001
3,5	0,08	0,28	0,00371	0,00373	0,00371	0,00372	0,00372	0,00371	0,00374	0,00371	0,00373	0,00376	0,00375	0,00375	0,00375	0,00375	0,00373	0,00002
3,6	0,09	0,32	0,00785	0,00785	0,00785	0,00783	0,00783	0,00785	0,00785	0,00785	0,00787	0,00781	0,00787	0,00786	0,00785	0,00785	0,00002	
3,7	0,1	0,37	0,01128	0,01151	0,01161	0,01173	0,01173	0,01121	0,01121	0,01152	0,01161	0,01162	0,01161	0,01161	0,01153	0,01153	0,00016	
3,8	0,11	0,42	0,01529	0,01529	0,01531	0,01532	0,01532	0,01535	0,01535	0,01536	0,01538	0,01539	0,01542	0,01545	0,01535	0,01535	0,00005	
3,9	0,12	0,47	0,01983	0,02000	0,01985	0,01992	0,01992	0,01990	0,01989	0,01989	0,01983	0,01990	0,01988	0,01982	0,01988	0,01988	0,00005	
4,0	0,13	0,52	0,02376	0,02363	0,02387	0,02376	0,02376	0,02387	0,02362	0,02362	0,02398	0,02332	0,02387	0,02399	0,02377	0,02377	0,00020	
4,1	0,14	0,57	0,02563	0,02565	0,02567	0,02568	0,02568	0,02570	0,02572	0,02572	0,02575	0,02576	0,02579	0,02581	0,02572	0,02572	0,00006	
4,2	0,14	0,59	0,02909	0,02913	0,02972	0,02992	0,02992	0,02932	0,02962	0,02962	0,02972	0,02976	0,02962	0,02927	0,02952	0,02952	0,00029	
4,3	0,15	0,65	0,03190	0,03190	0,03192	0,03187	0,03187	0,03191	0,03182	0,03182	0,03190	0,03185	0,03191	0,03198	0,03190	0,03190	0,00004	
4,4	0,16	0,70	0,03489	0,03490	0,03492	0,03494	0,03494	0,03495	0,03497	0,03497	0,03499	0,03501	0,03503	0,03505	0,03496	0,03496	0,00005	
4,5	0,17	0,77	0,03920	0,03915	0,03912	0,03917	0,03917	0,03912	0,03920	0,03920	0,03940	0,03912	0,03921	0,03920	0,03919	0,03919	0,00008	
4,6	0,17	0,78	0,04116	0,04120	0,04121	0,04115	0,04115	0,04112	0,04126	0,04126	0,04115	0,04113	0,04121	0,04126	0,04118	0,04118	0,00005	
4,7	0,17	0,80	0,04364	0,04356	0,04362	0,04366	0,04366	0,04368	0,04364	0,04364	0,04380	0,04361	0,04370	0,04982	0,04427	0,04427	0,00195	
4,8	0,18	0,86	0,04548	0,04548	0,04549	0,04549	0,04549	0,04551	0,04550	0,04550	0,04552	0,04552	0,04554	0,04554	0,04551	0,04551	0,00002	
4,9	0,19	0,93	0,04520	0,04520	0,04520	0,04524	0,04524	0,04560	0,04518	0,04518	0,04526	0,04517	0,04525	0,04525	0,04525	0,04525	0,00013	
5,0	0,19	0,95	0,04498	0,04495	0,04491	0,04498	0,04498	0,04499	0,04498	0,04498	0,04499	0,04499	0,04493	0,04498	0,04497	0,04497	0,00003	

Uji Kestabilan Tegangan, Arus Dan Daya Input

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	5	3,800	3,790	3,800	3,797	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,417	0,418	0,001

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	10	3,790	3,790	3,800	3,793	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,418	0,417	0,001
	15	3,790	3,790	3,790	3,790	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,417	0,417	0,000
	20	3,790	3,800	3,790	3,793	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,417	0,417	0,001
	25	3,790	3,800	3,800	3,797	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,418	0,418	0,001
	30	3,790	3,800	3,810	3,800	0,010	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,419	0,418	0,001
	35	3,800	3,800	3,810	3,803	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,419	0,418	0,001
	40	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	45	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	50	3,810	3,810	3,790	3,803	0,012	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,419	0,419	0,418	0,418	0,001
	55	3,800	3,810	3,800	3,803	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	60	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	65	3,800	3,790	3,800	3,797	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,418	0,418	0,001
	70	3,790	3,790	3,800	3,793	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,418	0,417	0,001
	75	3,790	3,790	3,790	3,790	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,417	0,417	0,000
	80	3,790	3,800	3,790	3,793	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,417	0,417	0,001
	85	3,790	3,800	3,800	3,797	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,418	0,418	0,001
	90	3,790	3,800	3,810	3,800	0,010	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,419	0,418	0,001
	95	3,800	3,800	3,810	3,803	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,419	0,418	0,001
	100	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	105	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	110	3,810	3,810	3,790	3,803	0,012	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,419	0,419	0,417	0,418	0,001
	115	3,800	3,810	3,800	3,803	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,419	0,418	0,418	0,001
	120	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	125	3,800	3,790	3,800	3,797	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,417	0,418	0,418	0,001
	130	3,790	3,790	3,800	3,793	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,418	0,417	0,001
	135	3,790	3,790	3,790	3,790	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,417	0,417	0,000
	140	3,790	3,800	3,790	3,793	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,417	0,417	0,001
	145	3,790	3,800	3,800	3,797	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,418	0,418	0,001
	150	3,790	3,800	3,810	3,800	0,010	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,419	0,418	0,001

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	155	3,800	3,800	3,810	3,803	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,419	0,418	0,001
	160	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	165	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	170	3,810	3,810	3,790	3,803	0,012	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,419	0,419	0,417	0,418	0,001
	175	3,800	3,810	3,800	3,803	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,419	0,418	0,418	0,001
	180	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	185	3,800	3,790	3,800	3,797	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,417	0,418	0,418	0,001
	190	3,790	3,790	3,800	3,793	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,418	0,417	0,001
	195	3,790	3,790	3,790	3,790	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,417	0,417	0,000
	200	3,790	3,800	3,790	3,793	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,418	0,417	0,001
	205	3,790	3,800	3,800	3,797	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,418	0,418	0,001
	210	3,790	3,800	3,810	3,800	0,010	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,419	0,418	0,001
	215	3,800	3,800	3,810	3,803	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,419	0,418	0,001
	220	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	225	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	230	3,810	3,810	3,790	3,803	0,012	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,419	0,419	0,417	0,418	0,001
	235	3,800	3,810	3,800	3,803	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,419	0,418	0,418	0,001
	240	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	245	3,800	3,790	3,800	3,797	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,418	0,418	0,001
	250	3,790	3,790	3,800	3,793	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,418	0,417	0,001
	255	3,790	3,790	3,790	3,790	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,417	0,417	0,417	0,000
	260	3,790	3,800	3,790	3,793	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,417	0,417	0,001
	265	3,790	3,800	3,800	3,797	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,418	0,418	0,001
	270	3,790	3,800	3,810	3,800	0,010	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,417	0,418	0,419	0,418	0,001
	275	3,800	3,800	3,810	3,803	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,419	0,418	0,001
	280	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	285	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
	290	3,810	3,810	3,790	3,803	0,012	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,419	0,419	0,417	0,418	0,001
	295	3,800	3,810	3,800	3,803	0,006	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,419	0,418	0,418	0,001

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	300	3,800	3,800	3,800	3,800	0,000	0,110	0,110	0,110	0,110	0,000	0,418	0,418	0,418	0,418	0,000
II	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	5	4,090	4,100	4,090	4,093	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,573	0,573	0,573
	10	4,100	4,100	4,090	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,573	0,574	0,574
	15	4,100	4,100	4,090	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,573	0,574	0,574
	20	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574
	25	4,100	4,100	4,110	4,103	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,575	0,574	0,574
	30	4,110	4,100	4,110	4,107	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,575	0,574	0,575	0,575	0,575
	35	4,100	4,100	4,110	4,103	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,575	0,574	0,574
	40	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574
	45	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574
	50	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574
	55	4,090	4,100	4,100	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,574	0,574	0,574
	60	4,090	4,100	4,100	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,574	0,574	0,574
	65	4,090	4,100	4,090	4,093	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,573	0,573	0,573
	70	4,100	4,100	4,090	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,573	0,574	0,574
	75	4,100	4,100	4,090	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,573	0,574	0,574
	80	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574
	85	4,100	4,100	4,110	4,103	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,575	0,574	0,574
	90	4,110	4,100	4,110	4,107	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,575	0,574	0,575	0,575	0,575
	95	4,100	4,100	4,110	4,103	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,575	0,574	0,574
	100	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574
	105	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574
	110	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574
	115	4,090	4,100	4,100	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,574	0,574	0,574
	120	4,090	4,100	4,100	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,574	0,574	0,574
	125	4,090	4,100	4,090	4,093	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,573	0,573	0,573
	130	4,100	4,100	4,090	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,573	0,574	0,574

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	135	4,100	4,100	4,090	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,573	0,574	0,001
	140	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	145	4,100	4,100	4,110	4,103	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,575	0,574	0,001
	150	4,110	4,100	4,110	4,107	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,575	0,574	0,575	0,575	0,001
	155	4,100	4,100	4,110	4,103	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,575	0,574	0,001
	160	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	165	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	170	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	175	4,090	4,100	4,100	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,574	0,574	0,001
	180	4,090	4,100	4,100	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,574	0,574	0,001
	185	4,090	4,100	4,090	4,093	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,573	0,573	0,001
	190	4,100	4,100	4,090	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,573	0,574	0,001
	195	4,100	4,100	4,090	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,573	0,574	0,001
	200	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	205	4,100	4,100	4,110	4,103	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,575	0,574	0,001
	210	4,110	4,100	4,110	4,107	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,575	0,574	0,575	0,575	0,001
	215	4,100	4,100	4,110	4,103	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,575	0,574	0,001
	220	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	225	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	230	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	235	4,090	4,100	4,100	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,574	0,574	0,001
	240	4,090	4,100	4,100	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,574	0,574	0,001
	245	4,090	4,100	4,090	4,093	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,573	0,573	0,001
	250	4,100	4,100	4,090	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,573	0,574	0,001
	255	4,100	4,100	4,090	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,573	0,574	0,001
	260	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	265	4,100	4,100	4,110	4,103	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,575	0,574	0,001
	270	4,110	4,100	4,110	4,107	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,575	0,574	0,575	0,575	0,001
	275	4,100	4,100	4,110	4,103	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,575	0,574	0,001

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	280	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	285	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	290	4,100	4,100	4,100	4,100	0,000	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,574	0,574	0,574	0,574	0,000
	295	4,090	4,100	4,100	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,574	0,574	0,001
	300	4,090	4,100	4,100	4,097	0,006	0,140	0,140	0,140	0,140	0,000	0,573	0,574	0,574	0,574	0,001
III	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	5	4,400	4,410	4,400	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	10	4,410	4,410	4,400	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,704	0,705	0,001
	15	4,400	4,410	4,400	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	20	4,400	4,410	4,410	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	25	4,400	4,400	4,410	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,704	0,704	0,705	0,001
	30	4,400	4,400	4,420	4,407	0,012	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,704	0,704	0,705	0,002
	35	4,410	4,400	4,420	4,410	0,010	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,704	0,704	0,706	0,002
	40	4,410	4,400	4,420	4,410	0,010	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,704	0,706	0,002
	45	4,420	4,410	4,410	4,413	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,707	0,706	0,706	0,706	0,001
	50	4,420	4,410	4,410	4,413	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,707	0,706	0,706	0,706	0,001
	55	4,410	4,410	4,410	4,410	0,000	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,706	0,706	0,000
	60	4,410	4,410	4,400	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	65	4,400	4,410	4,400	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	70	4,410	4,410	4,400	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,704	0,705	0,001
	75	4,400	4,410	4,400	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	80	4,400	4,410	4,410	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	85	4,400	4,400	4,410	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,704	0,704	0,705	0,001
	90	4,400	4,400	4,420	4,407	0,012	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,704	0,704	0,705	0,002
	95	4,410	4,400	4,420	4,410	0,010	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,704	0,704	0,706	0,002
	100	4,410	4,400	4,420	4,410	0,010	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,704	0,704	0,706	0,002
	105	4,420	4,410	4,410	4,413	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,707	0,706	0,706	0,706	0,001
	110	4,420	4,410	4,410	4,413	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,707	0,706	0,706	0,706	0,001

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	115	4,410	4,410	4,410	4,410	0,000	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,706	0,706	0,000
	120	4,410	4,410	4,400	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,704	0,705	0,001
	125	4,400	4,410	4,400	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	130	4,410	4,410	4,400	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,704	0,705	0,001
	135	4,400	4,410	4,400	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	140	4,400	4,410	4,410	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,706	0,705	0,001
	145	4,400	4,400	4,410	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,704	0,706	0,705	0,001
	150	4,400	4,400	4,420	4,407	0,012	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,704	0,707	0,705	0,002
	155	4,410	4,400	4,420	4,410	0,010	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,704	0,707	0,706	0,002
	160	4,410	4,400	4,420	4,410	0,010	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,707	0,706	0,707	0,706	0,001
	165	4,420	4,410	4,410	4,413	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,707	0,706	0,706	0,706	0,001
	170	4,420	4,410	4,410	4,413	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,707	0,706	0,706	0,706	0,000
	175	4,410	4,410	4,410	4,410	0,000	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,704	0,705	0,001
	180	4,410	4,410	4,400	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	185	4,400	4,410	4,400	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,704	0,705	0,001
	190	4,410	4,410	4,400	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	195	4,400	4,410	4,400	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,706	0,705	0,001
	200	4,400	4,410	4,410	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,704	0,706	0,705	0,001
	205	4,400	4,400	4,410	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,704	0,706	0,705	0,001
	210	4,400	4,400	4,420	4,407	0,012	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,704	0,707	0,705	0,002
	215	4,410	4,400	4,420	4,410	0,010	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,704	0,707	0,706	0,002
	220	4,410	4,400	4,420	4,410	0,010	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,704	0,707	0,706	0,002
	225	4,420	4,410	4,410	4,413	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,707	0,706	0,706	0,706	0,001
	230	4,420	4,410	4,410	4,413	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,707	0,706	0,706	0,706	0,001
	235	4,410	4,410	4,410	4,410	0,000	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,706	0,706	0,000
	240	4,410	4,410	4,400	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,704	0,705	0,001
	245	4,400	4,410	4,400	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001
	250	4,410	4,410	4,400	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,704	0,705	0,001
	255	4,400	4,410	4,400	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,704	0,705	0,001

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	260	4,400	4,410	4,410	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,706	0,706	0,705	0,001
	265	4,400	4,400	4,410	4,403	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,704	0,706	0,705	0,001
	270	4,400	4,400	4,420	4,407	0,012	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,704	0,704	0,707	0,705	0,002
	275	4,410	4,400	4,420	4,410	0,010	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,704	0,707	0,706	0,002
	280	4,410	4,400	4,420	4,410	0,010	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,704	0,707	0,706	0,002
	285	4,420	4,410	4,410	4,413	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,707	0,706	0,706	0,706	0,001
	290	4,420	4,410	4,410	4,413	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,707	0,706	0,706	0,706	0,001
	295	4,410	4,410	4,410	4,410	0,000	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,706	0,706	0,000
	300	4,410	4,410	4,400	4,407	0,006	0,160	0,160	0,160	0,160	0,000	0,706	0,706	0,704	0,705	0,001
IV	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	5	4,800	4,790	4,800	4,797	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,864	0,863	0,001
	10	4,800	4,790	4,800	4,797	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,864	0,863	0,001
	15	4,790	4,790	4,800	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,862	0,864	0,863	0,001
	20	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,862	0,864	0,863	0,001
	25	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,864	0,863	0,001
	30	4,800	4,790	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,862	0,862	0,863	0,002
	35	4,810	4,790	4,790	4,797	0,012	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,862	0,864	0,864	0,002
	40	4,810	4,790	4,800	4,800	0,010	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,862	0,864	0,864	0,002
	45	4,810	4,800	4,800	4,803	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,864	0,866	0,865	0,001
	50	4,800	4,800	4,810	4,803	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,864	0,866	0,865	0,001
	55	4,800	4,810	4,810	4,807	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,866	0,866	0,865	0,001
	60	4,800	4,810	4,810	4,807	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,866	0,866	0,865	0,001
	65	4,800	4,790	4,800	4,797	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,864	0,863	0,001
	70	4,800	4,790	4,800	4,797	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,862	0,864	0,863	0,001
	75	4,790	4,790	4,800	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,862	0,864	0,863	0,001
	80	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,864	0,862	0,863	0,001
	85	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,864	0,862	0,863	0,001
	90	4,800	4,790	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,862	0,863	0,001

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	95	4,810	4,790	4,790	4,797	0,012	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,862	0,862	0,863	0,002
	100	4,810	4,790	4,800	4,800	0,010	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,862	0,864	0,864	0,002
	105	4,810	4,800	4,800	4,803	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,864	0,864	0,865	0,001
	110	4,800	4,800	4,810	4,803	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,864	0,866	0,865	0,001
	115	4,800	4,810	4,810	4,807	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,866	0,866	0,865	0,001
	120	4,800	4,810	4,810	4,807	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,864	0,863	0,001
	125	4,800	4,790	4,800	4,797	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,862	0,864	0,863	0,001
	130	4,800	4,790	4,800	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,864	0,862	0,863	0,001
	135	4,790	4,790	4,800	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,864	0,862	0,863	0,001
	140	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,864	0,862	0,863	0,001
	145	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,862	0,863	0,001
	150	4,800	4,790	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,862	0,862	0,863	0,002
	155	4,810	4,790	4,790	4,797	0,012	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,862	0,864	0,864	0,002
	160	4,810	4,790	4,800	4,800	0,010	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,864	0,864	0,865	0,001
	165	4,810	4,800	4,800	4,803	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,864	0,866	0,865	0,001
	170	4,800	4,800	4,810	4,803	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,866	0,866	0,865	0,001
	175	4,800	4,810	4,810	4,807	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,866	0,866	0,865	0,001
	180	4,800	4,810	4,810	4,807	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,864	0,863	0,001
	185	4,800	4,790	4,800	4,797	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,864	0,863	0,001
	190	4,800	4,790	4,800	4,797	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,864	0,863	0,001
	195	4,790	4,790	4,800	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,862	0,864	0,863	0,001
	200	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,864	0,862	0,863	0,001
	205	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,864	0,862	0,863	0,001
	210	4,800	4,790	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,862	0,863	0,001
	215	4,810	4,790	4,790	4,797	0,012	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,862	0,862	0,863	0,002
	220	4,810	4,790	4,800	4,800	0,010	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,862	0,864	0,864	0,002
	225	4,810	4,800	4,800	4,803	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,864	0,864	0,865	0,001
	230	4,800	4,800	4,810	4,803	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,864	0,866	0,865	0,001
	235	4,800	4,810	4,810	4,807	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,866	0,866	0,865	0,001

Pilihan Daya	Waktu	Replikasi Tegangan Terukur (V)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Arus Terukur (A)			Rerata	Std. Dev	Replikasi Daya Terukur (W)			Rerata	Std. Dev
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
	240	4,800	4,810	4,810	4,807	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,866	0,866	0,865	0,001
	245	4,800	4,790	4,800	4,797	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,864	0,863	0,001
	250	4,800	4,790	4,800	4,797	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,864	0,863	0,001
	255	4,790	4,790	4,800	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,862	0,864	0,863	0,001
	260	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,864	0,862	0,863	0,001
	265	4,790	4,800	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,862	0,864	0,862	0,863	0,001
	270	4,800	4,790	4,790	4,793	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,862	0,862	0,863	0,001
	275	4,810	4,790	4,790	4,797	0,012	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,862	0,862	0,863	0,002
	280	4,810	4,790	4,800	4,800	0,010	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,862	0,864	0,864	0,002
	285	4,810	4,800	4,800	4,803	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,866	0,864	0,864	0,865	0,001
	290	4,800	4,800	4,810	4,803	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,864	0,866	0,865	0,001
	295	4,800	4,810	4,810	4,807	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,866	0,866	0,865	0,001
	300	4,800	4,810	4,810	4,807	0,006	0,180	0,180	0,180	0,180	0,000	0,864	0,866	0,866	0,865	0,001

Uji Daya Output Terhadap Waktu (jarak LD ke detektor 1 cm dengan FO 8mm)

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
I	0	0,014320	0,014308	0,014324	0,014270	0,014338	0,014312	0,000026
	5	0,014530	0,014518	0,014534	0,014480	0,014548	0,014522	0,000026
	10	0,014610	0,014598	0,014614	0,014560	0,014628	0,014602	0,000026
	15	0,014640	0,014628	0,014644	0,014590	0,014658	0,014632	0,000026
	20	0,014650	0,014638	0,014654	0,014600	0,014668	0,014642	0,000026
	25	0,014650	0,014638	0,014654	0,014600	0,014668	0,014642	0,000026
	30	0,014650	0,014638	0,014654	0,014600	0,014668	0,014642	0,000026
	35	0,014650	0,014638	0,014654	0,014600	0,014668	0,014642	0,000026
	40	0,014650	0,014638	0,014654	0,014600	0,014668	0,014642	0,000026
	45	0,014650	0,014638	0,014654	0,014600	0,014668	0,014642	0,000026
	50	0,014650	0,014638	0,014654	0,014600	0,014668	0,014642	0,000026
	55	0,014650	0,014638	0,014654	0,014600	0,014668	0,014642	0,000026
	60	0,014650	0,014638	0,014654	0,014600	0,014668	0,014642	0,000026
	65	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	70	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	75	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	80	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	85	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	90	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	95	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	100	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	105	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	110	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	115	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	120	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	125	0,014660	0,014648	0,014664	0,014610	0,014678	0,014652	0,000026
	130	0,014670	0,014658	0,014674	0,014620	0,014688	0,014662	0,000026
	135	0,014670	0,014658	0,014674	0,014620	0,014688	0,014662	0,000026
	140	0,014670	0,014658	0,014674	0,014620	0,014688	0,014662	0,000026
	145	0,014670	0,014658	0,014674	0,014620	0,014688	0,014662	0,000026
	150	0,014670	0,014658	0,014674	0,014620	0,014688	0,014662	0,000026
	155	0,014670	0,014658	0,014674	0,014620	0,014688	0,014662	0,000026
	160	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	165	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	170	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	175	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	180	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	185	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	190	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	195	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	200	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	205	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	210	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	215	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	220	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	225	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	230	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
	235	0,014680	0,014668	0,014684	0,014630	0,014698	0,014672	0,000026
	240	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	245	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	250	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	255	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	260	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	265	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	270	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	275	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	280	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	285	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	290	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	295	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
	300	0,014690	0,014678	0,014694	0,014640	0,014708	0,014682	0,000026
II	0	0,025878	0,025866	0,025882	0,025828	0,025896	0,025870	0,000026
	5	0,025987	0,025975	0,025991	0,025937	0,026005	0,025979	0,000026
	10	0,026063	0,026051	0,026067	0,026013	0,026081	0,026055	0,000026
	15	0,025851	0,025839	0,025855	0,025801	0,025869	0,025843	0,000026
	20	0,025845	0,025833	0,025849	0,025795	0,025863	0,025837	0,000026
	25	0,025846	0,025834	0,025850	0,025796	0,025864	0,025838	0,000026
	30	0,025855	0,025843	0,025859	0,025805	0,025873	0,025847	0,000026
	35	0,025854	0,025842	0,025858	0,025804	0,025872	0,025846	0,000026
	40	0,025852	0,025840	0,025856	0,025802	0,025870	0,025844	0,000026
	45	0,025858	0,025846	0,025862	0,025808	0,025876	0,025850	0,000026
	50	0,025855	0,025843	0,025859	0,025805	0,025873	0,025847	0,000026
	55	0,025861	0,025849	0,025865	0,025811	0,025879	0,025853	0,000026
	60	0,025862	0,025850	0,025866	0,025812	0,025880	0,025854	0,000026
	65	0,025864	0,025852	0,025868	0,025814	0,025882	0,025856	0,000026
	70	0,025870	0,025858	0,025874	0,025820	0,025888	0,025862	0,000026
	75	0,025877	0,025865	0,025881	0,025827	0,025895	0,025869	0,000026
	80	0,025860	0,025848	0,025864	0,025810	0,025878	0,025852	0,000026
	85	0,025860	0,025848	0,025864	0,025810	0,025878	0,025852	0,000026
	90	0,025875	0,025863	0,025879	0,025825	0,025893	0,025867	0,000026
	95	0,025873	0,025861	0,025877	0,025823	0,025891	0,025865	0,000026
	100	0,025873	0,025861	0,025877	0,025823	0,025891	0,025865	0,000026
	105	0,025872	0,025860	0,025876	0,025822	0,025890	0,025864	0,000026
	110	0,025878	0,025866	0,025882	0,025828	0,025896	0,025870	0,000026
	115	0,025883	0,025871	0,025887	0,025833	0,025901	0,025875	0,000026
	120	0,025887	0,025875	0,025891	0,025837	0,025905	0,025879	0,000026
	125	0,026135	0,026123	0,026139	0,026085	0,026153	0,026127	0,000026
	130	0,025879	0,025867	0,025883	0,025829	0,025897	0,025871	0,000026
	135	0,025887	0,025875	0,025891	0,025837	0,025905	0,025879	0,000026
	140	0,025889	0,025877	0,025893	0,025839	0,025907	0,025881	0,000026
	145	0,025885	0,025873	0,025889	0,025835	0,025903	0,025877	0,000026
	150	0,025887	0,025875	0,025891	0,025837	0,025905	0,025879	0,000026
	155	0,025888	0,025876	0,025892	0,025838	0,025906	0,025880	0,000026
	160	0,025884	0,025872	0,025888	0,025834	0,025902	0,025876	0,000026

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
	165	0,025884	0,025872	0,025888	0,025834	0,025902	0,025876	0,000026
	170	0,025888	0,025876	0,025892	0,025838	0,025906	0,025880	0,000026
	175	0,025889	0,025877	0,025893	0,025839	0,025907	0,025881	0,000026
	180	0,025895	0,025883	0,025899	0,025845	0,025913	0,025887	0,000026
	185	0,025900	0,025888	0,025904	0,025850	0,025918	0,025892	0,000026
	190	0,025897	0,025885	0,025901	0,025847	0,025915	0,025889	0,000026
	195	0,025910	0,025898	0,025914	0,025860	0,025928	0,025902	0,000026
	200	0,025912	0,025900	0,025916	0,025862	0,025930	0,025904	0,000026
	205	0,025891	0,025879	0,025895	0,025841	0,025909	0,025883	0,000026
	210	0,025896	0,025884	0,025900	0,025846	0,025914	0,025888	0,000026
	215	0,025905	0,025893	0,025909	0,025855	0,025923	0,025897	0,000026
	220	0,025904	0,025892	0,025908	0,025854	0,025922	0,025896	0,000026
	225	0,025912	0,025900	0,025916	0,025862	0,025930	0,025904	0,000026
	230	0,025911	0,025899	0,025915	0,025861	0,025929	0,025903	0,000026
	235	0,025917	0,025905	0,025921	0,025867	0,025935	0,025909	0,000026
	240	0,025894	0,025882	0,025898	0,025844	0,025912	0,025886	0,000026
	245	0,025912	0,025900	0,025916	0,025862	0,025930	0,025904	0,000026
	250	0,025931	0,025919	0,025935	0,025881	0,025949	0,025923	0,000026
	255	0,025902	0,025890	0,025906	0,025852	0,025920	0,025894	0,000026
	260	0,025907	0,025895	0,025911	0,025857	0,025925	0,025899	0,000026
	265	0,025917	0,025905	0,025921	0,025867	0,025935	0,025909	0,000026
	270	0,025920	0,025908	0,025924	0,025870	0,025938	0,025912	0,000026
	275	0,025929	0,025917	0,025933	0,025879	0,025947	0,025921	0,000026
	280	0,025921	0,025909	0,025925	0,025871	0,025939	0,025913	0,000026
	285	0,025918	0,025906	0,025922	0,025868	0,025936	0,025910	0,000026
	290	0,025916	0,025904	0,025920	0,025866	0,025934	0,025908	0,000026
	295	0,025919	0,025907	0,025923	0,025869	0,025937	0,025911	0,000026
	300	0,025935	0,025923	0,025939	0,025885	0,025953	0,025927	0,000026
III	0	0,035896	0,035884	0,035900	0,035846	0,035914	0,035888	0,000026
	5	0,036005	0,035993	0,036009	0,035955	0,036023	0,035997	0,000026
	10	0,036081	0,036069	0,036085	0,036031	0,036099	0,036073	0,000026
	15	0,035869	0,035857	0,035873	0,035819	0,035887	0,035861	0,000026
	20	0,035863	0,035851	0,035867	0,035813	0,035881	0,035855	0,000026
	25	0,035864	0,035852	0,035868	0,035814	0,035882	0,035856	0,000026
	30	0,035873	0,035861	0,035877	0,035823	0,035891	0,035865	0,000026
	35	0,035872	0,035860	0,035876	0,035822	0,035890	0,035864	0,000026
	40	0,03587	0,035858	0,035874	0,035820	0,035888	0,035862	0,000026
	45	0,035876	0,035864	0,035880	0,035826	0,035894	0,035868	0,000026
	50	0,035873	0,035861	0,035877	0,035823	0,035891	0,035865	0,000026
	55	0,035879	0,035867	0,035883	0,035829	0,035897	0,035871	0,000026
	60	0,03588	0,035868	0,035884	0,035830	0,035898	0,035872	0,000026
	65	0,035882	0,035870	0,035886	0,035832	0,035900	0,035874	0,000026
	70	0,035888	0,035876	0,035892	0,035838	0,035906	0,035880	0,000026
	75	0,035895	0,035883	0,035899	0,035845	0,035913	0,035887	0,000026
	80	0,035878	0,035866	0,035882	0,035828	0,035896	0,035870	0,000026
	85	0,035878	0,035866	0,035882	0,035828	0,035896	0,035870	0,000026
	90	0,035893	0,035881	0,035897	0,035843	0,035911	0,035885	0,000026

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
	95	0,035891	0,035879	0,035895	0,035841	0,035909	0,035883	0,000026
	100	0,035891	0,035879	0,035895	0,035841	0,035909	0,035883	0,000026
	105	0,03589	0,035878	0,035894	0,035840	0,035908	0,035882	0,000026
	110	0,035896	0,035884	0,035900	0,035846	0,035914	0,035888	0,000026
	115	0,035901	0,035889	0,035905	0,035851	0,035919	0,035893	0,000026
	120	0,035905	0,035893	0,035909	0,035855	0,035923	0,035897	0,000026
	125	0,036153	0,036141	0,036157	0,036103	0,036171	0,036145	0,000026
	130	0,035897	0,035885	0,035901	0,035847	0,035915	0,035889	0,000026
	135	0,035905	0,035893	0,035909	0,035855	0,035923	0,035897	0,000026
	140	0,035907	0,035895	0,035911	0,035857	0,035925	0,035899	0,000026
	145	0,035903	0,035891	0,035907	0,035853	0,035921	0,035895	0,000026
	150	0,035905	0,035893	0,035909	0,035855	0,035923	0,035897	0,000026
	155	0,035906	0,035894	0,035910	0,035856	0,035924	0,035898	0,000026
	160	0,035902	0,035890	0,035906	0,035852	0,035920	0,035894	0,000026
	165	0,035902	0,035890	0,035906	0,035852	0,035920	0,035894	0,000026
	170	0,035906	0,035894	0,035910	0,035856	0,035924	0,035898	0,000026
	175	0,035907	0,035895	0,035911	0,035857	0,035925	0,035899	0,000026
	180	0,035913	0,035901	0,035917	0,035863	0,035931	0,035905	0,000026
	185	0,035918	0,035906	0,035922	0,035868	0,035936	0,035910	0,000026
	190	0,035915	0,035903	0,035919	0,035865	0,035933	0,035907	0,000026
	195	0,035928	0,035916	0,035932	0,035878	0,035946	0,035920	0,000026
	200	0,03593	0,035918	0,035934	0,035880	0,035948	0,035922	0,000026
	205	0,035909	0,035897	0,035913	0,035859	0,035927	0,035901	0,000026
	210	0,035914	0,035902	0,035918	0,035864	0,035932	0,035906	0,000026
	215	0,035923	0,035911	0,035927	0,035873	0,035941	0,035915	0,000026
	220	0,035922	0,035910	0,035926	0,035872	0,035940	0,035914	0,000026
	225	0,03593	0,035918	0,035934	0,035880	0,035948	0,035922	0,000026
	230	0,035929	0,035917	0,035933	0,035879	0,035947	0,035921	0,000026
	235	0,035935	0,035923	0,035939	0,035885	0,035953	0,035927	0,000026
	240	0,035912	0,035900	0,035916	0,035862	0,035930	0,035904	0,000026
	245	0,03593	0,035918	0,035934	0,035880	0,035948	0,035922	0,000026
	250	0,035949	0,035937	0,035953	0,035899	0,035967	0,035941	0,000026
	255	0,03592	0,035908	0,035924	0,035870	0,035938	0,035912	0,000026
	260	0,035925	0,035913	0,035929	0,035875	0,035943	0,035917	0,000026
	265	0,035935	0,035923	0,035939	0,035885	0,035953	0,035927	0,000026
	270	0,035938	0,035926	0,035942	0,035888	0,035956	0,035930	0,000026
	275	0,035947	0,035935	0,035951	0,035897	0,035965	0,035939	0,000026
	280	0,035939	0,035927	0,035943	0,035889	0,035957	0,035931	0,000026
	285	0,035936	0,035924	0,035940	0,035886	0,035954	0,035928	0,000026
	290	0,035934	0,035922	0,035938	0,035884	0,035952	0,035926	0,000026
	295	0,035937	0,035925	0,035941	0,035887	0,035955	0,035929	0,000026
	300	0,035953	0,035941	0,035957	0,035903	0,035971	0,035945	0,000026
IV	0	0,048328	0,048316	0,048332	0,048278	0,048346	0,048320	0,000026
	5	0,048453	0,048441	0,048457	0,048403	0,048471	0,048445	0,000026
	10	0,048583	0,048571	0,048587	0,048533	0,048601	0,048575	0,000026
	15	0,045504	0,045492	0,045508	0,045454	0,045522	0,045496	0,000026
	20	0,045496	0,045484	0,045500	0,045446	0,045514	0,045488	0,000026

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
	25	0,045501	0,045489	0,045505	0,045451	0,045519	0,045493	0,000026
	30	0,045515	0,045503	0,045519	0,045465	0,045533	0,045507	0,000026
	35	0,045517	0,045505	0,045521	0,045467	0,045535	0,045509	0,000026
	40	0,045515	0,045503	0,045519	0,045465	0,045533	0,045507	0,000026
	45	0,045527	0,045515	0,045531	0,045477	0,045545	0,045519	0,000026
	50	0,045516	0,045504	0,045520	0,045466	0,045534	0,045508	0,000026
	55	0,045524	0,045512	0,045528	0,045474	0,045542	0,045516	0,000026
	60	0,045516	0,045504	0,045520	0,045466	0,045534	0,045508	0,000026
	65	0,045523	0,045511	0,045527	0,045473	0,045541	0,045515	0,000026
	70	0,045543	0,045531	0,045547	0,045493	0,045561	0,045535	0,000026
	75	0,045558	0,045546	0,045562	0,045508	0,045576	0,045550	0,000026
	80	0,045526	0,045514	0,045530	0,045476	0,045544	0,045518	0,000026
	85	0,045531	0,045519	0,045535	0,045481	0,045549	0,045523	0,000026
	90	0,045537	0,045525	0,045541	0,045487	0,045555	0,045529	0,000026
	95	0,045541	0,045529	0,045545	0,045491	0,045559	0,045533	0,000026
	100	0,045552	0,045540	0,045556	0,045502	0,045570	0,045544	0,000026
	105	0,045549	0,045537	0,045553	0,045499	0,045567	0,045541	0,000026
	110	0,045563	0,045551	0,045567	0,045513	0,045581	0,045555	0,000026
	115	0,045578	0,045566	0,045582	0,045528	0,045596	0,045570	0,000026
	120	0,045582	0,045570	0,045586	0,045532	0,045600	0,045574	0,000026
	125	0,048670	0,048658	0,048674	0,048620	0,048688	0,048662	0,000026
	130	0,045574	0,045562	0,045578	0,045524	0,045592	0,045566	0,000026
	135	0,045592	0,045580	0,045596	0,045542	0,045610	0,045584	0,000026
	140	0,045587	0,045575	0,045591	0,045537	0,045605	0,045579	0,000026
	145	0,045598	0,045586	0,045602	0,045548	0,045616	0,045590	0,000026
	150	0,045601	0,045589	0,045605	0,045551	0,045619	0,045593	0,000026
	155	0,045612	0,045600	0,045616	0,045562	0,045630	0,045604	0,000026
	160	0,045615	0,045603	0,045619	0,045565	0,045633	0,045607	0,000026
	165	0,045617	0,045605	0,045621	0,045567	0,045635	0,045609	0,000026
	170	0,045624	0,045612	0,045628	0,045574	0,045642	0,045616	0,000026
	175	0,045635	0,045623	0,045639	0,045585	0,045653	0,045627	0,000026
	180	0,045657	0,045645	0,045661	0,045607	0,045675	0,045649	0,000026
	185	0,045666	0,045654	0,045670	0,045616	0,045684	0,045658	0,000026
	190	0,045672	0,045660	0,045676	0,045622	0,045690	0,045664	0,000026
	195	0,045741	0,045729	0,045745	0,045691	0,045759	0,045733	0,000026
	200	0,045732	0,045720	0,045736	0,045682	0,045750	0,045724	0,000026
	205	0,045641	0,045629	0,045645	0,045591	0,045659	0,045633	0,000026
	210	0,045655	0,045643	0,045659	0,045605	0,045673	0,045647	0,000026
	215	0,045679	0,045667	0,045683	0,045629	0,045697	0,045671	0,000026
	220	0,045688	0,045676	0,045692	0,045638	0,045706	0,045680	0,000026
	225	0,045712	0,045700	0,045716	0,045662	0,045730	0,045704	0,000026
	230	0,045724	0,045712	0,045728	0,045674	0,045742	0,045716	0,000026
	235	0,045750	0,045738	0,045754	0,045700	0,045768	0,045742	0,000026
	240	0,045645	0,045633	0,045649	0,045595	0,045663	0,045637	0,000026
	245	0,045718	0,045706	0,045722	0,045668	0,045736	0,045710	0,000026
	250	0,045802	0,045790	0,045806	0,045752	0,045820	0,045794	0,000026
	255	0,045690	0,045678	0,045694	0,045640	0,045708	0,045682	0,000026
	260	0,045699	0,045687	0,045703	0,045649	0,045717	0,045691	0,000026

Pilih Daya	Waktu (s)	Daya Output (W)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
	265	0,045773	0,045761	0,045777	0,045723	0,045791	0,045765	0,000026
	270	0,045790	0,045778	0,045794	0,045740	0,045808	0,045782	0,000026
	275	0,045809	0,045797	0,045813	0,045759	0,045827	0,045801	0,000026
	280	0,045752	0,045740	0,045756	0,045702	0,045770	0,045744	0,000026
	285	0,045769	0,045757	0,045773	0,045719	0,045787	0,045761	0,000026
	290	0,045785	0,045773	0,045789	0,045735	0,045803	0,045777	0,000026
	295	0,045762	0,045750	0,045766	0,045712	0,045780	0,045754	0,000026
	300	0,045820	0,045808	0,045824	0,045770	0,045838	0,045812	0,000026

Uji Luas Berkas Laser Terhadap Jarak (dengan Fiber 8 mm)

Daya	Jarak (cm)	Luas Berkas (mm ²)						Luas Berkas (cm ²)	Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata		
I	1	16	17	15	17	16	16,2	0,162	0,0075
	2	21	20	19	22	22	20,8	0,208	0,0117
	3	97	93	93	86	83	90,4	0,904	0,0512
	4	146	128	146	159	145	144,8	1,448	0,0987
	5	227	239	245	221	236	233,6	2,336	0,0857
II	1	16	17	16	17	15	16,2	0,162	0,0075
	2	21	20	21	21	22	21	0,21	0,0063
	3	97	94	93	85	83	90,4	0,904	0,0543
	4	146	129	146	160	145	145,2	1,452	0,0983
	5	227	240	245	222	238	234,4	2,344	0,0855
III	1	16	16	16	17	16	16,2	0,162	0,0040
	2	21	20	20	22	22	21	0,21	0,0089
	3	97	93	92	86	83	90,2	0,902	0,0504
	4	146	129	145	160	145	145	1,45	0,0982
	5	227	239	242	219	245	234,4	2,344	0,0983
IV	1	16	17	15	17	16	16,2	0,162	0,0075
	2	21	21	19	21	22	20,8	0,208	0,0098
	3	97	93	91	86	83	90	0,9	0,0498
	4	146	129	146	160	146	145,4	1,454	0,0983
	5	230	239	244	219	239	234,2	2,342	0,0884

Uji Temperatur Berkas Laser Terhadap Waktu (jarak LD ke sensor 1 cm dengan FO 8mm)

Daya Output (W)	Waktu (s)	Temperatur (°C)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
0,015344	0	26,5	26,6	26,6	26,7	26,6	26,6	0,071
	5	28,4	25,8	28,6	28,8	28,5	28,02	1,250
	10	29,5	29,6	29,5	29,5	29,5	29,52	0,045
	15	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	0,000
	20	29,9	29,8	29,9	29,9	29,9	29,88	0,045
	25	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	0,000
	30	29,9	30	29,9	29,9	29,9	29,92	0,045

Daya Output (W)	Waktu (s)	Temperatur (°C)						Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
	35	29,9	30	29,9	29,9	29,9	29,92	0,045
	40	30	30	30	29,9	29,9	29,96	0,055
	45	29,9	30	30	30	30	29,98	0,045
	50	30	30	30	30	30	30	0,000
	55	30	30	30	30	30	30	0,000
	60	30	30	30	30	30	30	0,000
0,025706	0	26,6	26,6	26,6	26,7	26,7	26,64	0,055
	5	30,6	29,9	30,4	29,8	31	30,34	0,498
	10	31,5	31,3	31,3	31,3	31,4	31,36	0,089
	15	31,9	31,9	31,8	31,9	31,9	31,88	0,045
	20	32,1	32	32	32,1	32,2	32,08	0,084
	25	32,1	32,1	32,1	32,1	32,2	32,12	0,045
	30	32,2	32,1	32,1	32,2	32,2	32,16	0,055
	35	32,2	32,2	32,1	32,1	32,2	32,16	0,055
	40	32,2	32,2	32,1	32,2	32,3	32,2	0,071
	45	32,2	32,2	32,2	32,2	32,2	32,2	0,000
	50	32,2	32,2	32,2	32,2	32,3	32,22	0,045
55	32,1	32,2	32,2	32,2	32,3	32,2	0,071	
60	32,2	32,2	32,2	32,2	32,3	32,22	0,045	
0,034954	0	26,7	26,8	26,8	26,8	26,8	26,78	0,045
	5	31,1	31	31,5	31,7	31,8	31,42	0,356
	10	32,9	33,1	32,9	33,3	33	33,04	0,167
	15	33,5	33,6	33,6	33,7	33,5	33,58	0,084
	20	33,6	33,8	33,9	33,9	33,7	33,78	0,130
	25	33,8	33,9	33,9	33,9	33,8	33,86	0,055
	30	33,8	33,9	34	34	33,8	33,9	0,100
	35	33,8	34	34	34	33,8	33,92	0,110
	40	33,9	34	34	34,1	33,9	33,98	0,084
	45	33,9	34	34	34,1	33,9	33,98	0,084
	50	34	34	34,1	34,1	33,9	34,02	0,084
	55	34	34,1	34,1	34,1	33,9	34,04	0,089
60	34,1	34,1	34,1	34,1	33,9	34,06	0,089	
0,045503	0	26,8	26,9	26,8	26,8	26,9	26,84	0,055
	5	32	33	32,5	33	32,5	32,6	0,418
	10	35	34,7	34,9	34,5	34,8	34,78	0,192
	15	35,4	35,3	35,3	35,3	35,4	35,34	0,055
	20	35,6	35,6	35,5	35,5	35,6	35,56	0,055
	25	35,7	35,7	35,6	35,6	35,7	35,66	0,055
	30	35,8	35,7	35,7	35,7	35,7	35,72	0,045
	35	35,8	35,8	35,7	35,7	35,7	35,74	0,055
	40	35,8	35,8	35,7	35,8	35,7	35,76	0,055
	45	35,8	35,8	35,7	35,8	35,7	35,76	0,055
	50	35,8	35,8	35,8	35,8	35,6	35,76	0,089
	55	35,9	35,8	35,8	35,8	35,5	35,76	0,152
60	35,9	35,9	35,8	35,8	35,5	35,78	0,164	

Uji Perubahan Daya Terhadap Perubahan Jarak Waktu (dengan FO 8mm)

Pilih Daya	Jarak (cm)	Daya (mW)										Standar Deviasi				
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Replikasi 6	Replikasi 7	Replikasi 8	Replikasi 9	Replikasi 10		rerata			
I	0	0,01681	0,01680	0,01680	0,01680	0,01678	0,01678	0,01677	0,01676	0,01676	0,01676	0,01676	0,01675	0,01675	0,01678	0,00002
	1	0,01529	0,01529	0,01531	0,01532	0,01535	0,01536	0,01538	0,01539	0,01539	0,01542	0,01542	0,01545	0,01545	0,01535	0,00005
	2	0,00897	0,00898	0,00898	0,00898	0,00898	0,00899	0,00899	0,00899	0,00900	0,00900	0,00900	0,00900	0,00900	0,00899	0,00001
	3	0,00610	0,00611	0,00612	0,00613	0,00613	0,00614	0,00615	0,00615	0,00615	0,00616	0,00616	0,00617	0,00617	0,00613	0,00002
	4	0,00418	0,00418	0,00418	0,00418	0,00418	0,00418	0,00418	0,00418	0,00418	0,00418	0,00418	0,00418	0,00418	0,00418	0,00000
II	5	0,00300	0,00301	0,00301	0,00301	0,00302	0,00302	0,00302	0,00303	0,00303	0,00303	0,00303	0,00304	0,00304	0,00302	0,00001
	0	0,02747	0,02746	0,02746	0,02746	0,02745	0,02743	0,02742	0,02741	0,02741	0,02740	0,02738	0,02738	0,02743	0,00003	
	1	0,02563	0,02565	0,02567	0,02568	0,02570	0,02572	0,02575	0,02576	0,02576	0,02579	0,02581	0,02581	0,02572	0,00006	
	2	0,01492	0,01491	0,01491	0,01491	0,01491	0,01490	0,01490	0,01489	0,01489	0,01489	0,01488	0,01488	0,01490	0,00001	
	3	0,01041	0,01042	0,01043	0,01043	0,01044	0,01045	0,01045	0,01046	0,01046	0,01048	0,01049	0,01049	0,01044	0,00002	
III	4	0,00708	0,00708	0,00708	0,00708	0,00707	0,00707	0,00707	0,00706	0,00706	0,00706	0,00706	0,00706	0,00707	0,00001	
	5	0,00522	0,00522	0,00523	0,00523	0,00523	0,00524	0,00524	0,00525	0,00525	0,00526	0,00526	0,00526	0,00524	0,00001	
	0	0,03679	0,03679	0,03677	0,03676	0,03674	0,03675	0,03675	0,03675	0,03675	0,03675	0,03674	0,03674	0,03676	0,00002	
	1	0,03489	0,03490	0,03492	0,03494	0,03495	0,03497	0,03499	0,03501	0,03501	0,03503	0,03505	0,03505	0,03496	0,00005	
	2	0,02031	0,02030	0,02030	0,02029	0,02028	0,02027	0,02027	0,02026	0,02026	0,02025	0,02024	0,02024	0,02028	0,00002	
IV	3	0,01420	0,01421	0,01421	0,01422	0,01424	0,01425	0,01425	0,01426	0,01426	0,01427	0,01428	0,01428	0,01424	0,00003	
	4	0,00964	0,00964	0,00964	0,00964	0,00963	0,00963	0,00963	0,00964	0,00964	0,00964	0,00965	0,00965	0,00964	0,00001	
	5	0,00720	0,00720	0,00721	0,00721	0,00722	0,00723	0,00723	0,00723	0,00723	0,00724	0,00725	0,00725	0,00722	0,00002	
	0	0,04730	0,04733	0,04731	0,04733	0,04732	0,04732	0,04732	0,04732	0,04732	0,04733	0,04733	0,04733	0,04732	0,00001	
	1	0,04548	0,04548	0,04549	0,04549	0,04551	0,04550	0,04552	0,04552	0,04552	0,04554	0,04554	0,04554	0,04551	0,00002	
2	0,02663	0,02662	0,02663	0,02664	0,02664	0,02664	0,02663	0,02662	0,02662	0,02662	0,02661	0,02661	0,02663	0,00001		
3	0,01857	0,01857	0,01857	0,01858	0,01858	0,01859	0,01858	0,01859	0,01859	0,01858	0,01858	0,01857	0,01858	0,00001		
4	0,01271	0,01271	0,01271	0,01271	0,01270	0,01270	0,01270	0,01269	0,01269	0,01269	0,01269	0,01269	0,01270	0,00001		
5	0,00945	0,00946	0,00946	0,00947	0,00947	0,00946	0,00946	0,00946	0,00947	0,00947	0,00947	0,00947	0,00946	0,00001		

Lampiran 7. Tabel Data Uji Absorbansi Klorofil Daun Kelor (*Moringa oleifera*)

Wavelength (nm)	Abs	Wavelength (nm)	Abs	Wavelength (nm)	Abs	Wavelength (nm)	Abs	Wavelength (nm)	Abs	Wavelength (nm)	Abs
200	0,630	300	0,866	400	2,202	500	0,562	600	0,245	700	0,168
205	0,634	305	0,895	405	2,276	505	0,491	605	0,281	705	0,127
210	0,659	310	0,928	410	2,332	510	0,433	610	0,315	710	0,105
215	0,712	315	0,973	415	2,373	515	0,373	615	0,331	715	0,090
220	0,642	320	1,024	420	2,308	520	0,313	620	0,328	720	0,081
225	0,706	325	1,072	425	2,110	525	0,280	625	0,313	725	0,078
230	0,669	330	1,102	430		530	0,273	630	0,303	730	0,073
235	0,677	335	1,114	435	1,619	535	0,300	635	0,311	735	0,070
240	0,701	340	1,129	440	1,435	540	0,321	640	0,347	740	0,066
245	0,717	345	1,158	445	1,306	545	0,300	645	0,411	745	0,067
250	0,740	350	1,210	450	1,269	550	0,263	650	0,490	750	0,066
255	0,687	355	1,290	455	1,294	555	0,242	655	0,588	755	0,066
260	0,772	360	1,398	460	1,301	560	0,233	660		760	0,065
265	0,795	365	1,512	465	1,235	565	0,229	665	0,949	765	0,064
270	0,810	370	1,634	470	1,110	570	0,222	670	1,106	770	0,064
275	0,692	375	1,729	475	0,983	575	0,215	675	1,058	775	0,063
280	0,768	380	1,801	480	0,887	580	0,207	680	0,826	780	0,062
285	0,826	385	1,871	485	0,806	585	0,205	685	0,555	785	0,060
290	0,809	390	1,958	490	0,721	590	0,208	690	0,359	790	0,060
295	0,814	395	2,081	495	0,638	595	0,220	695	0,240	795	0,061

Lampiran 8. Data Karakteristik Pengenceran Kultur Bakteri A.a.

Pengenceran ke-	Jumlah Koloni Replikasi Sampel				Rata-rata
	1	2	3	4	
10^{-5}	445	329	418	401	398.25
10^{-6}	335	395	431	399	390.00
10^{-7}	267	294	271	292	281.00
10^{-8}	148	118	101	132	124.75
10^{-9}	81	83	97	68	82.25
10^{-10}	68	56	47	53	56.00

Lampiran 9. Data Hasil Uji Fotodinamik Secara *in Vitro* Dalam Koloni

Dosis Energi ($J.cm^{-2}$)	Jumlah Koloni Non PS Klorofil (Koloni)					Jumlah Koloni Dengan PS Klorofil (Koloni)				
	LD Biru	Rerata	Standar Deviasi	LD Merah	Standar Deviasi	LD Biru	Rerata	Standar Deviasi	LD Merah	Standar Deviasi
0 (kontrol)	265	261,5	5,50757055	265	5,50757055	235	238	20,4939015	235	20,4939015
	259			219						
	255			231						
	267			267						
2,5	188	188	19,3045763	199	13,1021627	112	141,25	32,0767309	63	15,7770931
	161			155						
	198			118						
	205			180						
5	177	175,5	10,8474267	197	12,2576507	150	131,5	22,9419557	60	8,52447457
	170			138						
	165			98						
	190			140						
7,5	170	146	16,0208198	118	18,0462369	108	120,5	24,6102959	43	10,4880885
	138			139						
	137			92						
	139			143						
10	112	119,25	20,2051974	110	17,9327447	89	85,25	19,7547463	33	4,85626743
	145			108						
	97			60						
	123			84						

Lampiran 10. Data Hasil Uji Fotodinamik Secara *in Vitro* Dalam CFU/ml

Dosis Energi ($J \cdot cm^{-2}$)	Jumlah Koloni Non PS Klorofil (CFU/ml)					Jumlah Koloni Dengan PS Klorofil (CFU/ml)						
	LD Biru	Rerata	Standar Deviasi	LD Merah	Rerata	Standar Deviasi	LD Biru	Rerata	Standar Deviasi	LD Merah	Rerata	Standar Deviasi
0 (kontrol)	$5,30 \cdot 10^{10}$	$5,23 \cdot 10^{10}$	$1,10 \cdot 10^9$	$5,30 \cdot 10^{10}$	$5,23 \cdot 10^{10}$	$1,10 \cdot 10^9$	$4,70 \cdot 10^{10}$	$4,76 \cdot 10^{10}$	$4,10 \cdot 10^9$	$4,70 \cdot 10^{10}$	$4,76 \cdot 10^{10}$	$4,10 \cdot 10^9$
	$5,18 \cdot 10^{10}$			$5,18 \cdot 10^{10}$			$4,38 \cdot 10^{10}$					
	$5,10 \cdot 10^{10}$			$5,10 \cdot 10^{10}$			$4,62 \cdot 10^{10}$					
	$5,34 \cdot 10^{10}$			$5,34 \cdot 10^{10}$			$5,34 \cdot 10^{10}$					
2,5	$3,76 \cdot 10^{10}$	$3,76 \cdot 10^{10}$	$3,86 \cdot 10^9$	$3,98 \cdot 10^{10}$	$3,79 \cdot 10^{10}$	$2,62 \cdot 10^9$	$2,24 \cdot 10^{10}$	$2,83 \cdot 10^{10}$	$6,42 \cdot 10^9$	$1,26 \cdot 10^{10}$	$1,19 \cdot 10^{10}$	$3,16 \cdot 10^9$
	$3,22 \cdot 10^{10}$			$3,70 \cdot 10^{10}$			$3,10 \cdot 10^{10}$					
	$3,96 \cdot 10^{10}$			$4,02 \cdot 10^{10}$			$2,36 \cdot 10^{10}$					
	$4,10 \cdot 10^{10}$			$3,46 \cdot 10^{10}$			$3,60 \cdot 10^{10}$					
5	$3,54 \cdot 10^{10}$	$3,51 \cdot 10^{10}$	$2,17 \cdot 10^9$	$3,94 \cdot 10^{10}$	$3,69 \cdot 10^{10}$	$2,45 \cdot 10^9$	$3,00 \cdot 10^{10}$	$2,63 \cdot 10^{10}$	$4,59 \cdot 10^9$	$1,20 \cdot 10^{10}$	$1,14 \cdot 10^{10}$	$1,70 \cdot 10^9$
	$3,40 \cdot 10^{10}$			$3,66 \cdot 10^{10}$			$2,76 \cdot 10^{10}$					
	$3,30 \cdot 10^{10}$			$3,78 \cdot 10^{10}$			$1,96 \cdot 10^{10}$					
	$3,80 \cdot 10^{10}$			$3,36 \cdot 10^{10}$			$2,80 \cdot 10^{10}$					
7,5	$3,40 \cdot 10^{10}$	$2,92 \cdot 10^{10}$	$3,20 \cdot 10^9$	$2,36 \cdot 10^{10}$	$2,69 \cdot 10^{10}$	$3,61 \cdot 10^9$	$2,16 \cdot 10^{10}$	$2,41 \cdot 10^{10}$	$4,92 \cdot 10^9$	$8,60 \cdot 10^9$	$1,12 \cdot 10^{10}$	$2,10 \cdot 10^9$
	$2,76 \cdot 10^{10}$			$2,44 \cdot 10^{10}$			$2,78 \cdot 10^{10}$					
	$2,74 \cdot 10^{10}$			$3,14 \cdot 10^{10}$			$1,84 \cdot 10^{10}$					
	$2,78 \cdot 10^{10}$			$2,82 \cdot 10^{10}$			$2,86 \cdot 10^{10}$					
10	$2,24 \cdot 10^{10}$	$2,39 \cdot 10^{10}$	$4,04 \cdot 10^9$	$2,20 \cdot 10^{10}$	$2,44 \cdot 10^{10}$	$3,59 \cdot 10^9$	$1,78 \cdot 10^{10}$	$1,71 \cdot 10^{10}$	$3,95 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^9$	$8,05 \cdot 10^9$	$9,71 \cdot 10^8$
	$2,90 \cdot 10^{10}$			$2,94 \cdot 10^{10}$			$2,16 \cdot 10^{10}$					
	$1,94 \cdot 10^{10}$			$2,16 \cdot 10^{10}$			$1,20 \cdot 10^{10}$					
	$2,46 \cdot 10^{10}$			$2,44 \cdot 10^{10}$			$1,68 \cdot 10^{10}$					

Lampiran 11. Data persentase viabilitas bakteri hasil uji fotodinamik secara *in vitro*

Dosis Energi (J.cm ⁻²)	% Viabilitas Koloni Bakteri Non PS Klorofil (%)					% Viabilitas Koloni Bakteri Dengan PS Klorofil (%)						
	LD Biru	Rerata	Standar Deviasi	LD Merah	Rerata	Standar Deviasi	LD Biru	Rerata	Standar Deviasi	LD Merah	Rerata	Standar Deviasi
0 (kontrol)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,5	-29,0566	-28,1171	7,131456	-24,9057	-27,4649	5,978934	-52,3404	-40,7665	11,55541	-73,1915	-75,2199	5,595389
	-37,8378			-28,5714			-29,2237			-72,6027		
	-22,3529			-21,1765			-48,9177			-83,5498		
	-23,221			-35,206			-32,5843			-71,5356		
5	-33,2075	-32,9259	2,855171	-25,6604	-29,4913	5,331985	-36,1702	-44,5745	10,10267	-74,4681	-75,7237	5,379818
	-34,3629			-29,3436			-36,9863			-69,4064		
	-35,2941			-25,8824			-57,5758			-76,6234		
	-23,839			-37,0787			-47,5655			-82,397		
7,5	-35,8491	-44,1354	5,608654	-55,4717	-48,4975	7,55023	-54,0426	-49,2968	10,1975	-81,7021	-76,4769	3,895308
	-46,7181			-52,8958			-36,5297			-76,2557		
	-46,2745			-38,4314			-60,1732			-72,2944		
	-47,9401			-47,191			-46,4419			-75,6554		
10	-57,7358	-54,4112	7,667036	-58,4906	-53,422	7,022155	-62,1277	-63,8445	10,03038	-85,9574	-83,009	2,441706
	-44,0154			-43,2432			-50,6849			-80,3653		
	-61,9608			-57,6471			-74,026			-81,8182		
	-53,9326			-54,3071			-68,5393			-83,8951		

Lampiran 12. Data Uji Statistik Antara Kelompok Kontrol Negatif dan Kelompok Kontrol Positif

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Unstandardized Residual
N		8
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,0000000
	Std. Deviation	2778488798
Most Extreme Differences	Absolute	,221
	Positive	,221
	Negative	-,182
Kolmogorov-Smirnov Z		,625
Asymp. Sig. (2-tailed)		,829

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Descriptives

Koloni bakteri

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
tanpa PS	4	52300000000	1101514109	550757054,7	50547245246	54052754754	5E+010	5E+010
dengan PS	4	47600000000	4098780306	2049390153	41077925879	54122074121	4E+010	5E+010
Total	8	49950000000	3745854852	1324359684	46818386974	53081613026	4E+010	5E+010

Test of Homogeneity of Variances

Koloni bakteri

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,797	1	6	,145

ANOVA

Koloni bakteri

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4,418E+19	1	4,418E+19	4,905	,069
Within Groups	5,404E+19	6	9,007E+18		
Total	9,822E+19	7			

Lampiran 13. Data Uji Statistik Antara Kelompok Perlakuan

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Unstandardized Residual
N		80
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	-.0000006
	Std. Deviation	7028911812
Most Extreme Differences	Absolute	.060
	Positive	.051
	Negative	-.060
Kolmogorov-Smirnov Z		.541
Asymp. Sig. (2-tailed)		.932

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Between-Subjects Factors

	Value Label	N
Penggunaan PS	0 Tanpa PS Klorofil	40
	1 Dengan PS Klorofil	40
Spektrum LD	1 LD Biru 445nm	40
	2 LD Merah 650nm	40
Dosis Energi	0 0J/cm2	16
	1 2,5J/cm2	16
	2 5J/cm2	16
	3 7,5J/cm2	16
	4 10J/cm2	16

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Jumlah Koloni (CFU/ml)

Penggunaan PS	Spektrum LD	Dosis Energi	Mean	Std. Deviation	N
Tanpa PS Klorofil	LD Biru 445nm	0J/cm2	52300000000	1101514109	4
		2,5J/cm2	37600000000	3860915263	4
		5J/cm2	35100000000	2169485346	4
		7,5J/cm2	29200000000	3204163958	4
		10J/cm2	23850000000	4041039470	4
		Total	35610000000	10236462177	20
	LD Merah 650nm	0J/cm2	52300000000	1101514109	4
		2,5J/cm2	37900000000	2620432534	4
		5J/cm2	38850000000	2451530134	4
		7,5J/cm2	26900000000	3609247382	4
		10J/cm2	24350000000	3586548945	4
		Total	35660000000	10442443755	20
Total		0J/cm2	52300000000	1019803903	8
		2,5J/cm2	37750000000	3058944729	8
		5J/cm2	35975000000	2338344958	8
		7,5J/cm2	28050000000	3390322361	8
		10J/cm2	24100000000	3547232322	8
		Total	35635000000	10208572794	40

Total	LD Biru 445nm	0J/cm2	4995000000	3745854852	8
		2,5J/cm2	3292500000	7000357134	8
		5J/cm2	3070000000	5758968162	8
		7,5J/cm2	2665000000	4713203339	8
		10J/cm2	2045000000	5186520992	8
		Total	3213500000	11221169325	40
	LD Merah 650nm	0J/cm2	4995000000	3745854852	8
		2,5J/cm2	2487500000	14180847244	8
		5J/cm2	2412500000	13743336047	8
		7,5J/cm2	1905000000	8825773944	8
		10J/cm2	1620000000	9045914626	8
		Total	2684000000	15770547037	40
Total		0J/cm2	4995000000	3618839593	16
		2,5J/cm2	2890000000	11575606536	16
		5J/cm2	2741250000	10730757973	16
		7,5J/cm2	2285000000	7881624198	16
		10J/cm2	1832500000	7453634460	16
		Total	2948750000	13857825783	80

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: Jumlah Koloni (CFU/ml)

F	df1	df2	Sig.
1,694	19	60	,063

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

- a. Design: Intercept + photosensitizer + laser + dosis + photosensitizer * laser + photosensitizer * dosis + laser * dosis + photosensitizer * laser * dosis

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Jumlah Koloni (CFU/ml)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,445E+22 ^a	19	7,604E+20	63,035	,000
Intercept	6,956E+22	1	6,956E+22	5786,557	,000
photosensitizer	3,023E+21	1	3,023E+21	250,633	,000
laser	5,607E+20	1	5,607E+20	46,485	,000
dosis	9,472E+21	4	2,368E+21	196,313	,000
photosensitizer * laser	5,714E+20	1	5,714E+20	47,387	,000
photosensitizer * dosis	4,575E+20	4	1,144E+20	9,481	,000
laser * dosis	1,747E+20	4	4,367E+19	3,620	,010
photosensitizer * laser * dosis	1,873E+20	4	4,684E+19	3,883	,007
Error	7,238E+20	60	1,206E+19		
Total	8,473E+22	80			
Corrected Total	1,517E+22	79			

a. R Squared = ,952 (Adjusted R Squared = ,937)

Estimated Marginal Means

1. Penggunaan PS

Dependent Variable: Jumlah Koloni (CFU/ml)

Penggunaan PS	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Tanpa PS Klorofil	35635000000	549154653,4	34536527143	36733472857
Dengan PS Klorofil	23340000000	549154653,4	22241527143	24438472857

2. Spektrum LD

Dependent Variable: Jumlah Koloni (CFU/ml)

Spektrum LD	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
LD Biru 445nm	32135000000	549154053,4	31036527143	33233472857
LD Merah 650nm	26840000000	549154653,4	25741527143	27938472857

3. Dosis Energi

Dependent Variable: Jumlah Koloni (CFU/ml)

Dosis Energi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0J/cm2	49950000000	868289746,2	48213161912	51688838088
2,5J/cm2	28900000000	868289746,2	27183161912	30636838088
5J/cm2	27412500000	868289746,2	25675661912	29149338088
7,5J/cm2	22850000000	868289746,2	21113161912	24586838088
10J/cm2	18325000000	868289746,2	16588161912	2001838088

4. Penggunaan PS * Spektrum LD

Dependent Variable: Jumlah Koloni (CFU/ml)

Penggunaan PS	Spektrum LD	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Tanpa PS Klorofil	LD Biru 445nm	35610000000	776621958,7	34056524788	37163473212
	LD Merah 650nm	35660000000	776621958,7	34106524788	37213475212
Dengan PS Klorofil	LD Biru 445nm	28660000000	776621958,7	27106524788	30213475212
	LD Merah 650nm	18020000000	776621958,7	16466524788	19573475212

5. Penggunaan PS * Dosis Energi

Dependent Variable: Jumlah Koloni (CFU/ml)

Penggunaan PS	Dosis Energi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Tanpa PS Klorofil	0J/cm2	52300000000	1227947135	49843740020	54756259980
	2,5J/cm2	37750000000	1227947135	35293740020	40206259980
	5J/cm2	35975000000	1227947135	33518740020	38431259980
	7,5J/cm2	28050000000	1227947135	25593740020	30506259980
	10J/cm2	24100000000	1227947135	21643740020	26556259980
Dengan PS Klorofil	0J/cm2	47600000000	1227947135	45143740020	50056259980
	2,5J/cm2	20050000000	1227947135	17593740020	22506259980
	5J/cm2	18850000000	1227947135	16393740020	21306259980
	7,5J/cm2	17650000000	1227947135	15193740020	20106259980
	10J/cm2	12550000000	1227947135	10093740020	15006259980

6. Spektrum LD * Dosis Energi

Dependent Variable: Jumlah Koloni (CFU/ml)

Spektrum LD	Dosis Energi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
LD Biru 445nm	0J/cm2	49950000000	1227947135	47493740020	52406259980
	2,5J/cm2	32925000000	1227947135	30403740020	35301259980
	5J/cm2	30700000000	1227947135	28243740020	33156259980
	7,5J/cm2	26650000000	1227947135	24193740020	29106259980
	10J/cm2	20450000000	1227947135	17993740020	22906259980
LD Merah 650nm	0J/cm2	49950000000	1227947135	47493740020	52406259980
	2,5J/cm2	24875000000	1227947135	22418740020	27331259980
	5J/cm2	24125000000	1227947135	21668740020	26581259980
	7,5J/cm2	19050000000	1227947135	16593740020	21506259980
	10J/cm2	16200000000	1227947135	13743740020	18656259980

7. Penggunaan PS * Spektrum LD * Dosis Energi

Dependent Variable: Jumlah Koloni (CFU/ml)

Penggunaan PS	Spektrum LD	Dosis Energi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Tanpa PS Klorofil	LD Biru 445nm	0J/cm2	52300000000	1736579492	48826323824	55773676176
		2,5J/cm2	37600000000	1736579492	34426323824	41073676176
		5J/cm2	35100000000	1736579492	31626323824	38573676176
		7,5J/cm2	29200000000	1736579492	25726323824	32673676176
		10J/cm2	23850000000	1736579492	20376323824	27323676176
	LD Merah 650nm	0J/cm2	52300000000	1736579492	48826323824	55773676176
		2,5J/cm2	37900000000	1736579492	34426323824	41373676176
		5J/cm2	36950000000	1736579492	33376323824	40323676176
		7,5J/cm2	26900000000	1736579492	23426323824	30373676176
		10J/cm2	24350000000	1736579492	20876323824	27823676176
Dengan PS Klorofil	LD Biru 445nm	0J/cm2	47600000000	1736579492	44126323824	51073676176
		2,5J/cm2	28250000000	1736579492	24776323824	31723676176
		5J/cm2	26300000000	1736579492	22826323824	29773676176
		7,5J/cm2	24100000000	1736579492	20626323824	27573676176
		10J/cm2	17050000000	1736579492	13576323824	20523676176
	LD merah 650nm	0J/cm2	47600000000	1736579492	44126323824	51073676176
		2,5J/cm2	11850000000	1736579492	8376323824	15323676176
		5J/cm2	11400000000	1736579492	7926323824	14873676176
		7,5J/cm2	11200000000	1736579492	7726323824	14673676176
		10J/cm2	8050000000	1736579492	4576323824	11523676176

Post Hoc Tests

Dosis Energi

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Jumlah Koloni (CFU/ml)

Tukey HSD

(I) Dosis Energi	(J) Dosis Energi	Mean Difference (I - J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0J/cm2	2,5J/cm2	2,1050E+10 [*]	1227947135	,000	17596448542	24503551458
	5J/cm2	2,2537E+10 [*]	1227947135	,000	19083948542	25991051458
	7,5J/cm2	2,7100E+10 [*]	1227947135	,000	23646448542	30553551458
	10J/cm2	3,1625E+10 [*]	1227947135	,000	28171448542	35078551458
0J/cm2	2,5J/cm2	2,1050E+10 [*]	1227947135	,000	17596448542	24503551458
	5J/cm2	2,2537E+10 [*]	1227947135	,000	19083948542	25991051458
	7,5J/cm2	2,7100E+10 [*]	1227947135	,000	23646448542	30553551458
	10J/cm2	3,1625E+10 [*]	1227947135	,000	28171448542	35078551458
2,5J/cm2	0J/cm2	-2,1050E+10 [*]	1227947135	,000	-2,4504E+10	-1,7586E+10
	5J/cm2	14875000000	1227947135	,745	-1966051458	4941051458
	7,5J/cm2	60500000000	1227947135	,000	2596448542	9503551458
	10J/cm2	1,0575E+10 [*]	1227947135	,000	7121448542	14028551458
5J/cm2	0J/cm2	-2,2537E+10 [*]	1227947135	,000	-2,5991E+10	-1,9084E+10
	2,5J/cm2	-14875000000	1227947135	,745	-4941051458	1966051458
	7,5J/cm2	45625000000	1227947135	,004	1108948542	8016051458
	10J/cm2	90875000000	1227947135	,000	5633948542	12541051458
7,5J/cm2	0J/cm2	-2,7100E+10 [*]	1227947135	,000	-3,0554E+10	-2,3686E+10
	2,5J/cm2	-6,0500E+9 [*]	1227947135	,000	-9503551458	-2596448542
	5J/cm2	-4,5625E+9 [*]	1227947135	,004	-8016051458	-1108948542
	10J/cm2	45250000000	1227947135	,004	1071448542	7978551458
10J/cm2	0J/cm2	-3,1625E+10 [*]	1227947135	,000	-3,5079E+10	-2,8171E+10
	2,5J/cm2	-1,0575E+10 [*]	1227947135	,000	-1,4029E+10	-7121448542
	5J/cm2	-9,0875E+9 [*]	1227947135	,000	-1,2541E+10	-5633948542
	7,5J/cm2	-4,5250E+9 [*]	1227947135	,004	-7978551458	-1071448542

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1206283333333330000,000.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Homogeneous Subsets

Jumlah Koloni (CFU/ml)

Tukey HSD^{a,b}

Dosis Energi	N	Subset			
		1	2	3	4
10J/cm2	16	18325000000			
7,5J/cm2	16		22850000000		
5J/cm2	16			27412500000	
2,5J/cm2	16			28900000000	
0J/cm2	16				49950000000
Sig		1,000	1,000	,745	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1206283333333330000,000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 16,000.

b. Alpha = ,05.

