

**TESIS**

**RANCANG BANGUN SISTEM OTOMASI DAN UJI PERFORMASI  
PIRANTI LDB *FOTOINAKTIVASI* BAKTERI *S.AUREUS* PENYEBAB  
PENYAKIT KULIT (*STUDY SECARA IN VITRO*)**



KKC  
KC  
TT. 05/17  
Hid  
r

Oleh:

**BASITHA FEBRINDA HIDAYATULAIL**

091425053003

**SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA**

**2017**



**RANCANG BANGUN SISTEM OTOMASI DAN UJI PERFORMASI  
PIRANTI LDB *FOTOINAKTIVASI* BAKTERI *S.AUREUS* PENYEBAB  
PENYAKIT KULIT (*STUDY SECARA IN VITRO*)**

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

Oleh:

**BASITHA FEBRINDA HIDAYATULAIL**

**091425053003**

**SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA**

**2017**

Lembar Persetujuan



**TESIS INI TELAH DISETUJUI  
PADA TANGGAL, 23 AGUSTUS 2017.**

**OLEH**

**Pembimbing Ketua**

**Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si.**

**NIP. 196908041994122001**

**Pembimbing**

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

**NIP. 196602121992032001**

**Mengetahui,**

**Koordinator Program Studi Magister Teknobiomedik  
Sekolah Pascasarjana Universitas Airlangga Surabaya**

**Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si.**

**NIP. 196908041994122001**

## LEMBAR ORISINILITAS TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Basitha Febrinda Hidayatulail, S.ST.

NIM : 091425053003

Prodi : Magister Teknobiomedik

Fakultas : Sekolah Pascasarjana Universitas Airlangga

Saya menyatakan bahwa tesis yang berjudul **RANCANG BANGUN SISTEM OTOMASI DAN UJI PERFORMASI PIRANTI LDB FOTOINAKTIVASI BAKTERI S.AUREUS PENYEBAB PENYAKIT KULIT (STUDY SECARA IN VITRO)** ini sepenuhnya hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan penelitian yang tercantum sebagai bagian dari tesis ini. Jika terdapat karya orang lain saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran.dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena tesis ini dan sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Airlangga.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Surabaya, 23 Agustus 2017



Basitha Febrinda Hidayatulail.  
NIM.091425053003

**Tesis ini telah diuji dan dinilai  
Oleh panitia penguji pada  
Sekolah Pascasarjana Universitas Airlangga Surabaya  
Pada tanggal 15 Agustus 2017**

**Panitia penguji**

1. Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si.
2. Prof. Dr. Moh. Yasin, M.Si.
3. Prof. Dr. Ir. Suhariningsih.
4. Endarko, M.Si,Ph.D.
5. Dr. Riries R,ST.,MT.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan tuntunan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul, “Rancang Bangun Sistem Otomasi Dan Uji Performasi Piranti LDBFotoinaktivasi Bakteri *StaphylococcusAureus* Penyebab Penyakit Kulit(*Study Secara In Vitro*)” dengan lancar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi penggunaan laser dioda 445 nm sebagai sumber cahaya dalam terapi fotodinamik inaktivasi dengan optimalisasi fotosensitizer klorofil dari ekstrak daun *Pterocarpus Indicus*, 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. Prof. Dr. Moh. Yasin selaku pembimbing, yang telah memberikan perhatian telah memberikan masukan dan bimbingan kepada penulis selama pengerjaan tesis ini.
3. Prof. Dr. Ir. Suhariningsih, Endarko, M.Si,Ph.D, 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 Rian, Mas Ramayang telah memberikan kemudahan dan bantuan sarana prasarana selama proses karakterisasi dan pengujian dilaboratorium 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. Mbak Nike, Winda, Fifa, Inda, Dadik dan Iffah 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, 15 Agustus 2017

Penulis



## RINGKASAN

Penelitian ini dengan judul Rancang bangun sistem otomasi dan uji performansi piranti ldb *fotoinaktivasi* bakteri *S.aureus* penyebab penyakit kulit (*study secara in vitro*) bertujuan untuk menganalisa uji performansi rancang bangun system otomasi piranti laser diode biru untuk fotodinamik pada bakteri patogen dengan tambahan klorofil dan oksigen eksternal.

Fotodinamik inaktivasi merupakan terapi yang menggunakan cahaya dan molekul peka cahaya disebut fotosensitizer. Hasil dari interaksi ini adalah reactive oxygen spesies (ROS). Interaksi antara cahaya dan fotosensitizer adalah penyerapan energi oleh fotosensitizer dan akan mengalami proses fotofisika. Saat penyinaran cahaya, terjadi absorpsi satu foton cahaya oleh molekul porfirin. Selama transisi elektronik satu dari elektron dieksitasikan dari keadaan dasar dengan energi rendah selanjutnya menempati orbital dengan energi yang lebih tinggi, sehingga elektron memiliki perbedaan energi dari dua keadaan elektronik molekul absorpsi. Setelah terjadi proses *Intersystem crossing* maka fotosensitizer akan mengalami proses fotokimia. Hasil proses fotokimia adalah ROS dimana ini merupakan radikal bebas dari proses fotokimia I dan oksigen singlet dari proses fotokimia 2. ROS akan berinteraksi dengan sel target sehingga terjadi kematian sel melalui proses fotobiologi. Faktor penting dalam fotodinamik adalah kesesuaian antara spektrum serap fotosensitizer dengan panjang gelombang cahaya, jumlah fotosensitizer, jumlah ROS yang dihasilkan, energi cahaya yang diserap dan lokalisasi sel target.

Rancang bangun sistem otomasi piranti laser dioda biru dilakukan berdasarkan kesesuaian karakteristik laser dioda dan karakteristik dari klorofil. Kesesuaian ini merupakan salah satu faktor penting dalam proses fotodinamik. Karakteristik laser meliputi pengukuran panjang gelombang, pengukuran steady time dan pengukuran daya keluaran. Hasil pengukuran tersebut akan dijadikan acuan dalam perancangan design system otomasi piranti. Sistem kontrol pada piranti akan diatur oleh *Main Control Unit (MCU)* yang terdiri dari mikrokontroler, MCU akan melakukan pengaturan pembagian daya keluaran dari daya masukan dan pengaturan waktu pemaparan. Pembagian daya keluaran Laser



dibagi menjadi dua yakni 16,97 mW dan 17,34 mW dan untuk pembagian waktu ada 4 variasi yakni 20s, 40s, 60s dan 80s. Setelah dibangun piranti maka dilakukan uji performansi piranti untuk proses fotodinamik. Salah satu faktor penting lain dalam fotodinamik adalah penyerapan energi cahaya yang diwakili oleh daya keluaran sumber cahaya dan waktu penyinaran.

Klorofil adalah molekul yang aktif terhadap cahaya yang dapat diperoleh di tumbuhan hijau. Klorofil yang digunakan dalam penelitian ini berasal ekstrak daun sonokembang (*Pterocarpus Indicus*). Karakteristik klorofil merupakan hasil pengukuran sifat absorbansi dimana pada konsentrasi 20% diketahui nilai efisiensi yield 95,37% untuk panjang gelombang 431 nm.

Kelompok perlakuan dibagi menjadi 6 kelompok yaitu kelompok sampel tanpa adanya perlakuan, kelompok sampel dengan penambahan klorofil, kelompok sampel dengan penyinaran, kelompok sampel dengan penambahan oksigen, kelompok sampel dengan penyinaran laser dan klorofil dan kelompok sampel dengan memadukan laser, klorofil dan oksigen. Dari hasil perlakuan diperoleh bahwa keseluruhan kelompok sampel perlakuan memiliki penurunan koloni namun secara statistik tidak memiliki perbedaan jika dibandingkan dengan kelompok sampel tanpa perlakuan. Hasil yang memiliki penurunan koloni terbanyak sebesar 17% log CFU/mL adalah kelompok sampel dengan penyinaran laser selama 40 detik dengan nilai rapat energi  $6,7854 \text{ J/cm}^2$  dan penambahan klorofil.



## SUMMARY

This research aims to Design and manufacturing of automation system and performance test of LDB device photoinactivation of S.aureus bacteria causing skin disease (study in vitro) to analyze the design performance of automation system design of laser diode blue to photodynamic device in pathogenic bacteria with additional chlorophyll and external oxygen .

Photodynamic inactivation is a therapy that uses light and light-sensitive molecules called photosensitizers. The result of this interaction is the reactive oxygen species (ROS). The interaction between light and photosensitizer is the energy absorption by the photosensitizer and will undergo the photophysical process. When light irradiation occurs, one light photon absorbs by the porphyrin molecule. During an electronic transition one of the electrons is excited from the ground state with low energy then occupying the orbitals with higher energy, so the electrons have the energy difference from the two electronic states of absorption molecules. After the process of Intersystem crossing the photosensitizer will experience the process of photochemistry. The result of photochemical process is ROS which is free radical from photochemistry process 1 and singlet oxygen from photochemical process 2. ROS will interact with target cell so that cell death occurs through photobiology process. An important factor in photodynamics is the suitability between the photosensitizer absorption spectrum with the wavelength of light, the number of photosensitizers, the amount of ROS produced, the energy of the absorbed light and the localization of the target cell.

The design of the blue laser diode laser automation system is based on the suitability of diode laser characteristics and characteristics of chlorophyll. This conformity is an important factor in the photodynamic process. Laser characteristics include wavelength measurements, steady time measurements and output power measurements. The results of these measurements will be used as a reference in the design of automation system design tools. The control system of the device will be governed by the Main Control Unit (MCU) consisting of a microcontroller, the MCU will perform the distribution of output power from

input power and exposure time setting. The distribution of Laser output power is divided into two namely 16.97 mW and 17.34 mW and for the division of time there are 4 variations ie 20s, 40s, 60s and 80s. After the device is built then do the device performance test for the photodynamic process. Another important factor in photodynamics is the absorption of light energy that is represented by the light source's output power and the exposure time.

Chlorophyll is a molecule that is active against the light that can be obtained in green plants. Chlorophyll used in this study derived the extract of sonokembang leaf (*Pterocarpus Indicus*). Characteristic of chlorophyll is result of measurement of absorbance properties where at concentration 20% known yield efficiency value 95,37% for wavelength 431 nm.

The treatment group was divided into 6 groups ie the sample group without any treatment, the sample group with the addition of chlorophyll, the sample group with irradiation, the sample group with the addition of oxygen, the sample group with laser irradiation and chlorophyll and group of samples by combining laser, chlorophyll and oxygen. From the treatment result, it was found that the whole of the treatment sample group had decreased colony but statistically did not have difference when compared with the sample group without treatment. The results that had the largest decrease of colonies of 17% log CFU / mL were samples with laser irradiation for 40 seconds with energy density values 6,7854 J/cm<sup>2</sup> and addition of chlorophyll.

**BASITHA FEBRINDA HIDAYATULAIL. 091425053003. Design Device Automation System of Blue Diode Laser in Photoinactivation Bacteria for Infection Therapy of Staphylococcus aureus Bacteria on Skin Deases in vitro. Thesis supervised by Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si. and Prof. Dr. Moh. Yasin, M.Si., Master of Biomedical Engineering Program, Sekolah Pascasarjana, Airlangga University**

---

## ABSTRACT

This research aimed to evaluate design and manufacturing of automation system of blue laser for photodynamic pathogenic bacteria with adding chlorophyl and external oxygen. Light source was blue laser diode, chlorophyl was from extract leaves of sonokembang and oxygen source was gas cylinder. pathogenic bacteria was S.aureus bacteria. Treatment groups was divided to be 6 groups i.e. sample group without treatment, sample group with adding klorofil, sample group with laser irradiation, sample group with adding oxygen, sample group with laser irradiation and adding oxygen and sample group with combination of three parameter. Result of treatment illustrated that all treatment showed decrease colony but they were not different with sample group without treatment. Result of treatment which had more decrease colony was sample group with laser irradiation for 40 s and adding chlorophyl. The explanation about treatment will be discussed in discussion.

Keywords: photodynamic, laser, chlorophyl, oxygen, S.aureus.





## DAFTAR ISI

	Halaman
Lembar Persetujuan .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
RINGKASAN .....	vii
SUMMARY .....	ix
ABSTRACT .....	xi
DAFTAR ISI .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xixv
DAFTAR TABEL .....	xv xviii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Batasan Masalah .....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	8
2.1 Fotodinamik Terapi .....	8
2.2 Cahaya .....	9
2.2.1. Laser Dioda .....	11
2.2.2. Serat Optik .....	15
2.3 Interaksi Cahaya Terhadap Jaringan .....	16
2.4 Fotosensitizer.....	19
2.4.1 Klorofil.....	20
	xii

2.5	Interaksi Cahaya Dengan Molekul .....	23
2.5.1	Fotofisika .....	23
2.5.2	Fotokimia .....	24
2.5.3	Fotobiologi .....	26
2.6	Infeksi Kulit .....	27
2.7	Bakteri S.aureus .....	28
2.8	Piranti PDI untuk Terapi Dermatologi .....	29
2.9	LCD .....	31
2.10	Keypad .....	32
2.11	IC Driver .....	33
2.12	Mikrokontroler .....	35
<b>BAB III KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN</b>		
.....		39
3.1	Kerangka Konseptual .....	39
3.2	Hipotesis Penelitian .....	43
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		44
4.1	Tahapan Pertama Penelitian .....	45
4.2	Tahapan Kedua Penelitian .....	55
4.3	Analisis Data .....	66
<b>BAB V HASIL DAN ANALISIS</b>		68
5.1	Pembuatan Sistem Otomasi Piranti LDB Inaktivasi .....	68
5.1.1	Karakterisasi Laser Dioda Biru .....	68
5.1.2	Driver Laser Dioda .....	74
5.1.3	Rangkaian Interface LCD dan Input Keypad .....	75
5.1.4	Sistem Otomasi Pengendali Instrumen .....	76
5.2	Uji Performansi Instrumen .....	79

5.2.1	Pengujian Daya <i>Input</i> Terhadap Daya <i>Output</i> dengan atau tanpa serat optik	80
5.2.2	Pengujian Luas Berkas Laser Terhadap Jarak .....	81
5.2.3	Pengujian Temperatur Terhadap Waktu .....	82
5.2.4	Pengujian Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Jarak .....	84
5.3	Hasil ekstraksi Photosensitizer Daun Angsana ( <i>P.Indicus</i> ).....	85
5.3.1	Spektrum Serap Fotosensitizer .....	86
5.4	Penghitungan Rapat Energi yang terserap oleh fotosensitizer ...	88
5.5	Hasil Perlakuan Photodynamic pada Bakteri dengan Piranti LDB . .....	89
5.5.1.	Hasil Perlakuan Kelompok Laser .....	90
5.5.2.	Hasil Perlakuan Kelompok Laser dengan Penambahan Klorofil .....	91
5.5.3.	Hasil Perlakuan Kelompok Laser dengan Penambahan Oksigen .....	91
5.5.4.	Hasil Perlakuan Kelompok Laser dengan Penambahan Klorofil dan Oksigen .....	92
5.5.5.	Uji ANOVA Faktorial pada Persentase Penurunan Koloni ....	93
BAB VI PEMBAHASAN .....		97
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN .....		105
7.1	Kesimpulan.....	105
7.2	Saran .....	105
DAFTAR PUSTAKA .....		107

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Rekombinasi Terjadi Karena Pemberian Tegangan (Raulin & Karsai, 2011).....	12
Gambar 2. 2. Emisi Spontan Menginduksi Emisi Terstimulasi .....	12
Gambar 2. 3. Pancaran Cahaya Laser Dioda (Bachmann, Loosen, & Poprawe, 2007) .....	13
Gambar 2. 4. Berkas Laser Dioda (Hasan & Lee, 2015) .....	14
Gambar 2. 5. Perambatan Cahaya Pada Fiber Optik (Prasad, 2003) .....	15
Gambar 2. 6. Pengaruh Penyelarasan Berkas Cahaya Masuk Terhadap keluaran Fiber Optik (Prasad, 2003).....	16
Gambar 2. 7. Peristiwa (a) Pembiasan dan (b) Pemantulan (Plaetzer <i>et al.</i> , 2009) 16	16
Gambar 2. 8. Peristiwa Hamburan Cahaya (Plaetzer <i>et al.</i> , 2009) .....	17
Gambar 2. 9. Peristiwa Absorpsi Cahaya (Plaetzer <i>et al.</i> , 2009).....	17
Gambar 2. 10. Pemetaan Interaksi Cahaya Terhadap Jaringan (Niemz, 2007) .....	18
Gambar 2. 11. Spektrum Serap Klorofil Dari Ekstrak Daun Sonokembang ( <i>Pterocarpus Indicus</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. Bentuk mikroskopis <i>S. aureus</i> ( <a href="http://www.bacteriaainphotos.com/Staphylococcus%20aureus%20electron%20microscopy.html">http://www.bacteriaainphotos.com/Staphylococcus%20aureus%20electron%20microscopy.html</a> ).....	29



Gambar 2. 15 Blu-U (DUSA Pharmatheuricals, Wilmington, MA).....	30
Gambar 2. 16Pin LCD 16x2 (LCD datasheet).....	32
Gambar 2. 17Kenampakan LCD 16x2 (LCD datasheet).....	32
Gambar 2. 18Kenampakan keypad (keypad catalogue).....	33
Gambar 2. 19 konfigurasi PIN IC L298N.....	34
Gambar 2. 20Board Arduino ATmega328(sumber : Arduino datasheet).....	37
Gambar 3. 1Kerangka Konseptual Penelitian.....	39
Gambar 4. 1Diagram Alir penelitian.....	44
Gambar 4. 2Blok Diagram sistem otomasi pirantiLDB inaktivasi.....	46
Gambar 4. 3.Rancangan <i>Main Control Units</i> sistem otomasi.....	47
Gambar 4. 4Diagram Alir sistem otomasi pirantiLDB inaktivasi.....	48
Gambar 4. 5. Diagram Penyinaran Sampel.....	65
Gambar 5. 1Grafik Karakterisasi Panjang gelombang Terhadap Daya <i>Output</i> Laser Dioda 445 nm.....	69
Gambar 5. 2. Grafik Karakterisasi Kestabilan Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Waktu Paparan Laser Dioda 445 nm.....	70
Gambar 5. 3Grafik Karakterisasi Daya <i>Input</i> Terhadap Daya <i>Output</i> Laser Dioda 445 nm.....	71
Gambar 5. 4Grafik Karakterisasi Luas Berkas Laser Terhadap Perubahan Jarak Laser Dioda 445 nm.....	72
Gambar 5. 5Grafik Karakterisasi Temperatur Paparan Setiap Daya <i>Output</i> Laser Terhadap Perubahan Waktu Paparan Laser Dioda.....	73
Gambar 5. 6Konfigurasi Rangkaian <i>Driver laser</i> dengan <i>H-Bridge</i> L298N.....	74
Gambar 5. 7Schematic arduino uno dengan LCD 16x2 dan keypad 4x4.....	75

Gambar 5. 9	Grafik Pengujian Luas Berkas Terhadap Perubahan Jarak. ....	82
Gambar 5. 10	Grafik Pengujian Peningkatan Temperatur Terhadap waktu. ....	83
Gambar 5. 11	Grafik Pengujian Daya <i>Output</i> Laser Terhadap jarak.....	84
Gambar 5. 12	Spektrum serap pada fotosensitizer (a). Klorofil dan (b). <i>S.aureus</i>	87
Gambar 5. 14	Hasil analisis kelompok laser dengan kelompok daya keluaran. ....	90
Gambar 5. 15	Hasil analisis kelompok laser dan penambahan klorofil.....	91
Gambar 5. 16	Hasil analisis kelompok laser dan penambahan oksigen .....	92
Gambar 6.1	Hasil Keseluruhan kelompok perlakuan dengan daya keluaran laser (a) 16,97 mW dan (b) 17,39 mW.....	103

**DAFTAR TABEL**

Tabel 5. 1 Tabel konfigurasi PIN Arduino UNO .....	75
Tabel 5. 2 Perbandingan Daya <i>Output</i> Laser Dioda .....	81
Tabel 5. 3 Penghitungan persentase efisiensi kuantum absorbansi pada photosensitizer.....	87
Tabel 5. 4 Penghitungan rapat energi yang diserap oleh setiap molekul fotosensitizer .....	88
Tabel 5. 6 Hasil Post Hoc Tukey pada kelompok waktu .....	93
Tabel 6. 1 Jumlah Koloni Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> (CFU/mL) .....	102

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Karakterisasi Laser .....	112
LAMPIRAN 2 Coding Sistem Otomasi .....	120
LAMPIRAN 3 Karakterisasi Piranti.....	128
LAMPIRAN 4 Nilai Absorbansi Klorofil .....	136
LAMPIRAN 5 Uji Pengenceran Kultur Bakteri.....	139
LAMPIRAN 6 Uji Fotodinamik.....	142
LAMPIRAN 7 Hasil Uji Statistik.....	146



# BAB I PENDAHULUAN



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Kulit merupakan pembungkus yang elastik yang melindungi tubuh dari pengaruh lingkungan. Salah satu bagian tubuh manusia yang sangat cukup sensitif terhadap berbagai macam penyakit adalah kulit. Lingkungan yang sehat dan bersih akan membawa efek bagi kulit. Demikian pula sebaliknya, lingkungan yang kotor akan menjadi sumber munculnya berbagai macam penyakit antara lain penyakit kulit (Harahap, 2000).

Infeksi kulit disebabkan oleh bakteri patogen (Kobayashi, Malachowa, & Deleo, 2015). Salah satu bakteri patogen adalah bakteri *Staphylococcus aureus*. Bakteri ini merupakan bakteri Gram (+) yang hidup di hidung, tenggorokan dan kulit manusia. Penanganan pertama yang dilakukan untuk infeksi kulit adalah pemberian obat antibiotik atau antimikroba. Namun, pemberian obat antibiotic dengan dosis yang tidak tepat dan pemberian dalam jangka waktu yang panjang dapat menyebabkan bakteri ini resisten terhadap obat. Resistensi bakteri pada obat tersebut disebabkan oleh *efflux pump* yaitu enzim yang dihasilkan oleh bakteri (He & Ahn, 2011). Untuk itu, diperlukan pengobatan yang efektif tanpa menyebabkan resisten. Salah satu pengobatan efektif adalah Photodynamic therapy.

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).

Fotosensitizer adalah molekul yang peka terhadap cahaya. Fotosensitizer dapat dihasilkan secara alamiah dalam tubuh maupun melalui rekayasa material. Fotosensitizer yang dihasilkan oleh tubuh disebut fotosensitizer endogen. Salah satunya adalah porphyrin. Secara alamiah, porphyrin diperoleh melalui biosintesis heme (Beale, 1990). Jenis porphyrin di dalam bakteri *S.aureus* adalah Uroporphyrin (Y Nitzan & Kauffman, 1999) dan Coproporphyrin III (Yeshayahu Nitzan, Salmon-Divon, Shporen, & Malik, 2004). Spektrum serap dari porphyrin berada pada cahaya biru. Fotosensitizer yang dihasilkan melalui rekayasa material disebut fotosensitizer eksogen. Salah satu fotosensitizer eksogen adalah klorofil (Brandis, Salomon, & Scherz, 2006). Klorofil merupakan pigmen hijau yang dapat ditemukan pada kloroplas tanaman (Kusmita & Limantara, 2009). Selain pada tanaman, klorofil juga ditemukan pada alga dan bakteri. Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Astuti *et al* menggunakan klorofil sebagai fotosensitizer dalam photoinaktivasi bakteri *Streptococcus* mutan menghasilkan presentase kematian lebih tinggi dibandingkan tanpa menggunakan klorofil sebagai fotosensitizer (Astuti, Zaidan, Setiawati, & Suhariningsih, 2016).

Interaksi antara cahaya dan fotosensitizer menyebabkan terjadinya proses photosensitisasi (Castano, Demidova, & Hamblin, 2004). Proses ini dimulai dari

proses fotofisika. Proses ini dapat terjadi jika panjang gelombang sumber cahaya sesuai dengan spektrum serap photosensitizer. Proses fotofisika dimulai dari penyerapan cahaya. Penyerapan ini akan menyebabkan fotosensitizer mengalami kenaikan keadaan dari singlet dasar menuju eksitasi singlet melalui internal conversion atau vibrasi. Jika fotosensitizer cukup memiliki energi pada keadaan eksitasi singlet, maka fotosensitizer dapat menuju ke keadaan triplet melalui intersystem crossing (ISC). Fotosensitizer di keadaan triplet akan mengalami proses fotokimia. Proses ini terdiri dari dua tahap dimana proses pertama photosensitizer akan berinteraksi dengan molekul biologis lain menghasilkan radikal bebas, kemudian proses kedua fotosensitizer akan berinteraksi dengan oksigen menghasilkan oksigen singlet (Castano, Demidova, & Hamblin, 2005). Kedua hasil dari proses fotokimia tadi akan merusak sel target melalui proses fotobiologi. Faktor pendukung keberhasilan ini adalah kesesuaian antara panjang gelombang sumber cahaya dan spektrum serap fotosensitizer, jumlah fotosensitizer, jumlah ROS yang dihasilkan dan dosis energi yang diserap oleh photosensitizer yaitu daya dan waktu pemaparan cahaya.

Kematian sel target dapat terjadi melalui proses fotobiologi. Proses fotobiologi akan menyebabkan hasil produk dari proses fotokimia yaitu Reactive Oxygen Species (ROS) yang akan berinteraksi dengan sel target. Jika jumlah ROS yang dihasilkan banyak maka hasil kematian sel juga meningkat (Maisch et al., 2007). Salah satu cara menambah ROS adalah menambah oksigen secara eksternal.

Penyerapan energi dari cahaya oleh fotosensitizer berpengaruh pada proses PDT. Proses penyerapan cahaya pada fotosensitizer merupakan salah satu proses



fotokimia. Proses fotokimia dapat terjadi jika energi yang diserap tepat sehingga dapat menghasilkan ROS (Beyer, 1996). Penyerapan energi dapat dilakukan dengan daya keluaran dari sumber cahaya dan waktu penyinaran. Salah satu sumber cahaya adalah laser yang memiliki panjang gelombang yang monokromatis (Jode et al., 1997).

Pada penelitian sebelumnya tentang fotodinamik menggunakan PDI – LED dengan panjang gelombang 430 nm dan 629 nm untuk inaktivasi bakteri *Staphylococcus aureus* penyebab infeksi pada luka menunjukkan 75% bakterinya mati, menunjukkan efektifitas penyembuhan luka secara *in vivo* karena infeksi bakteri *Staphylococcus aureus* pada pemaparan LED merah dan biru sebesar 95%(Astuti, et al, 2011). Pada penelitian lain menggunakan klorofil sebagai *photosensitiser* eksogen dikombinasikan dengan laser dioda 405nm selama 75 detik dengan intensitas energi  $25 \text{ J/cm}^2$  di jarak 1,5 cm dapat menyebabkan kematian bakteri *S. mutan* hingga mencapai 74% (Astuti et al., 2016). Dari penelitian terdahulu, waktu dan daya yang digunakan cukup tinggi sehingga, berpotensi mengganggu kenyamanan saat proses terapi.

Mengacu pada penelitian sebelumnya maka pada penelitian ini dilakukan rancang bangun sistem otomatisasi piranti laser diode biru (LDB) inaktivasi bakteri dengan sumber cahaya dari laser diode dengan panjang gelombang 445 nm. Proses pengujian piranti akan dilakukan dua tahap yang pertama dilakukan karakterisasi piranti berupa normalisasi daya, panjang gelombang dan temperature yang dihasilkan yang kedua akan dilakukan pengujian fotodinamik dengan menggunakan bakteri *S.aureus* secara *in vitro*. Pada pengujian fotodinamik digunakan dua variasi daya dan 4 variasi waktu untuk mendapatkan nilai dosis

energipaling efektif yang mampu menyebabkan kematian bakteri *S.aureus* paling banyak.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana performansi daya keluaran dari piranti Laser Dioda Biru (LDB) terhadap masukan daya?
2. Bagaimana pengaruh penambahan klorofil dan oksigen pada proses penyinaran?
3. Berapa rapatenergi penyinaranyang efektif dengan menggunakan piranti Laser Dioda Biru (LDB) untuk mereduksi koloni bakteri *S.aureus* ?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya maka di berikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser biru dengan panjang gelombang dan daya yang telah diukur melalui proses karakterisasi panjang gelombang menggunakan monokromator JASCO CT10 dan daya keluaran laser menggunakan powermeter Thorlab PM100D.
2. Pengaturan kontrol pada piranti Laser Dioda Biru hanya dilakukan pembagian waktu dan daya keluaran menggunakan mikrokontroler ATMega 328 pada Arduino UNO untuk mengatur *diver laser diode IC H-Bridge L298N*.

3. Fotosensitizer yang digunakan adalah klorofilhasil ekstraksi dari daun *Pterocarpus Indicus*.
4. Pengujian proses *fotodinamik* pada bakteri *S.aureus* dilakukan secara *in vitro* dengan media air fisiologis pada *PCR tube*.
5. Parameter yang diamati dari proses *fotodinamik inaktivasi* adalah jumlah koloni yang hidup atau bertahan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

##### **1. Tujuan Umum**

Tujuan penelitian untuk menghasilkan piranti Laser Dioda Birudengan panjang gelombang 445nm (terukur) sehingga mencapai nilai efektivitas yang baik dan dapat digunakan sebagai referensi oleh para tenaga medis untuk proses inaktivasi bakteri *S.aureus*.

##### **2. Tujuan Khusus**

- a. Menganalisis performansi daya keluaran terhadap daya masukan pada piranti Laser Dioda Biru.
- b. Menganalisis pengaruh penambahan klorofil dan oksigen pada proses penyinaran.
- c. Menganalisis rapat energi penyinaran yang efektif pada piranti Laser Dioda Biru yang mampu mereduksi bakteri *S.aureus* yang maksimal.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Manfaat Teoritis

Melalui penelitian ini mahasiswa diharapkan mampu meningkatkan pengetahuan dan wawasan serta dapat mengaplikasikan ilmu yang didapat di perguruan tinggi untuk berkehidupan di masyarakat.

### 2. Manfaat Praktis

Melalui penelitian ini mahasiswa diharapkan mampu memberikan informasi yang bersifat ilmiah tentang bagaimana perancangan piranti *Blue Laser AntiMicrobial* untuk proses inaktivasi bakteri *S.aureus* secara *in vitro*.

**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 kanker 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 fotosensitizer eksogen pada sel atau sekitar jaringan ganas yang akan diterapi. Pemberian fotosensitizer 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 fotosensitizer 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 fotosensitizer dan berkas cahaya, yang bersifat non toksik ketika digunakan secara terpisah. Saat fotosensitizer 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 fotosensitizer yang peka terhadap cahaya, dimana porfirin endogen umumnya dimiliki bakteri yang produksinya dapat ditingkatkan dengan penambahan zat eksogen (Nitzan *et al.*, 2004). Proses fotosensitisasi dipengaruhi kesesuaian panjang gelombang cahaya dengan spektrum serap molekul fotosensitizer 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 fotosensitizer 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 fotosensitizer 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 fotosensitizer agar terjadi penyerapan foton cahaya oleh molekul fotosensitizer. Rapat daya adalah daya radiasi cahaya per luas area penyinaran ( $\text{watt/cm}^2$ ), merupakan banyak foton cahaya yang dikirim tiap luasan penyinaran dan sering diistilahkan dengan intensitas. Kemudian rapat energi adalah lama waktu penyinaran rapat daya, atau daya radiasi kali lama waktu dibagi luas area penyinaran ( $\text{J/cm}^2$ ).

Hubungan antara banyak foton cahaya yang mempengaruhi rapat energi dapat dituliskan sebagai berikut, (Grossweiner, Grossweiner, & Rogers, 2005)

$$E = \frac{P}{A} \cdot t = n \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

Dengan,

E = Rapat energi ( $\text{J/cm}^2$ )

P = Daya (watt)

A = Luas area paparan ( $\text{cm}^2$ )

t = Lama waktu paparan (s)

n = Jumlah foton

h = Konstanta planck ( $6,63/10^{34} \text{ J/s}$ )

c = kecepatan cahaya ( $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ )

$\lambda$  = Panjang gelombang (nm atau  $10^{-9} \text{ m}$ )

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



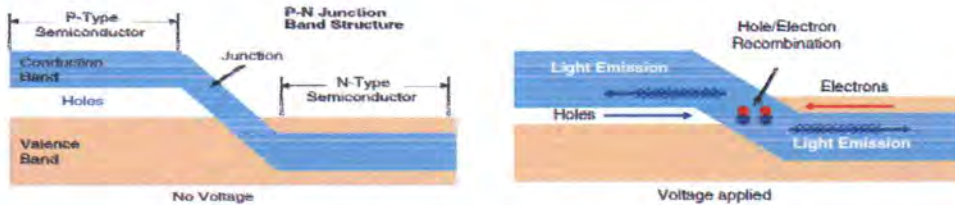
macam jenis laser yang diklasifikasikan dari dasar *pumping process*, medium laser dan *temporal feature* yang digunakan untuk memperoleh cahaya terstimulasi, tapi yang sering digunakan pada penelitian fotodinamik adalah laser dioda. Umumnya penggunaan laser dikombinasikan dengan serat optik yang berguna 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).

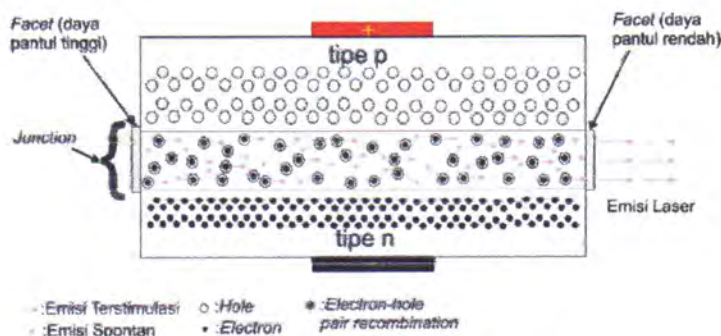
Semikonduktor yang digunakan adalah gabungan material tipe p (memiliki banyak *hole* sehingga bermuatan positif dan termasuk dalam pita valensi) dan material tipe n (memiliki banyak elektron sehingga bermuatan negatif dan termasuk dalam pita konduksi). Ketika semikonduktor dengan pita struktur berbeda 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).



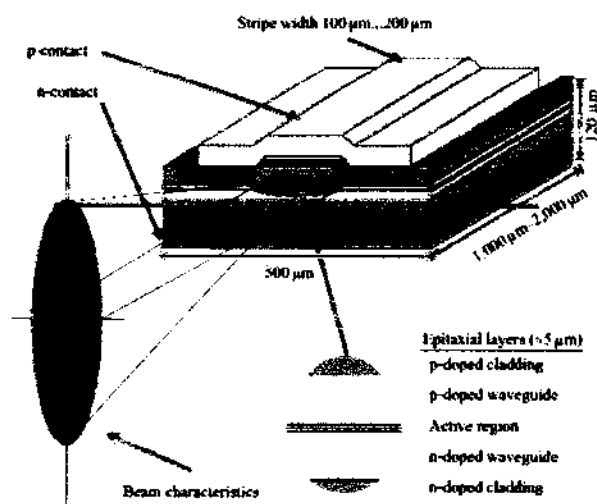
Gambar 2. 1. Rekombinasi Terjadi Karena Pemberian Tegangan (Raulin & Karsai, 2011)

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).



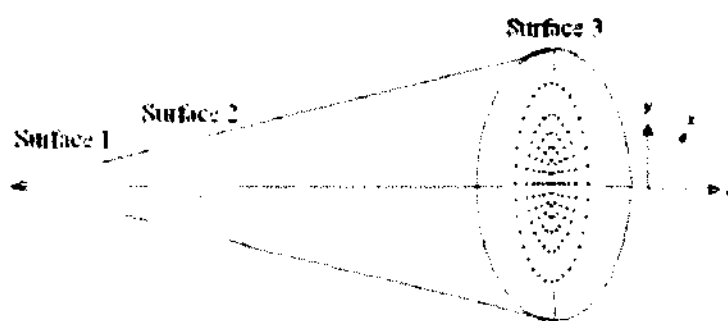
Gambar 2. 2. Emisi Spontan Menginduksi Emisi Terstimulasi (Csele, 2004)

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.

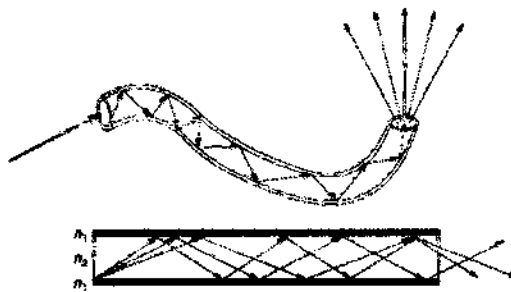
Laser dioda memiliki kelebihan dibandingkan sistem laser yang lain (Pospiech & Liu, 2004), antara lain:

- 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).

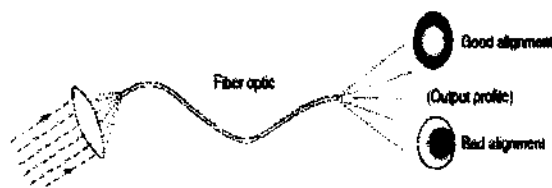
### 2.2.2. Serat Optik

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)

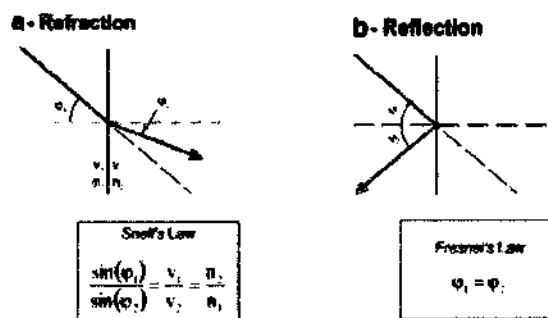
Cahaya dapat ditangkap dari ujung satu fiber optik dan berakhir ke ujung lain karena *total internal reflection* antara serat (*core*) dengan bahan lapisan luar (*cladding*). *Total internal reflection* terjadi karena terdapat perbedaan indeks bias antara indeks bias *core* ( $n_2$ ) dan indeks bias *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

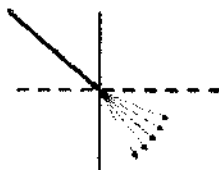
Interaksi cahaya terhadap jaringan diawali dengan perambatan cahaya melewati medium dengan melibatkan peristiwa pembiasan (*refraction*), pemantulan (*reflection*), penyerapan (*absorption*) dan hamburan (*scattering*).



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

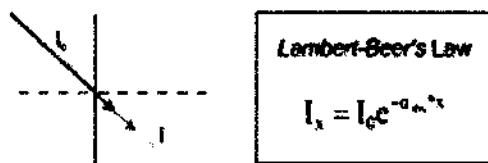
Peristiwa pembiasan dan pemantulan cahaya melalui dua medium dijelaskan dalam hukum Snellius dan hukum Fresnel. Pada hukum Snellius,  $\phi_1$  adalah sudut datang dan  $\phi_2$  sudut bias sinar terhadap garis normal,  $v_1$  dan  $v_2$  adalah kecepatan sinar datang dan sinar bias, kemudian  $n_1$  dan  $n_2$  adalah indeks bias medium sinar datang dan medium yang dilalui sinar bias. Pada hukum Fresnell,  $\phi_1$  adalah sudut datang dan  $\phi_2$  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 ( $\text{W.m}^{-2}$ ) serta kesesuaian pengarahannya ke target.

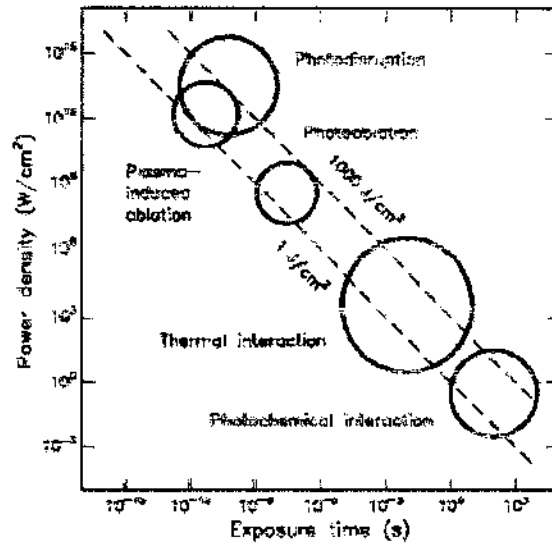


Gambar 2. 9. Peristiwa Absorpsi Cahaya (Plaetzer *et al.*, 2009)

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  $\alpha_{abs}$  merupakan konstanta absorpsi. Karena hamburan ikut berpengaruh, maka koefisien hamburan ( $\alpha_{sca}$ ) diikuti sertakan. Sehingga besarnya intensitas cahaya yang diserap jaringan dihitung dengan persamaan;

$$I_x = I_0 e^{-(\alpha_{abs} + \alpha_{sca}) \cdot x} \quad (2.2)$$

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

## 2.4 Fotosensitizer

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

Syarat fotosensitizer 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

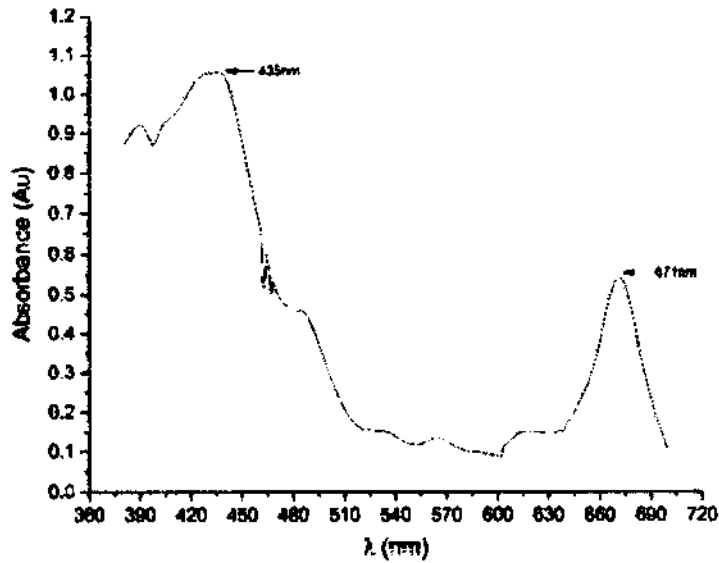
#### 2.4.1 Daun Angsana (*P.Indicus*)

Rupa Angsana Tinggi mencapai 30-40 m dengan tajuk yang lebat. Kadang tumbuh dengan batang berbonggol dan akar papan. Kayu mengeluarkan cairan merah tua. Daun berbentuk menyirip dengan jumlah genap. Pangkal lembaran daun bundar dengan ujung meruncing. Permukaan daun licin. Panjang daun 12-22 cm terdiri dari 5-11 lembaran anak daun. Tepian daun rata, tetapi daun terlihat sedikit bergelombang. Bunga muncul di ketiak daun. Tangkai bunga sepanjang 6-15 cm. Di Indonesia dan Filipina, musim berbunga sekitar Februari hingga Mei. Kelopak bunga seperti lonceng. Warna bunga kuning hingga jingga kekuningan. Sedikit berbau harum. Berkelamin ganda. Bunga mekar penuh selama satu hari. Bunga mekar dalam kondisi cukup air terutama setelah hujan. Buah: Umumnya hanya beberapa bunga yang terbentuk menjadi buah. Polong buah tertutup berbentuk semiorbikular Pucuk berbunga berdiameter 2-3 cm dikelilingi sayap bermembran (samara) 4-6 cm yang membantu penyebaran biji di perairan. Buah terlihat pipih tipis dengan bagian tengah agak menebal dan pinggiran sedikit bergelombang. Buah berwarna hijau muda kemudian berubah cokelat ketika kering. Ketebalan buah 5-8 mm. Biji berbentuk memanjang seperti buncis. Satu buah memiliki 1-4 biji. Panjang 6-8 mm.

Kandungan kimia dari daun mengandung loliolide 1 dan paniculatadiol 2. Sementara bunganya mengandung lupeol 3 dan phytol esters 4. Pada penelitian kayu teras *Pterocarpus indicus* ditemukan adanya formononetin, isoliquiritigenin, (-)-p-hydroxyhydratropic acid, dan 2-arylbenzofuran. Angolensin dan pterocarpin yang ditemukan pada penelitian sebelumnya juga berhasil diisolasi.

#### 2.4.2 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 fotosensitizer karena energi foton yang diserap ketika fotosintesis menyebabkan terjadi eksitasi *singlet* klorofil yang relatif lama ( $\leq 10^{-6}$  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 Sonokembang  
(*Pterocarpus Indicus*)

Dengan mengetahui hubungan absorbansi dan spektrum cahaya dari klorofil yang diekstrak dari daun Sonokembang (*Pterocarpus Indicus*), 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 fotosensitizer dan *t* adalah transmitansi. Nilai transmitansi yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk perhitungan persentasi absorbansi fotosensitizer sebagai berikut.

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

Nilai persentasi absorpsi fotosensitizer diistilahkan dengan *quantum yield*. Dengan mengalikan persentase absorpsi dengan dosis energi cahaya yang dipaparkan, maka akan diperoleh dosis energi cahaya yang diserap oleh fotosensitizer. Dosis energi yang diserap fotosensitizer berhubungan dengan

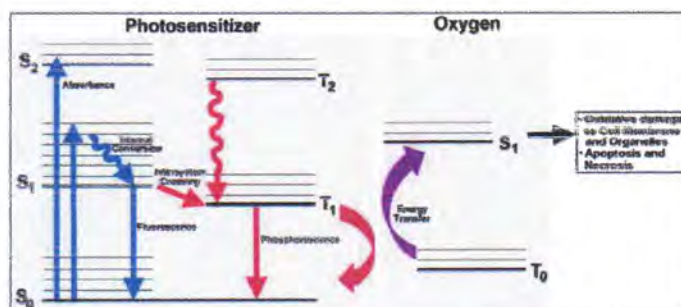
energi yang menyebabkan terjadi eksitasi molekul fotosensitizer endogen (*porfirin*) atau eksogen (klorofil), dengan terjadinya ISC akan terbentuk molekul *triplet* yang dibutuhkan pada proses fotodinamik untuk menghasilkan ROS.

## 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

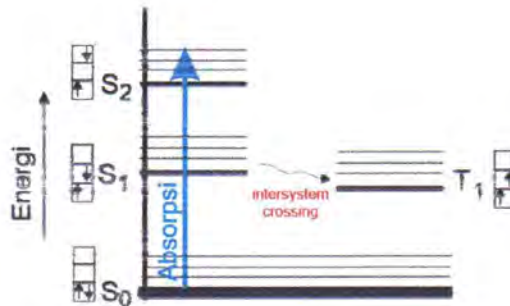
Fotofisika merupakan proses yang terjadi pertama kali saat PDT berlangsung. Proses tersebut terjadi karena penyerapan energi foton oleh molekul fotosensitizer yang memicu terjadinya *electronic transfer state*. Peristiwa *electronic transfer state* pada metode fotodinamik dijelaskan dalam diagram Jablonski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



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

Pada keadaan normal, molekul fotosensitizer berada di tingkat dasar (konfigurasi elektron tingkat energi orbital terendah) dan dalam kondisi *singlet*. Hal tersebut diistilahkan dengan *ground state*, S<sub>0</sub>. Ketika dilakukan pemaparan berkas cahaya dan terjadi penyerapan energi foton, elektron akan berpindah ke

tingkat energi orbital lebih tinggi dan terjadi eksitasi *singlet state*,  $S_x$  ( $x=1, 2, 3\dots$  tergantung pada peningkatan energi (Plaetzer *et al.*, 2009).



Gambar 2. 13. Eksitasi Singlet Karena Absorpsi Energi Foton dan Jalur Peluruhan *Intersystem Crossing* (Plaetzer *et al.*, 2009).

Molekul fotosensitizer 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). Fotosensitizer pada eksitasi *triplet state* akan mempengaruhi molekul lain (misalnya oksigen) dengan memicu proses fotokimia.

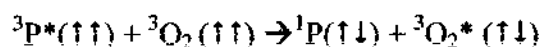
### 2.5.2 Fotokimia

Fotokimia merupakan proses yang terjadi setelah proses fotofisika. Fotosensitizer yang tereksitasi *triplet state* akan kembali ke keadaan

*singletground 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, Fotosensitizer yang tereksitasi *triplet state* akan bereaksi dengan H<sub>2</sub>O 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 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 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 Fotosensitizer yang tereksitasi *triplet state* dengan molekul oksigen *triplet* (<sup>3</sup>O<sub>2</sub>), menghasilkan eksitasi oksigen *singlet* (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>\*) (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.

### 2.5.3 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). Fotosensitizer 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 Infeksi Kulit

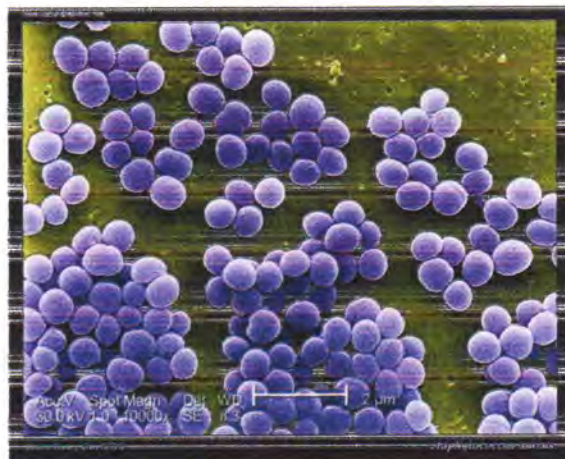
Kulit, yang meliputi dan melindungi tubuh, merupakan garis pertahanan tubuh pertama terhadap patogen. Sebagai barier fisik, hampir tidak mungkin suatu pathogen dapat menembus kulit yang utuh. Namun demikian mikroba dapat masuk melalui lesi kulit yang tidak nampak, sehingga beberapa mikroba dapat menembus kulit utuh. Kulit adalah tempat yang tidak ramah bagi kebanyakan mikroorganisme karena sekresi kulit bersifat asam dan sebagian besar kulit kelembabannya sangat rendah.

Beberapa bagian dari tubuh, seperti aksila dan daerah sela-sela kaki, memiliki kelembaban yang cukup tinggi untuk memberi kesempatan populasi bakteri relatif besar berada pada daerah-daerah tersebut. Di area yang lebih kering seperti kulit kepala, biasanya jumlah mikroorganisme ditemukan dalam jumlah yang kecil. Beberapa mikroba yang berkolonisasi pada kulit dapat menyebabkan penyakit.

Infeksi mikroba pada kulit biasanya ditularkan melalui kontak dengan individu yang terinfeksi dan apabila kulit ditembus oleh mikroorganisme maka dapat terjadi infeksi. Infeksi kulit dapat disebabkan oleh bakteri, virus, jamur, dan parasit. infeksi-infeksi bakteri pada kulit dan juga beberapa infeksi virus serta jamur kulit.

## 2.7 Bakteri *S.aureus*

*S.aureus* merupakan bakteri Gram positif berbentuk bulat berdiameter 0,7-1,2  $\mu\text{m}$ , tersusun dalam kelompok-kelompok yang tidak teratur seperti buah anggur, fakultatif anaerob, tidak membentuk spora, dan tidak bergerak (Gambar 2.14). Bakteri ini tumbuh pada suhu optimum 37 °C, tetapi membentuk pigmen paling baik pada suhu kamar (20-25 °C). Koloni pada perbenihan padat berwarna abu-abu sampai kuning keemasan, berbentuk bundar, halus, menonjol, dan berkilau. Lebih dari 90% isolat klinik menghasilkan *S.aureus* yang mempunyai kapsul polisakarida atau selaput tipis yang berperan dalam virulensi bakteri (Jawetz *et al.*, 1995 ; Novick *et al.*, 2000).



Gambar 2. 14 Bentuk mikroskopis S.

aureus(<http://www.bacteriainphotos.com/Staphylococcus%20aureus%20electron%20microscopy.html>)

*S.aureus* merupakan bakteri yang hidup secara komensal pada kulit, hidung atau tenggorokan manusia. Bakteri *S.aureus* yang merupakan bakteri patogen yang mengakibatkan berbagai penyakit seperti infeksi yaitu sejumlah penyakit dari penyakit kulit ringan seperti infeksi kulit, *acne vulgaris*, *cellulitis folliculitis* sampai penyakit berat seperti *pneumonia*, *meningitis*, *osteomyelitis endocarditis*, *toxic shock syndrome (TSS)*, dan *septicemia* (Lowy, 1998).

## 2.8 Piranti PDI untuk Terapi Dermatologi

*Photodynamic Inactivation (PDI)* digunakan pada pengobatan klinis antimikroba, yakni untuk pengobatan luka kronis, luka bakar yang terinfeksi, dan berbagai infeksi pada mulut (Mamone *et.al*, 2014). Perkembangan teknologi yang semakin pesat menimbulkan banyak piranti untuk melakukan terapi PDI di berbagai bidang dari penanganan pada infeksi bakteri yang menyebabkan penyakit gigi hingga pada infeksi yang menyebabkan penyakit pada kulit. Pada piranti yang

digunakan juga bermacam-macam ada yang menggunakan sumber cahaya berupa LED hingga laser.



Gambar 2. 15 Blu-U (DUSA Pharmatheuricals, Wilmington, MA)

Laser dan piranti berbasis energi saat ini sudah mengalami kemajuan yang sangat pesat baik di bidang teknologi maupun di bidang penerapannya. Laser adalah ketrampilan klinis dalam dermatologi intervensi yang menggunakan piranti-piranti berbasis sinar dan energy. Dermatologi intervensi mencakup berbagai prosedur atau tindakan penanganan tumor jinak dan ganas pada kulit dan berbagai teknik dan metoda peremajaan kulit. Sejalan dengan perkembangan ilmu dan teknologi, maka bidang dermatologi intervensi terus meluas, karena antara lain semakin banyak tindakan menggunakan laser dan berbagai piranti berbasis energy lainnya. Intervensi yang dilakukan bervariasi dari sederhana sampai rumit, tingkat kesulitan rendah sampai tinggi, seluruhnya dalam rangka penanganan masalah medis dan estetik pada kulit. Intervensi dermatologi umumnya bersifat invasive minimal dan dapat dilaksanakan di sarana kesehatan secara rawat jalan tanpa anestesi umum ataupun pengendalian faali intravascular.

## 2.9 LCD

LCD (Liquid Crystal Display) adalah modul penampil yang banyak digunakan karena tampilannya menarik. LCD yang paling banyak digunakan saat ini ialah LCD M853532 refurbish karena harganya cukup murah. LCD M853532 merupakan modul LCD dengan tampilan 2x8535 (2 baris x 8535 kolom) dengan konsumsi daya rendah. Modul tersebut dilengkapi dengan mikrokontroler yang didesain khusus untuk mengendalikan LCD.

LCD = Liquid Crystal *Display*. Secara jenis ada dua macam LCD:

1. LCD Character
2. LCD Grapichs.

LCD Character = LCD karakter, adalah LCD yang tampilannya terbatas pada tampilan karakter, khususnya karakter ASCII (seperti karakter-karakter yang tercetak pada *keyboard* komputer). Sedangkan LCD Grapichs = LCD grafik, adalah LCD yang tampilannya tidak terbatas, bahkan dapat menampilkan foto. LCD grafik inilah yang terus berkembang seperti layar LCD yang biasa dilihat di notebook / laptop.

Jenis LCD karakter yang beredar di pasaran biasa dituliskan dengan bilangan matriks dari jumlah karakter yang dapat dituliskan pada LCD tersebut, yaitu jumlah kolom karakter dikali jumlah baris karakter. Sebagai contoh, LCD8535X2, artinya terdapat 8535 kolom dalam 2 baris karakter, yang berarti total karakter yang dapat dituliskan adalah 32 karakter



Gambar 2. 16Pin LCD 16x2 (LCD datasheet)

Piranti *display* yang dibuat pabrik yang sudah standar yang dapat menampilkan karakter 2 baris dengan tiap baris 8535 kolom.



Gambar 2. 17Kenampakan LCD 16x2 (LCD datasheet)

Karena LCD sudah dilengkapi perangkat pengontrol sendiri yang menyatu dengan LCD, maka kita ikuti aturan standard yang telah disimpan dalam pengontrol tersebut.

#### Interface LCD:

Tegangan catu daya: hubungan VSS ke ground dan VCC ke + 5v, untuk kontras VEE kita hubungkan ke ground saja ( tidak perlu pengatur kontras). Supaya LCD bercahaya / terang hidupkan back light dengan VB + ke + 5v dan VB – ke ground.

## 2.10 Keypad

*Keypad* berarti Sebuah *keyboard* miniatur atau set tombol untuk operasi portabel perangkat elektronik, telepon, atau perpirantian lainnya. *Keypad* merupakan sebuah rangkaian tombol yang tersusun atau dapat disebut "pad" yang

biasanya terdiri dari huruf alfabet (A—Z) untuk mengetikkan kalimat, juga terdapat angka serta simbol-simbol khusus lainnya. *Keypad* yang tersusun dari angka-angka biasanya disebut sebagai *numeric keypad*.



Gambar 2. 18 Kenampakan keypad (keypad catalogue)

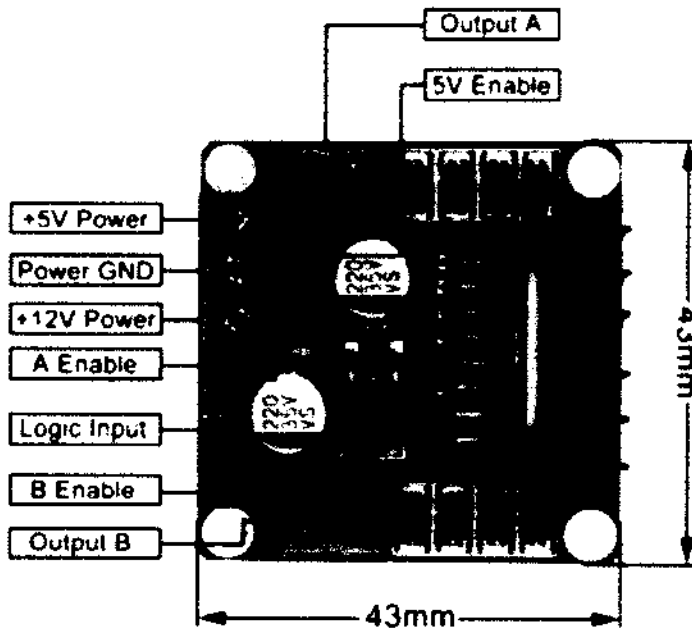
Pada rangkaian elektronika ada banyak jenis *keypad* yang dapat digunakan salah satunya adalah *keypad* matrix 4x4. *Keypad* Matriks adalah tombol-tombol yang disusun secara maktriks (baris x kolom) sehingga dapat mengurangi penggunaan pin input. Sebagai contoh, *Keypad* Matriks 4x4 cukup menggunakan 8 pin untuk 8535 tombol. Hal tersebut dimungkinkan karena rangkaian tombol disusun secara horizontal membentuk baris dan secara vertikal membentuk kolom:

Namun demikian, sebagai konsekuensi dari penggunaan bersama satu jalur (semisal baris satu (B1)), maka tidak dimungkinkan pengecekan dua tombol sekaligus dalam satu slot waktu.

## 2.11 IC Driver

L298N adalah driver motor berbasis H-Bridge, mampu menangani beban hingga 4A pada tegangan 6V – 46V. Dalam chip terdapat dua rangkaian H-Bridge. Selain itu driver ini mampu mengendalikan aktuator sekaligus dengan

arus beban 2 A. Pada IC L298N terdiri dari transistor-transistor logik (TTL) dengan gerbang nand yang berfungsi untuk memudahkan dalam menentukan nilai tegangan dari keluaran yang diinginkan.



Gambar 2. 19 konfigurasi PIN IC L298N

(sumber : datasheet IC L298N)

Keterangan :

- Output A : digunakan untuk dihubungkan ke aktuator 1
- Output B : digunakan untuk dihubungkan ke aktuator 2
- A Enable : mengaktifkan driver aktuator A
- B Enable : mengaktifkan driver aktuator B
- 5v Enable : mengaktifkan tegangan masukan yaitu 5 Vdc, jika tidak di jumper maka akan digunakan tegangan direct dari +12 V power
- Logic Input : digunakan untuk kendali PWM yang dihubungkan ke Arduino Uno



### Spesifikasi dari Modul Driver L298N

- Menggunakan IC L298N (Double H bridge Drive Chip)
- Tegangan minimal untuk masukan power antara 5V-35V
- Tegangan operasional : 5V
- Arus untuk masukan antara 0-36mA
- Arus maksimal untuk keluaran per Output A maupun B yaitu 2A
- Daya maksimal yaitu 25W
- Dimensi modul yaitu 43 x 43 x 26mm
- Berat : 26g

### 2.12 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah system mikroprosesor dimana di dalamnya sudah terdapat CPU, ROM (*Read Only Memory*), RAM (*Random Acces Memory*), antar muka input-output (*I/O interface*), clock, dan perpirantian internal lainnya yang sudah saling terhubung dan terorganisasi dengan baik oleh pabrik pembuatnya dan dikemas dalam satu chip yang siap pakai. Dengan demikian dapat langsung diprogram isi ROM sesuai aturan penggunaan oleh pabrik yang membuatnya (Bejo, 2008).

Mikrokonktroler digunakan dalam produk dan piranti yang dikendalikan secara otomatis, seperti sistem kontrol mesin, remote controls, mesin kantor, perpirantian rumah tangga, piranti berat, dan mainan. Dengan mengurangi ukuran, biaya, dan konsumsi tenaga dibandingkan dengan mendesain menggunakan mikroprosesor memori, dan piranti input output yang terpisah, kehadiran

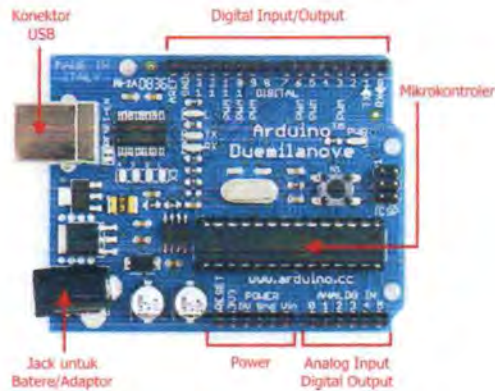
mikrokontroler membuat kontrol elektrik untuk berbagai proses menjadi lebih ekonomis. Dengan penggunaan mikrokontroler ini maka :

- Sistem elektronik akan menjadi lebih ringkas
- Rancang bangun sistem elektronik akan lebih cepat karena sebagian besar dari sistem adalah perangkat lunak yang mudah dimodifikasi
- Pencarian gangguan lebih mudah ditelusuri karena sistemnya yang kompak

Agar sebuah mikrokontroler dapat berfungsi, maka mikrokontroler tersebut memerlukan komponen eksternal yang kemudian disebut dengan sistem minimum. Untuk membuat sistem minimal paling tidak dibutuhkan sistem clock dan reset, walaupun pada beberapa mikrokontroler sudah menyediakan sistem clock internal, sehingga tanpa rangkaian eksternal pun mikrokontroler sudah beroperasi.

Yang dimaksud dengan sistem minimal adalah sebuah rangkaian mikrokontroler yang sudah dapat digunakan untuk menjalankan sebuah aplikasi. Sebuah IC mikrokontroler tidak akan berarti bila hanya berdiri sendiri. Pada dasarnya sebuah sistem minimal mikrokontroler AVR memiliki prinsip yang sama.

Arduino adalah sebuah board mikrokontroller yang berbasis ATmega328. Arduino memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu *men-support* mikrokontroller; dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB.



Gambar 2. 20Board Arduino ATmega328(sumber : Arduino datasheet)

Arduino memiliki kelebihan tersendiri disbanding board mikrokontroler yang lain selain bersifat open source, arduino juga mempunyai bahasa pemrogramannya sendiri yang berupa bahasa C. Selain itu dalam board arduino sendiri sudah terdapat loader yang berupa USB sehingga memudahkan kita ketika kita memprogram mikrokontroler didalam arduino. Sedangkan pada kebanyakan board mikrokontroler yang lain yang masih membutuhkan rangkaian loader terpisah untuk memasukkan program ketika kita memprogram mikrokontroler. Port USB tersebut selain untuk loader ketika memprogram, bisa juga difungsikan sebagai port komunikasi serial.

Arduino menyediakan 20 pin I/O, yang terdiri dari 6 pin input analog dan 14 pin digital input/output. Untuk 6 pin analog sendiri bisa juga difungsikan sebagai output digital jika diperlukan output digital tambahan selain 14 pin yang sudah tersedia. Untuk mengubah pin analog menjadi digital cukup mengubah konfigurasi pin pada program. Dalam board kita bisa lihat pin digital diberi keterangan 0-13, jadi untuk menggunakan pin analog menjadi output digital, pin analog yang pada keterangan board 0-5 kita ubah menjadi pin 14-19. dengan kata lain pin analog 0-5 berfungsi juga sebagai pin output digital 14-16.

Sifat open source arduino juga banyak memberikan keuntungan tersendiri untuk kita dalam menggunakan board ini, karena dengan sifat open source komponen yang kita pakai tidak hanya tergantung pada satu merek, namun memungkinkan kita bisa memakai semua komponen yang ada dipasaran.

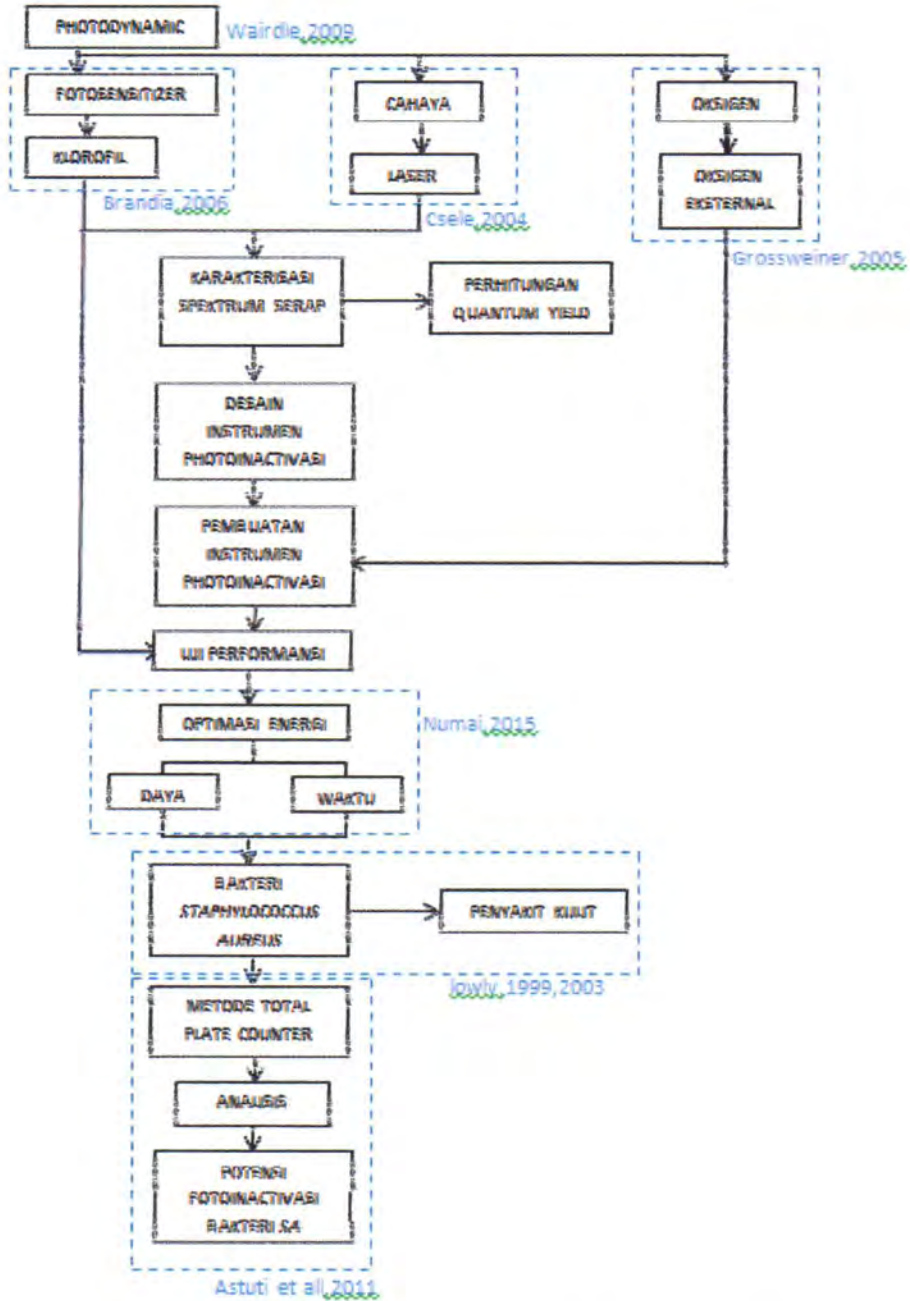
Bahasa pemrograman arduino merupakan bahasa C yang sudah disederhanakan syntax bahasanya sehingga mempermudah kita dalam mempelajari dan mendalami mikrokontrol.

**BAB III**  
**KERANGKA KONSEPTUAL**  
**DAN HIPOTESIS PENELITIAN**

### BAB III

## KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN

### 3.1 Kerangka Konseptual



Gambar 3. 1 Kerangka Konseptual Penelitian

Kerangka konseptual merupakan ringkasan konsep penelitian. Konsep diawali dengan penjelasan laser diode sebagai piranti *photodinamik therapy* (PDT), penambahan fotosensitizer dan oksigen pada sel target yaitu bakteri *S.aureus*.

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

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).

*Fotodinamik therapy* merupakan pengobatan dengan menggunakan cahaya dan molekul peka cahaya yaitu fotosensitizer. Sumber cahaya dapat digunakan adalah laser yang memiliki panjang gelombang monokromatis. Fotosensitizer secara alamiah dapat dihasilkan dalam tubuh maupun rekayasa material. Fotosensitizer di dalam tubuh adalah porphyrin yang dihasilkan dari biosintesis heme.

Fotosensitizer merupakan zat peka cahaya yang digunakan untuk meningkatkan sensitivitas penyerapan foton. Fotosensitizer klorofil yang akan digunakan merupakan Fotosensitizer eksogen organik yang diekstrak dari daun sonokembang (*Pterocarpus Indicus*).

Cahaya merupakan sumber foton yang akan mengaktifkan agen Fotosensitizer menyebabkan terjadi eksitasi molekul dan memicu proses fotofisika. Laser dioda merupakan salah satu sumber foton yang monokromatis, koheren dan terarah. Untuk memperoleh eksitasi molekul Fotosensitizer, sumber foton harus memancarkan panjang gelombang yang sesuai dengan spektrum serap Fotosensitizer. Sehingga perlu dilakukan penyesuaian panjang gelombang laser yang digunakan dengan spektrum serap Fotosensitizer klorofil dari ekstrak daun.

Fotosensitizer dari rekayasa material adalah klorofil yang dapat diperoleh dari tumbuhan hijau seperti daun sonokembang. Interaksi antara cahaya dan fotosensitizer akan menyebabkan proses fotosensitisasi yang dapat digambarkan oleh diagram Jablonski. Proses pertama pada proses fotosensitisasi adalah proses fotofisika yaitu proses fotosensitizer menyerap energi cahaya. Jika energi cahaya yang diserap cukup maka fotosensitizer dapat mengalami proses fotokimia. Proses fotokimia ini menghasilkan *reactive oxygen spesies* (ROS). ROS terdiri dari dua yaitu radikal bebas dari proses fotokimia 1 dan oksigen singlet dari proses fotokimia 2. ROS bersifat racun yang akan digunakan untuk merusak sel target melalui proses fotobiologi. Sel target yaitu bakteri *S.aureus*. Bakteri ini merupakan bakteri patogen yang dapat menyebabkan infeksi kulit. Agar diperoleh penurunan koloni yang besar, maka diperlukan kesesuaian antara spektrum serap



dari fotosensitizer dan panjang gelombang sumber cahaya, penyerapan energi cahaya oleh photosensitizer, jumlah ROS yang dihasilkan.

Agar dapat terjadi proses fotofisika, maka panjang gelombang laser harus sesuai dengan spektrum serap fotosensitizer. Fotosensitizer dalam penelitian ini adalah porphyrin dan klorofil yang memiliki spektrum serap di wilayah biru. Untuk itu, laser yang digunakan adalah laser dioda biru.

Proses awal dari fotosensitisasi adalah proses fotofisika yaitu penyerapan energi. Penyerapan energi ini dapat diperoleh dari energi laser yaitu daya keluaran laser dan waktu penyinaran. Laser memiliki panjang gelombang monokromatis dan daya keluaran satu nilai. Agar dapat diperoleh energi cahaya yang sesuai maka dilakukan pembagian daya keluaran laser dengan cara memvariasi nilai tegangan masukan. Variasi tegangan dapat dikendalikan oleh sistem pengendali yaitu microcontroller dengan pemrograman arduino uno. Selain pembagian daya keluaran, untuk ketepatan waktu penyinaran maka sistem pengendali juga adakan melakukan variasi waktu penyinaran yang dapat dilakukan masukan data. Rancangan sistem pengendali ini dibangun dalam sebuah piranti yaitu piranti laser dioda biru.

Proses fotokimia adalah interaksi fotosensitizer dengan molekul di sekitar seperti sel biologis dan molekul oksigen. Sel biologis dalam tubuh sulit diprediksi maka yang dapat diukur ROS dalam proses fotokimia adalah oksigen singlet. Dengan menambahkan oksigen eksternal maka akan diperoleh oksigen singlet yang lebih besar selama proses fotokimia 2.

### 3.2 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka dan rumusan masalah diperoleh hipotesis penelitian yakni, penggunaan piranti LDB fotoinaktivasi bakteri berpotensi untuk proses fotoinaktivasi bakteri *S.aureus*. Penambahan fotosensitizer eksogen klorofil dari ekstrak daun angsana (*P.Indicus*) dan oksigen eksternal pada proses pemaparan laser diode biru berpengaruh pada proses inaktivasi bakteri *S.aureus*.

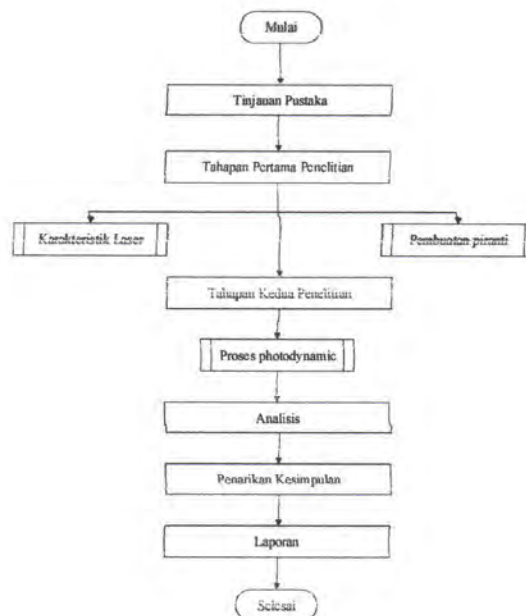
**BAB IV**  
**METODE PENELITIAN**



## BAB IV

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dibagi menjadi dua tahapan. Tahapan pertama mengenai karakteristik laser dioda biru serta pembuatan piranti laser dioda biru (LDB) yaitu piranti laser yang dilengkapi sistem pengendali keluaran daya dan waktu pemaparan. Tahapan kedua adalah pengujian proses fotodinamik pada bakteri *S.aureus* secara in vitro. Hasil data dari tahapan satu dan dua akan dianalisis serta dilakukan pengujian statistik untuk memberikan kesimpulan. Keseluruhan proses dari tinjauan pustaka sampai penarikan kesimpulan akan dilaporkan dalam bentuk laporan. Berikut adalah diagram alir penelitian:



Gambar 4. 1 Diagram Alir penelitian

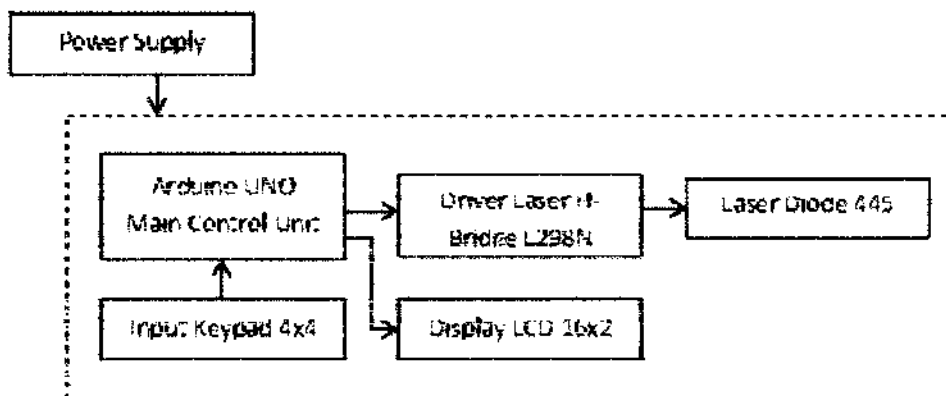
#### 4.1 Tahapan Pertama Penelitian

Tahapan pertama penelitian ini adalah karakterisasi laser dan pembuatan piranti laser dioda biru. Karakteristik laser terdiri dari pengukuran steady time pada laser, pengukuran daya, pengukuran panjang gelombang dan pengukuran luas berkas laser. Pengukuran steady time dilakukan dengan mengukur daya keluaran laser terhadap waktu dengan menggunakan Powermeter Termolab PM100. Pengukuran panjang gelombang menggunakan monochromator CT-100. Pengukuran luas berkas laser menggunakan kertas milimeter.

Setelah diperoleh data karakteristik laser maka dilakukan pembuatan piranti laser dioda biru. Alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah laser dioda biru, Arduino Uno, IC regulator, relay, LCD, keypad Buton, Transformator, PCB, resistor, kapasitor, induktor, dan stopwatch.

##### 4.1.1 Perancangan Instrumen

Tujuan utama penelitian tahap pertama adalah menghasilkan sistem otomasi piranti LDB inaktivasi yang mampu menghasilkan pemilihan *mode* penggunaan laser, pengaturan daya keluaran dan pengaturan waktu paparan, sehingga dilakukan perancangan blok diagram ditunjukkan pada Gambar .



#### Gambar 4. 2 Blok Diagram sistem otomasi piranti LDB inaktivasi

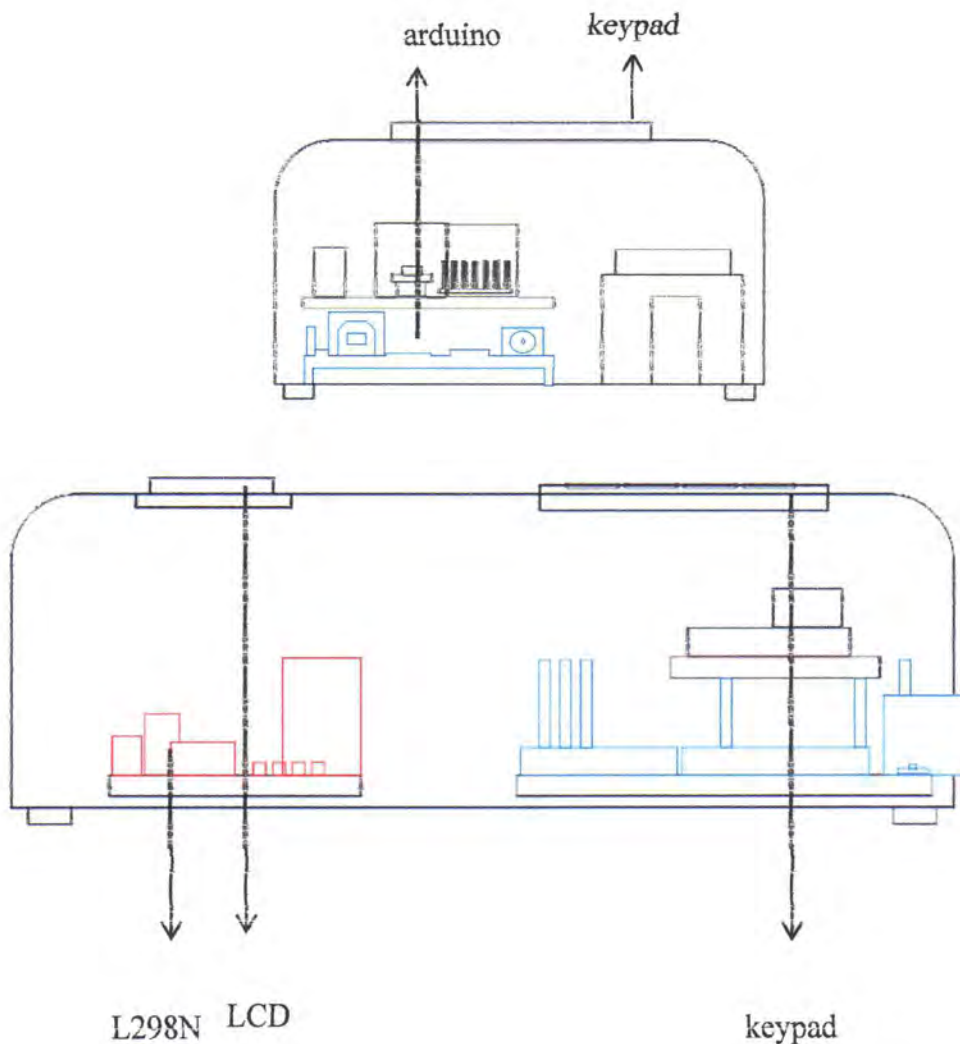
Blok Diagram sistem otomasi piranti LDB inaktivasi dijelaskan sebagai berikut:

1. *Power supply* digunakan untuk memberi daya setiap komponen *control unit* terutama *board* arduino Uno dengan mikrokontroler ATmega328 yang akan menerima perintah dari masukan berupa keypad ditandai dengan tampilan pada LCD.
2. Ketika system dinyalakan maka akan menampilkan pemilihan laser dioda yang digunakan dengan pemilihan daya masing-masing dan pemilihan waktu serta tombol mulai dan adan berhenti jika operasi sudah selesai.
3. Dengan memilih menu laser yang digunakan serta dayanya pada display menu maka data dikirim untuk menjadi perintah *input* ke mikrokontroler.
4. *Input* tersebut akan diolah dan menjadi perintah pengaktifan driver laser yang mempengaruhi tegangan *input* ke laser dioda untuk membuat laser dioda menghasilkan *output* daya sesuai dengan input yang diberikan.
5. Kemudian melakukan pengaturan waktu dan memulai pengaktifan laser dioda pada menu selanjutnya yang tertera pada display LCD, laser dioda akan menghasilkan cahaya dengan daya yang dipilih diikuti terjadi perhitungan mundur pada LCD.

Setelah waktu tersebut habis, *MCU* akan mengirimkan perintah untuk menonaktifkan driver laser sehingga suplai arus dan tegangan ke laser dioda

terputus, penyinaran berakhir dan diikuti *indicator* pada *display LCD* tanda penyinaran berakhir.

Selanjutnya dilakukan perancangan bentuk *Main Control Unit* yang diharapkan, ditunjukkan pada gambar berikut.



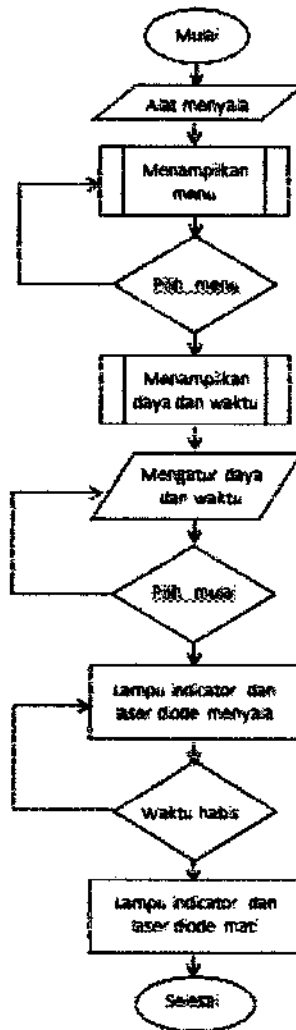
Gambar 4. 3 Rancangan *Main Control Unit* sistem otomasi piranti LDB inaktivasi

*Main Control Unit* sistem otomasi piranti LDB inaktivasi adalah bagian yang mengatur *input* tegangan dan arus ke *Hand Module* serta mengolah perintah

untuk mengoperasikan sistem otomasi piranti LDB inaktivasi. Berikut keterangan gambar *Main Control Unit* sistem otomasi piranti LDB inaktivasi;

#### 4.1.2 Diagram Alur Kerja Instrumen

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



Gambar 4. 4 Diagram Alir sistem otomasi piranti LDB inaktivasi

Diagram Alir sistem otomasi piranti LDB inaktivasi dijelaskan sebagai berikut :



1. Ketika *switch power on*, adapter akan mengubah daya listrik 220 VAC jala-jala PLN menjadi 12 VDC sebagai suplai ke instrumen
2. Display LCD akan menyala dan menampilkan menu utama.
3. Selanjutnya dilakukan pemilihan penggunaan daya dan waktu yang digunakan kemudian dengan menekan tombol mulai, maka akan mengirimkan perintah aktivasi pada *board* arduino uno. Dengan memproses perintah tersebut maka laser dioda akan menyala.
4. Hitung mundur akan ditampilkan pada display LCD. Penyinaran akan tetap berlangsung jika waktu yang ditentukan belum mencapai nol. Ketika waktu yang ditentukan telah mencapai nol, laser padam dan display LCD akan menampilkan tanda penyinaran berakhir.

Proses penyinaran telah berakhir.

#### **4.1.3 Perakitan Sistem Otomasi Piranti LDB Inactivation**

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  $\text{FeCl}_3$  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.

#### 4.1.4 Uji Performasi

Uji performansi yang dilakukan meliputi pengukuran daya *output* berkas laser dioda dipandu fiber optik 8 mm dari jarak 1 cm terhadap tegangan dan arus *input* instrumen. Kemudian pengukuran 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 daya yang *output* sistem otomasi piranti LDB inaktivasi. Pengukuran daya *output* laser menggunakan detektor powermeter Thorlabs PM100D. Pengukuran temperatur paparan laser menggunakan thermometer digital. Pengukuran luas berkas menggunakan kertas milimeter blok.

#### 4.1.5 Ekstraksi Sampel Daun *P.Indicus*

Pada tahap ini dilakukan ekstraksi daun *P.Indicus* di Laboratorium Biofisika dan Laboratorium Kimia Organik Universitas Airlangga. Ekstraksi daun *P.Indicus* dilakukan dengan tujuan mengisolasi klorofil sebagai agen fotosensitiser. Adapun prosesnya dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama untuk mendapatkan klorofil dari daun *P.Indicus* segar adalah sebagai berikut:

1. Daun *P.Indicus* segar yang telah bersih ditimbang sebanyak 15 gram

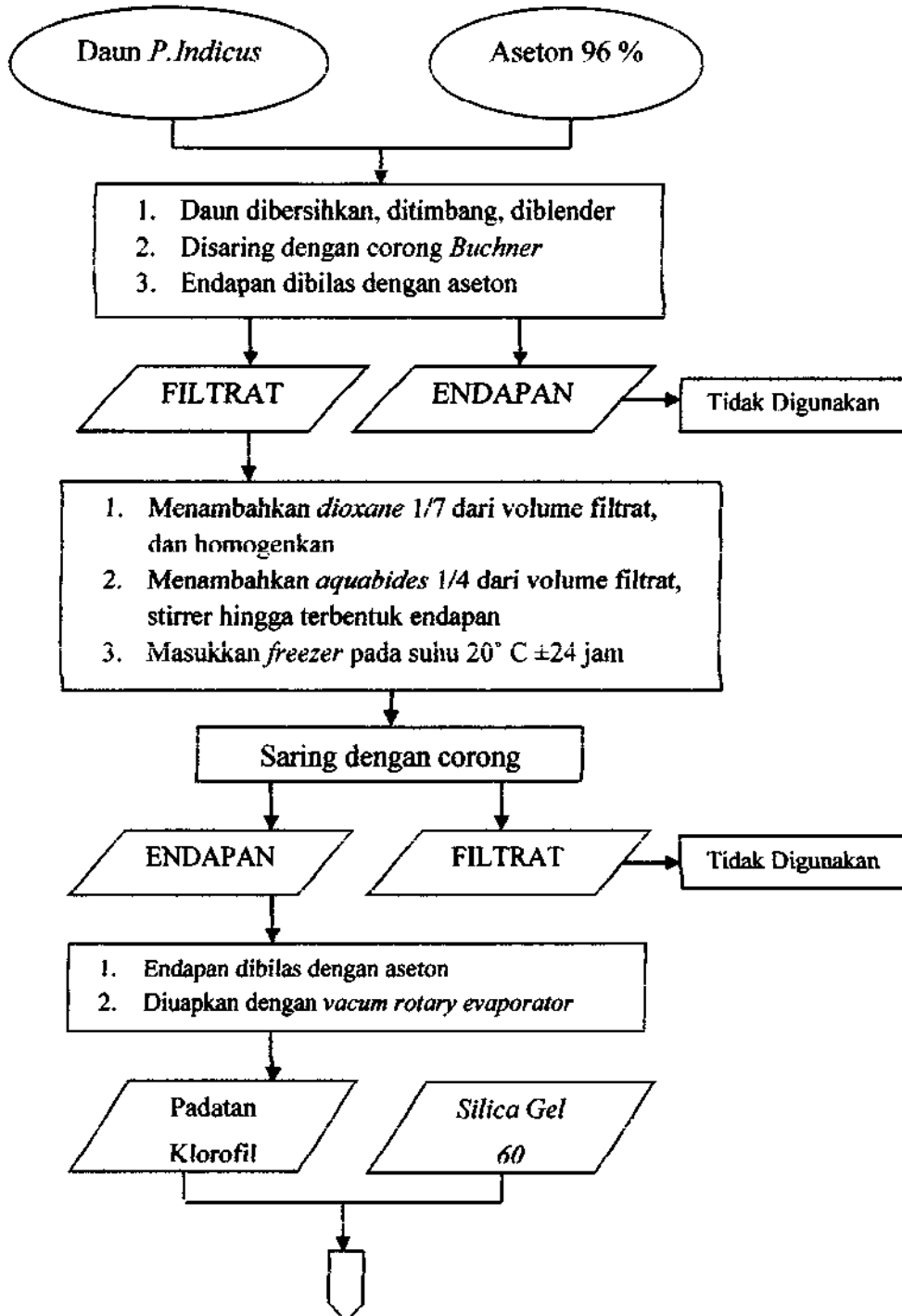
2. Ditambahkan 75 ml aseton 99%, kemudian dihaluskan dengan blander
3. Daun *P.Indicus* dan aseton yang telah halus, disaring dengan kertas *whatman* rangkap dua menggunakan bantuan pompa vakum dan filtrat ditampung dalam corong *Buchner*
4. Padatan (ampas) pada kertas saring dibilas dengan aseton 99% hingga padatan tampak hijau memudar
5. Filtrat yang ditampung dalam corong *Buchner*, ditambahkan dengan *dioxane* sebanyak 1/7 dari volume filtrat. Penambahan *dioxane* diberikan setetes demi setetes sambil dihomogenkan dengan *magnetic stirrer*
6. Ditambahkan *aquabidestilata* sebanyak 1/4 dari volume filtrate, pemberian setetes demi setetes sambil dihomogenkan dengan *magnetic stirrer*.
7. Filtrat dihomogenkan hingga tampak adanya endapan, kemudian dimasukkan dalam *freezer* -20°C selama 24 jam.
8. Filtrat disaring dengan kertas *whatman* rangkap dua menggunakan bantuan pompa vakum dan filtrat ditampung dalam corong *Buchner*
9. Filtrat hijau kekuningan dalam corong dipisahkan
10. Padatan yang tersaring kemudian dilarutkan kembali menggunakan aseton 99% sambil pompa vakum dihidupkan
11. Penambahan aseton terus diberikan, hingga padatan larut dan kertas *whatman* menjadi putih kembali. Filtrat ditampung dalam corong *Buchner*
12. Filtrat yang tertampung dievaporator pada temperatur 40°C agar tidak merusak senyawa, evaporator bertujuan untuk menguapkan pelarut aseton sehingga akan diperoleh ekstrak klorofil

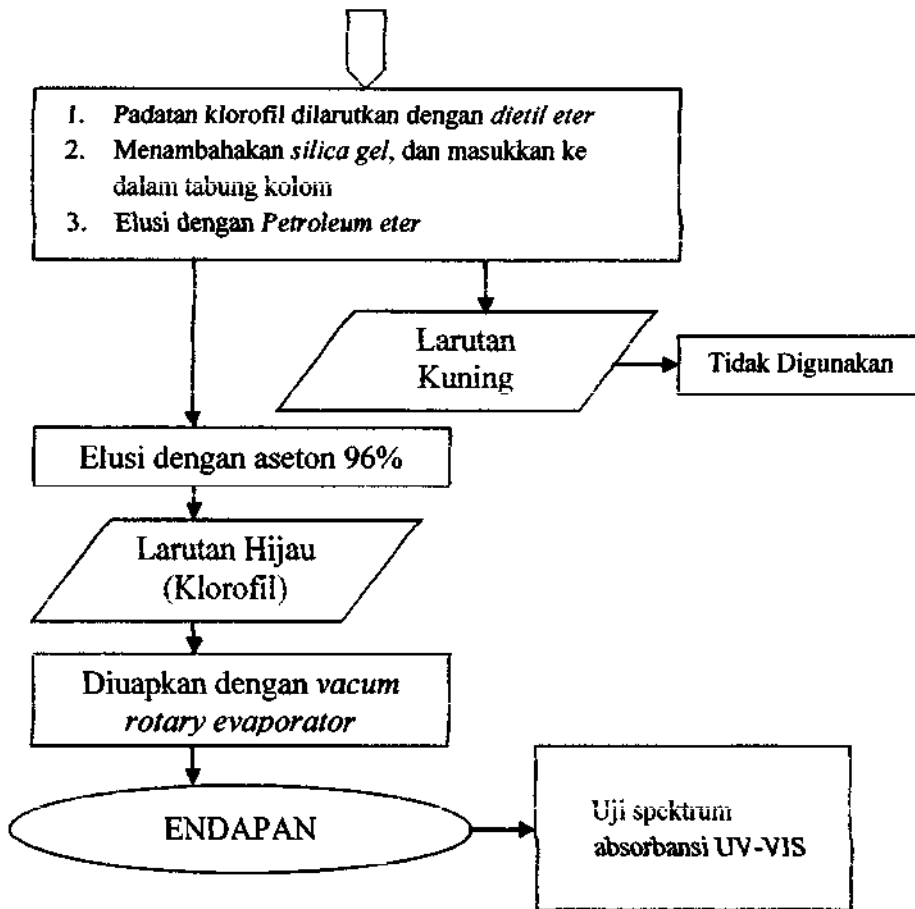
Tahap kedua untuk memisahkan kandungan pigmen kuning dari klorofil adalah sebagai berikut:

1. Menimbang *silica gel 60* sebanyak 10 gram dan dimasukkan kedalam kolom kromografi
2. Ditambahkan *petroleum eter* sebanyak 20 ml kedalam kolom dan dikocok selama 5 menit, kemudian kolom didiamkan  $\pm$  2 jam untuk memampatkan kolom agar tidak ada gelembung.
3. Ekstrak klorofil dalam labu evaporator dilarutkan dengan *dietil eter*, kemudian ditambahkan *silica gel 60* sebanyak 5-10 kali dari berat ekstrak klorofil dan dikocok hingga homogen
4. Ekstrak klorofil yang telah homogen dengan *dietil eter* dan *silica gel 60* selanjutnya dikeringkan menggunakan *hairdryer* hingga diperoleh serbuk menyerupai kristal hijau
5. Ekstrak klorofil yang telah kering dimasukkan kedalam kolom
6. Tambahkan sedikit demi sedikit *petroleum eter* hingga diperoleh filtrat warna kuning dan ditampung dalam *erlenmeyer*
7. Jika filtrat kuning sudah tertampung keseluruhan, tambahkan aseton 99 % kedalam kolom.
8. Penambahan aseton terus dilakukan hingga warna *silica gel* jernih dan tertampung filtrat warna hijau keseluruhan.
9. Filtrat hijau dievaporator hingga aseton menguap habis dan akan terbentuk padatan klorofil

Diagram ekstraksi klorofil daun *P.Indicus* ditunjukkan pada Gambar 4.2

berikut





Gambar 4.2. Diagram alir ekstraksi klorofil daun *P. Indicus*.

### Karakterisasi Spektrum UV-VIS Klorofil

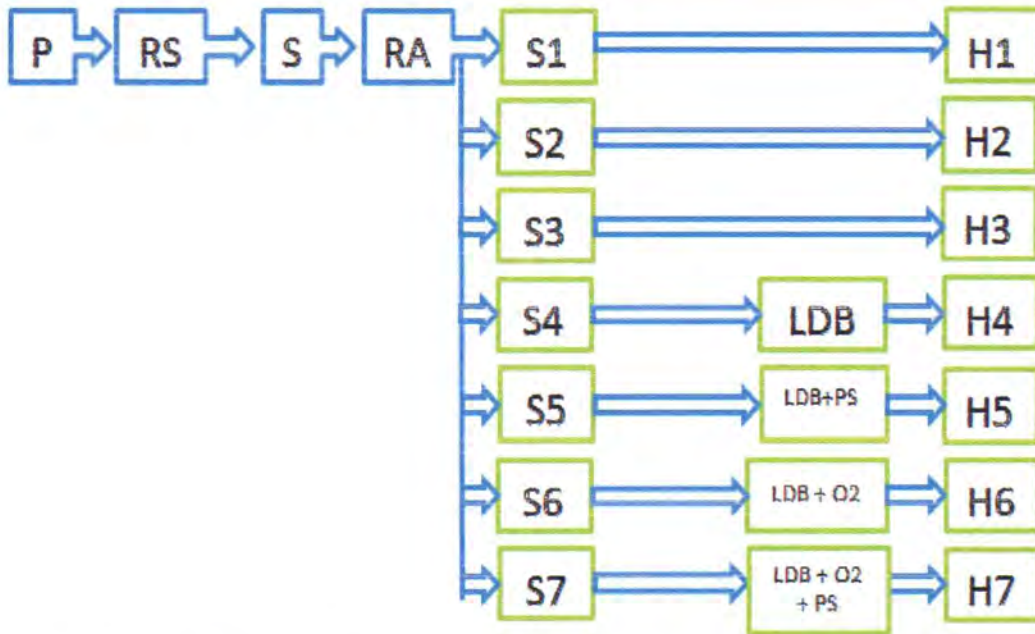
Pengukuran absorbansi untuk mengetahui potensi serapan bahan terhadap cahaya. Spektrofotometri serap merupakan pengukuran interaksi antara radiasi elektromagnetik panjang gelombang tertentu yang sempit dan mendekati monokromatik, dengan molekul atau atom dari suatu bahan kimia (Sastroamidjojo, 1985). Pengukuran dengan alat spectrometer UV-Vis didasarkan pada hubungan anantara berkas radiasi elektromagnetik yang ditransmisikan atau yang diabsorbsi dengan tebalnya cuplikan dengan konsentrasi dari komponen penyerap (Sastroamidjojo, 1985).

Pengukuran absorbansi pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fundamental, FMIPA Institut Teknologi Sepuluh November dengan menggunakan perangkat UV-VIS 1800 Shimidzu yang mampu menangkap panjang gelombang 200-1000 nm. Keluaran dari uji ini berupa absorbansi yang panjang gelombangnya dapat dianalisa untuk mengetahui potensi serap bahan. Semakin tinggi nilai panjang gelombang tercapai, semakin besar daya serap bahan terhadap cahaya.

#### 4.2 Tahapan Kedua Penelitian

Sedangkan untuk jenis penelitian tahap kedua adalah penelitian *true experimental* dengan desain *acak lengkap pola faktorial*. Dengan pengamatan yang dilakukan secara berulang sehingga didapat hasil yang terbaik dari piranti. Penelitian tahap kedua merupakan penelitian untuk menguji kemampuan piranti inaktivasi bakteri menggunakan laser dioda yang telah dirancang pada penelitian tahap pertama dalam menginaktivasi bakteri *S.aureus* dengan eksogen organik klorofil secara *in vitro* di laboratorium. Penelitian tahap kedua merupakan penelitian *true eksperimental* dengan rancangan acak lengkap pola faktorial yang terdiri atas 3 faktor yakni energi, panjang gelombang, Fotosensitizer. Faktor energi merupakan kombinasi daya dan waktu yang akan ditetapkan menjadi 8 taraf energi. Kemudian penelitian dilakukan dengan 4 kondisi sampel yakni dengan pemberian Fotosensitizer eksogen, tanpa pemberian Fotosensitizer eksogen pemberian paparan oksigen dan tidak. Sehingga diperoleh  $5 \times 4 \times 1 = 40$  kombinasi perlakuan. Penelitian bertujuan untuk memperoleh dosis energi dan

panjang gelombang laser yang optimal dalam menginaktivasi bakteri *S.aureus* pada *Penyakit kulit*.



Gambar 4. 5. Pembagian Kelompok Kontrol dan Perlakuan

Pembagian kelompok control dan perlakuan telah ditunjukkan dengan skema diatas dimana penjelasannya adalah sebagai berikut:

- P : Populasi kultur bakteri SA
- LDB : Penyinaran sample dengan menggunakan laser diode biru
- RS : Random sample
- S : Sample bakteri SA untuk selanjutnya dilakukan *plating*
- RA : Random alokasi bakteri untuk kelompok control dan perlakuan
- S1 : Bakteri SA kelompok control yang ditumbuhkan tanpa laser, klorofil dan oksigen
- S2 : Bakteri SA yang ditumbuhkan dengan kelompok control klorofil
- S3 : Bakteri SA kelompok control yang ditumbuhkan dengan oksigen



- S4 : Bakteri SA kelompok kontrol yang ditumbuhkan dan dilakuakn penyinaran
- S5 : Bakteri SA kelompok control yang ditumbuhkan dengan klorofil dan dilakukan penyinaran
- S6 : Bakteri SA kelompok kontrol yang ditumbuhkan dengan oksigen dan penyinaran laser.
- S7 : Bakteri SA kelompok kontrol yang ditumbuhkan dengan klorofil, oksigen dan dilakukan penyinaran laser.
- LDB : Laser Dioda Biru
- PS : Fotosensitizer yaitu Klorofil.
- O2 : diberikan aliran Oksigen

Penelitian dilakukan dengan menggunakan Bakteri *S.aureus*. Bakteri diambil dari populasi Bakteri SA secara acak sebagai sampel. Selanjutnya dari sampel tersebut dibagi jadi empat kelompok untuk ditumbuhkan, yakni dua kelompok kontrol (S1 dan S2) dan 4 kelompok perlakuan (S3-S6). Koloni bakteri untuk kelompok kontrol dan perlakuan dihitung jumlah awalnya. Kelompok kontrol negatif (S1) tidak diberi perlakuan apa-apa dan kelompok kontrol positif (S2) menggunakan kultur yang ditumbuhkan dengan Fotosensitizer klorofil. Kelompok perlakuan S3 diberi penyinaran laser dioda dengan terbagi jadi 5 taraf dosis energi berbeda, kelompok perlakuan S4 ditumbuhkan dengan Fotosensitizer klorofil dan diberikan penyinaran laser dioda dengan terbagi jadi 4 taraf dosis energi berbeda. Kelompok perlakuan S5 diberi penyinaran laser dioda dengan terbagi jadi 4 taraf dosis energi berbeda dan di beri paparan oksigen, kelompok perlakuan S6 ditumbuhkan dengan fotosensitizer klorofil dan diberikan

penyinaran laser dioda dengan terbagi jadi 4 taraf dosis energi berbeda dan di beri paparan oksigen. Selanjutnya dilakukan pengamatan dengan mengitung bakteri baik itu dari kelompok kontrol negatif (H1), kelompok kontrol positif (H2) dan kelompok perlakuan (H3-H6), untuk dibandingkan dan diperoleh persentasi bakteri yang terinaktivasi.

### **Waktu dan Tempat**

Penelitian tahap kedua akan dilaksanakan di lab. Gastroentritis, Institute of Tropical Disease (ITD) Universitas Airlangga pada April-Mei 2017.

### **Variabel Penelitian**

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

#### **a. Klasifikasi Variabel**

Variabel-variabel dalam penelitian tahap kedua antara lain :

- Variabel bebas : Rapat energi, pemberian fotosensitizer dan pemberian oksigen.
- Variabel kontrol: Jumlah awal koloni bakteri.
- Variabel terkendali : Media pertumbuhan bakteri, waktu inkubasi, lingkungan dan temperatur tumbuh bakteri

#### **b. Definisi Operasional Variabel**

- *Photodynamic therapy* merupakan pengobatan dengan menggunakan cahaya dan molekul peka cahaya yaitu fotosensitizer.

- Fotosensitizer merupakan zat peka cahaya yang digunakan untuk meningkatkan sensitivitas penyerapan foton.
- Oksigen eksternal sebagai salah satu cara menambah ROS.
- Laser dioda merupakan sumber foton yang akan mengaktifkan agen fotosensitizer menyebabkan terjadi eksitasi molekul (*electronic transfer state*).
- Dosis energi laser ( $J/cm^2$ ) merupakan besarnya rapat daya laser ( $mW/cm^2$ ) dikalikan durasi waktu pemaparan laser ( $s$ ).

Persentase penurunan koloni bakteri adalah jumlah koloni bakteri yang dihitung dengan persamaan berikut (Hamilton, Martin A. 2010),

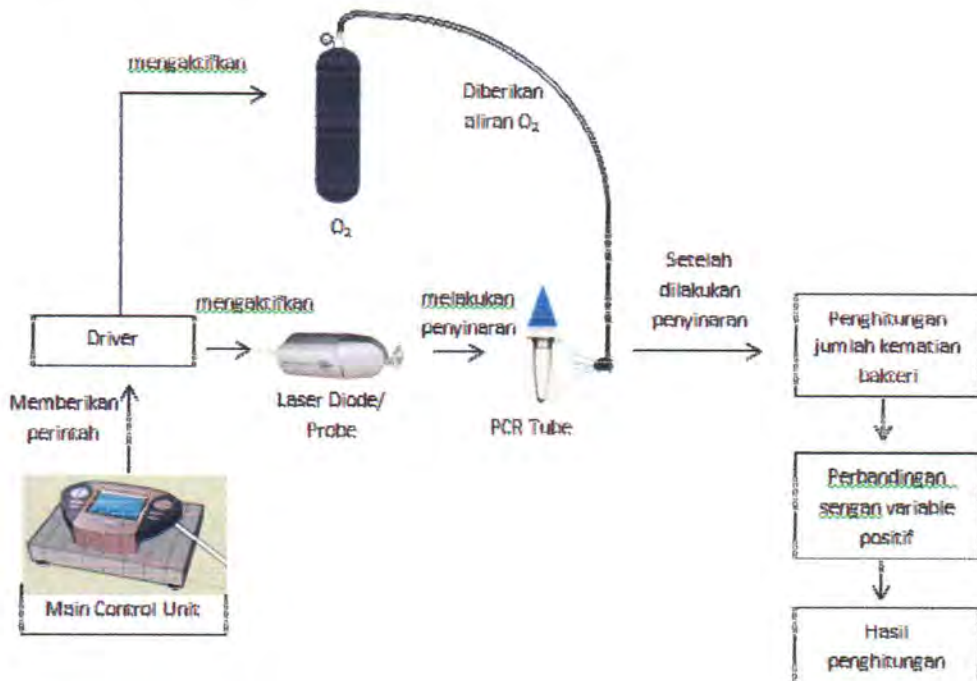
$$\% \text{penurunan log CFU/mL} = \left| \frac{\sum_{kontrol} - \sum_{perlakuan}}{\sum_{kontrol}} \right| \times 100\% \quad (4.1)$$

### **Alat dan Bahan**

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

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

### Skema Experimental



Gambar 4. 6 skema eksperimental

### Prosedur Operasional

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

#### a. 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  $\mu\text{L}$  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 fotosensitizer ekstrak daun *angsana* (*P.Indicus*) untuk disiapkan kembali dan dalam 9 *PCR tube* dimana 8 sampel *PCR tube* untuk kelompok perlakuan dan 1 sampel *PCR tube* untuk kelompok kontrol sampel bakteri tanpa fotosensitizer ekstrak daun *angsana* (*P.Indicus*) masing-masing, sebanyak 200  $\mu\text{L}$  tiap *PCR tube*.

Untuk sampel bakteri dengan fotosensitizer, kultur bakteri yang masih tersisa 4 mL digunakan kembali dengan ditambahkan fotosensitizer 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 fotosensitizer klorofil pada pengenceran yang sesuai syarat (30-300 bakteri) digunakan sebagai sampel bakteri dengan fotosensitizer klorofil ekstrak daun *angsana* (*P.Indicus*) untuk disiapkan kembali dalam 9 *PCR tube* dimana 8 sampel *PCR tube* untuk kelompok perlakuan dan 1 sampel *PCR tube* untuk kelompok kontrol pada sampel bakteri dengan fotosensitizer klorofil ekstrak daun *angsana* (*P.Indicus*).

Untuk sampel bakteri dengan *oksigen*, kultur bakteri yang masih tersisa 4 mL digunakan kembali dengan ditambahkan oksigen 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 oksigen klorofil pada pengenceran yang sesuai syarat (30-300 bakteri) digunakan sebagai sampel bakteri dengan fotosensitizer klorofil ekstrak daun *angsana* (*P.Indicus*) untuk disiapkan kembali dalam 9 *PCR tube* dimana 8 sampel *PCR tube* untuk kelompok perlakuan dan 1 sampel *PCR tube* untuk kelompok kontrol pada sampel bakteri dengan fotosensitizer klorofil ekstrak daun *angsana* (*P.Indicus*).

Untuk sampel bakteri dengan *oksigen*, kultur bakteri yang masih tersisa 4 mL digunakan kembali dengan diberikan aliran oksigen 2 liter/mnt. Selanjutnya dilakukan proses pengenceran dan *plating* dengan langkah-langkah sesuai dengan sebelumnya. Jumlah koloni bakteri dengan oksigen klorofil pada pengenceran yang sesuai syarat (30-300 bakteri) digunakan sebagai sampel bakteri dengan fotosensitizer klorofil ekstrak daun *angsana* (*P.Indicus*) untuk disiapkan kembali

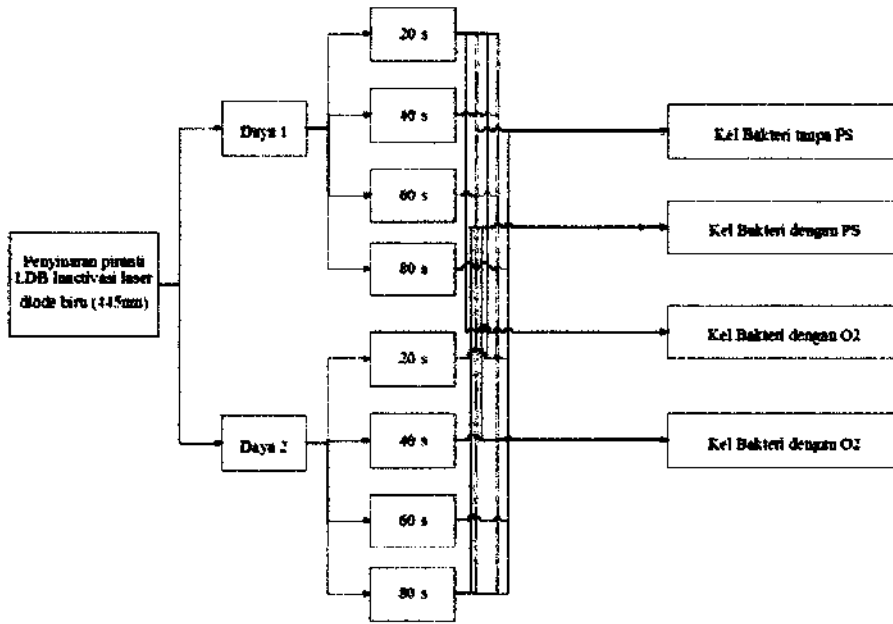
dalam 9 *PCR tube* dimana 8 sampel *PCR tube* untuk kelompok perlakuan dan 1 sampel *PCR tube* untuk kelompok kontrol pada sampel bakteri dengan fotosensitizer klorofil ekstrak daun *angsana* (*P.Indicus*).

Untuk sampel bakteri dengan fotosensitizer dan oksigen, kultur bakteri yang masih tersisa 4 mL digunakan kembali dengan ditambahkan fotosensitizer klorofil dengan konsentrasi 20%, sebanyak 1 mL kemudian diinkubasi selama 2 jam. Kemudian diberikan aliran oksigen 2 L/mnt. Selanjutnya dilakukan proses pengenceran dan *plating* dengan langkah-langkah sesuai dengan sebelumnya. Jumlah koloni bakteri dengan fotosensitizer dan oksigen klorofil pada pengenceran yang sesuai syarat (30-300 bakteri) digunakan sebagai sampel bakteri dengan fotosensitizer klorofil ekstrak daun *angsana* (*P.Indicus*) untuk disiapkan kembali dalam 9 *PCR tube* dimana 8 sampel *PCR tube* untuk kelompok perlakuan dan 1 sampel *PCR tube* untuk kelompok kontrol pada sampel bakteri dengan fotosensitizer klorofil ekstrak daun *angsana* (*P.Indicus*).

#### **4.2.1 Penyinaran Laser Dioda secara In Vitro**

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





Gambar 4. 5. Desain Penyinaran Sampel

Dosis energi merupakan perkalian rapat daya dengan waktu paparan, dimana waktu paparan dan rapat daya disesuaikan untuk memperoleh energi yang diinginkan, pada kedua laser dioda yang digunakan.

Setelah dilakukan penyinaran, bakteri pada *PCR tube* dipindahkan ke cawan petri. Tiap 1 *PCR tube* dibagi menjadi 4 cawan petri masing-masing 50  $\mu\text{L}$  sehingga isi *PCR tube* habis. Dari kelompok perlakuan diperoleh  $16 \times 4 = 64$  sampel bakteri dalam cawan petri, ditambah sampel bakteri kelompok kontrol negatif tanpa fotosensitizer sebanyak 4 sampel bakteri dalam cawan petri dan bakteri kelompok kontrol dengan pemberian fotosensitizer 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  $37^{\circ}\text{C}$  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. Data yang diperoleh dari proses tahapan penelitian akan dianalisis. Analisis tahapan pertama akan dianalisis secara instrumental. Tahapan kedua dilakukan analisis data CFU/mL dengan persamaan:

$$CFU/mL = \frac{\left( \sum \text{koloni} \times \frac{1}{f. \text{pengenceran}} \right)}{V_{\text{plate}}} \quad (4.1)$$

Kemudian diubah menjadi bentuk log CFU/mL untuk analisis persentase penurunan dengan persamaan (Hamilton, Martin A. 2010) :

$$\% \text{penurunan log CFU/mL} = \left| \frac{(\sum \text{kontrol} - \sum \text{perlakuan})}{\sum \text{kontrol}} \right| \times 100\% \quad (4.2)$$

Hasil persentase penurunan akan dilakukan uji statistik yaitu uji Kolgomorov-smirnov untuk mengetahui distribusi normal data, uji Levene untuk mengetahui data distribusi homogen dan ANOVA faktorial untuk mengetahui perbedaan setiap kelompok perlakuan dengan nilai galat atau signifikan  $p=0,05$ .

Dilakukan analisa pengaruh laser dioda baik itu spektrum 445 nm dengan variasi dosis energi dan dengan atau tanpa pemberian fotosensitizer klorofil ekstrak daun *P. Indicus* terhadap koloni bakteri *S. aureus*. Sehingga metode analisis ANOVA yang digunakan adalah metode anova faktorial untuk membandingkan

antara pengaruh spektrum laser dioda, dosis energi yang diberikan serta pemberian fotosensitizer terhadap bakteri.

# **BAB V**

## **HASIL DAN ANALISIS**

## BAB V

### HASIL DAN ANALISIS

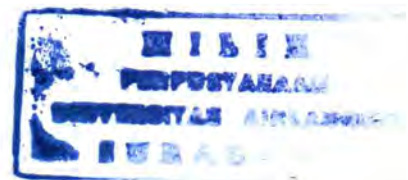
#### 5.1 Pembuatan Sistem Otomasi Piranti LDB Inaktivasi

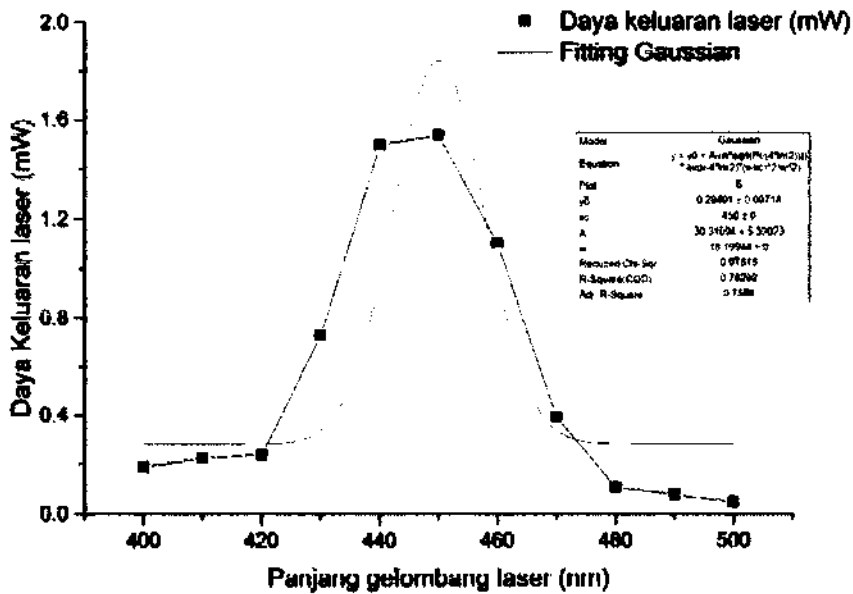
##### 5.1.1 Karakterisasi Laser Dioda Biru

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 400 nm sampai dengan panjang gelombang 500 nm dan diperoleh hasil grafik pada Gambar 5.1.



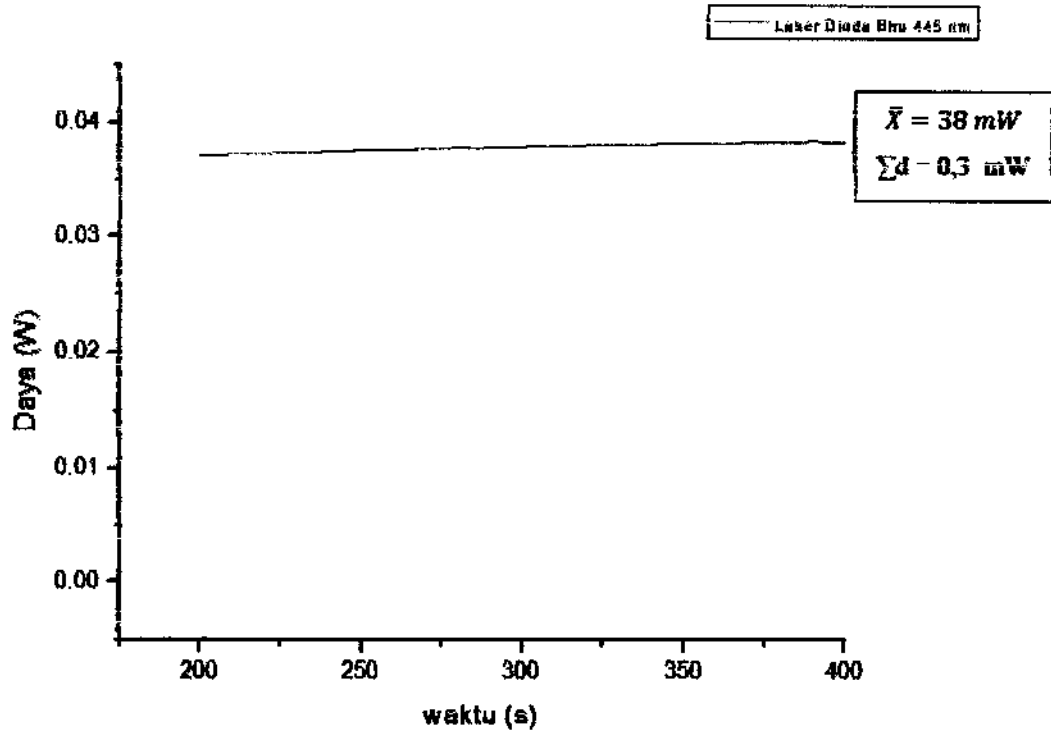


Gambar 5. 1 Grafik Karakterisasi Panjang gelombang Terhadap Daya Output Laser Dioda

Gambar 5.1 menunjukkan laser dioda menghasilkan berkas laser dengan panjang gelombang puncak di 450 nm dengan rentang FWHM 18,2 nm. Secara lengkap tabel data karakterisasi panjang gelombang terhadap daya output laser dioda tertampil pada lampiran.

### 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 V pada laser dan dinyalakan selama 900 detik, hasilnya diperoleh pada Gambar 5. 2.

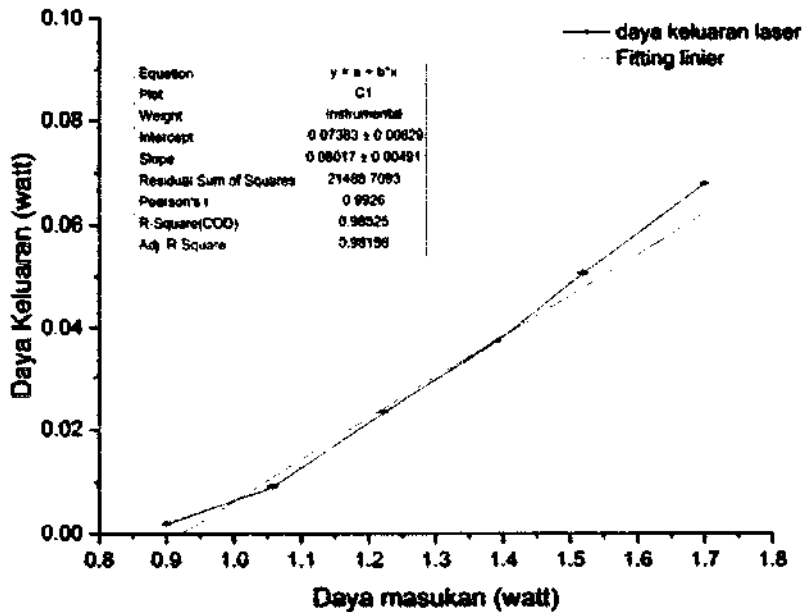


Gambar 5. 2. Grafik Karakterisasi Kestabilan Daya *Output* Laser Terhadap Waktu Paparan Laser Dioda

Gambar 5.2 menunjukkan bahwa daya *output* yang dihasilkan laser dioda cenderung stabil dengan daya keluaran sebesar 38mW dan nilai standar deviasi 0,3 mW. Secara lengkap tabel data karakterisasi kestabilan daya output laser terhadap waktu paparan laser dioda tertampil pada lampiran.

### 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 Karakterisasi Daya *Input* Terhadap Daya *Output*

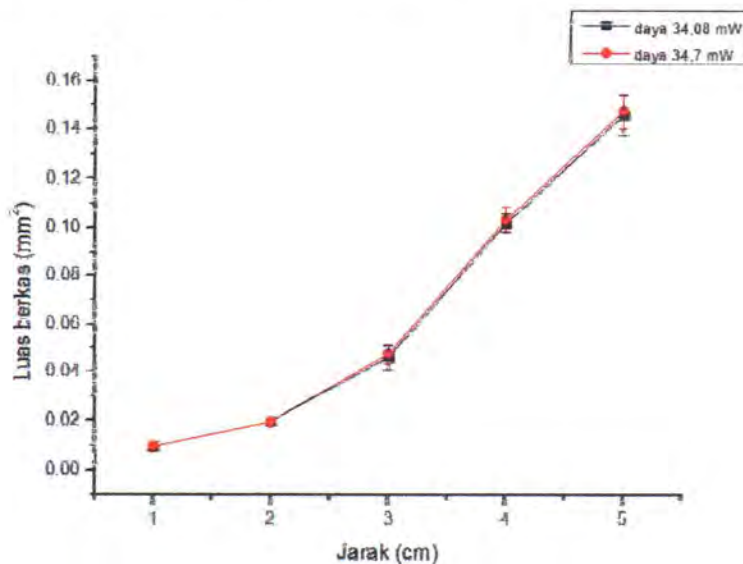
#### Laser Dioda 445 nm

Gambar 5.3 menunjukkan daya *output* yang dihasilkan laser dioda terhadap perubahan daya *input*. Pengukuran pada tegangan *input* 4,9 V dan arus terukur 0,31 A atau dengan daya *input* sebesar 1,5 W, diperoleh daya *output* sebesar 34,052 mW. Peningkatan daya masukan berdasarkan peningkatan tegangan menunjukkan adanya peningkatan secara linier terhadap daya keluaran. Dengan demikian, perubahan karakteristik tersebut dapat menjadi acuan untuk melakukan pengendalian daya *output* laser dioda. Terlihat pada daya *input* 1,7 W laser dioda dapat menghasilkan daya *output* mencapai 34,872 W. data karakterisasi daya *input* terhadap daya *output* laser dioda secara lengkap tertampil pada lampiran.



#### 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 dengan variasi 1 cm dan menandai luas berkas laser dioda yang dihasilkan untuk setiap daya *output* laser dioda yang digunakan. Hasilnya diperoleh pada Gambar 5. 4.



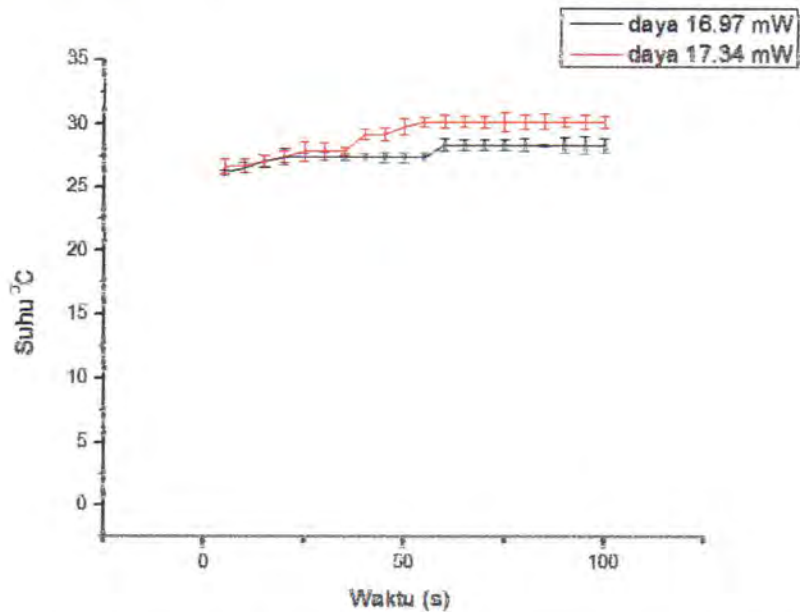
Gambar 5. 4 Karakterisasi Luas Berkas Laser Terhadap Perubahan Jarak Laser Dioda

Hasil karakterisasi luas berkas terhadap jarak laser memberikan peningkatan secara linier. Hasil karakterisasi ini akan menjadi acuan untuk design eksperimental dan penghitungan rapat energi yang dihasilkan oleh laser diode. data karakterisasi luas berkas laser dioda terhadap perubahan jarak laser dioda Secara lengkap tertampil pada lampiran.

### 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 2 output daya laser yang dikendalikan dengan perubahan tegangan. Dengan acuan karakteristik daya *input* terhadap daya *output* laser dioda 445 nm, diperoleh 2 pilihan daya *output* piranti

Laser dioda 445 nm yakni 16.97 mW dan 17.39 mW. Dari daya *output* tersebut selanjutnya dilakukan pengukuran karakteristik perubahan temperatur yang dihasilkan dari berkas paparan laser terhadap waktu paparan yang ditampilkan pada gambar 5. 5.



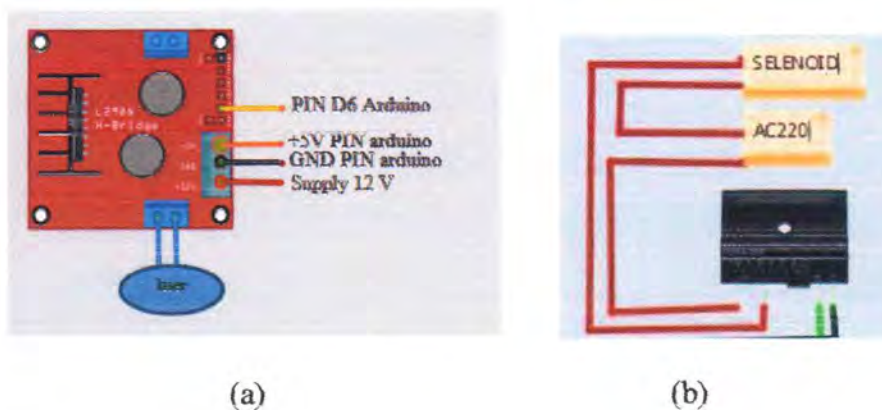
Gambar 5. 5 Grafik Karakterisasi Temperatur Paparan Setiap Daya *Output* Laser Terhadap Perubahan Waktu Paparan Laser Dioda.

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. 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 .

### 5.1.2 Driver Laser Dioda

Driver laser dioda dirancang dengan memodifikasi konfigurasi rangkaian *H-Bridge* L298N. Modifikasi dilakukan pada resistor *feedback* rangkaian sehingga mempengaruhi tegangan dan arus *output*.

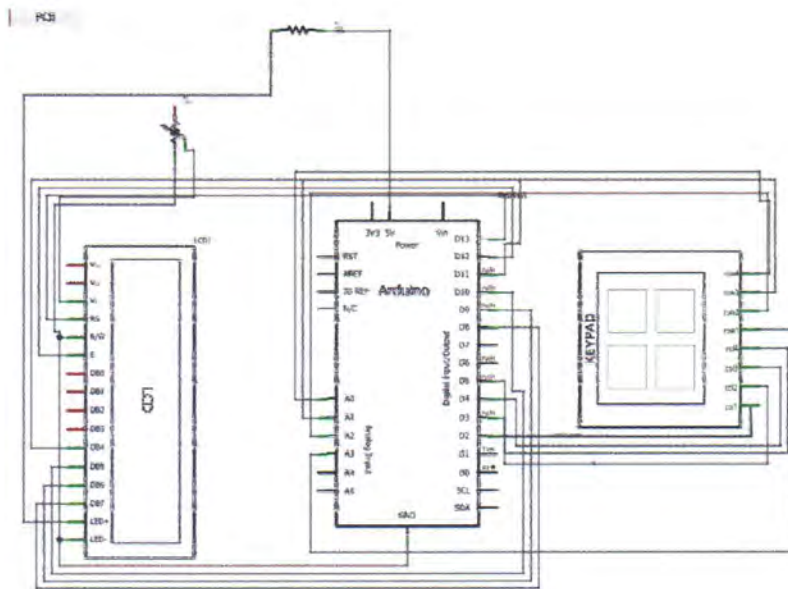


Gambar 5. 6 Konfigurasi Rangkaian *Driver laser* dengan *H-Bridge* L298N (a) dan solenoid valve (b)

Pada gambar 5.6 terdapat kode *port* IN1 yang merupakan *port* tegangan *input* yang dihubungkan dengan PIN D6 pada arduino yang akan mengatur tegangan *output* untuk laser sehingga diperoleh nilai daya yang diinginkan menggunakan sinyal PWM. Port +5V dihubungkan dengan port supply tegangan

+5V pada arduino. Port ground di hubungkan dengan port GND yang ada pada arduino. Port +12V dihubungkan dengan *supply adaptor* 12V. Kode port *SSR driver solenoid* pada solenoid valve dihubungkan dengan pin D7 pada arduino uno mengatur nyala solenoid valve.

### 5.1.3 Rangkaian Interface LCD dan Input Keypad



Gambar 5. 7 Schematic arduino uno dengan LCD 16x2 dan keypad 4x4

Dari gambar 5.7 dapat dilihat bahwa pin yang menghubungkan LCD 16x2 sebagai interface display dari piranti diatur oleh arduino uno. Konfigurasi pin antara arduino uno LCD 16x2 dan keypad 4x4 adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 1 Tabel konfigurasi PIN Arduino UNO

PIN ARDUINO UNO	PIN KOMPONEN
D2	KEYPAD 1
D3	KEYPAD 2

D4	KEYPAD 3
D5	KEYPAD 4
A3	KEYPAD 5
A2	KEYPAD 6
A1	KEYPAD 7
A0	KEYPAD 8
D13	LCD RS
D12	LCD EN
D11	LCD D4
D10	LCD D5
D9	LCD D6
D8	LCD D7

#### 5.1.4 Sistem Otomasi Pengendali Instrumen

Dalam mengendalikan instrumen *driver* laser dioda menggunakan arduino Uno melalui perintah PWM. Secara lengkap koding program arduino terlampir pada lampiran.

Untuk menyeting nyala laser adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Nyalakan modul aktivasi bakteri dengan menekan tombol power.



2. Tunggu sampai muncul pilihan menu. Pilih “1. SET LASER” dengan menekan tombol UP atau DOWN kemudian tekan ENT maka akan masuk menu pilihan tegangan.



3. Pilih daya yang diinginkan daya 1 atau daya 2 dengan cara menekan tombol UP atau DOWN. Setelah memilihnya tekan tombol ENT maka akan masuk pada menu pilihan timer.



4. Pilih timer yang diinginkan timer 1, timer 2, timer 3, timer 4 dan timer 5 dengan cara menekan tombol UP atau DOWN. Untuk memilih timer bisa juga dengan cara menekan tombol 1 untuk timer 1, tombol 2 untuk timer 2, tombol 3 untuk timer 3, tombol 4 untuk timer 4, dan tombol 5 untuk timer



5. Setelah mengesert dan memilih timer, untuk memulai menyalakan dengan cara menekan tombol ENT maka laser akan menyala.



6. Waktu akan berjalan mundur. Jika waktu telah habis maka laser akan mati.

Untuk kembali ke menu utama tekan tombol ENT.



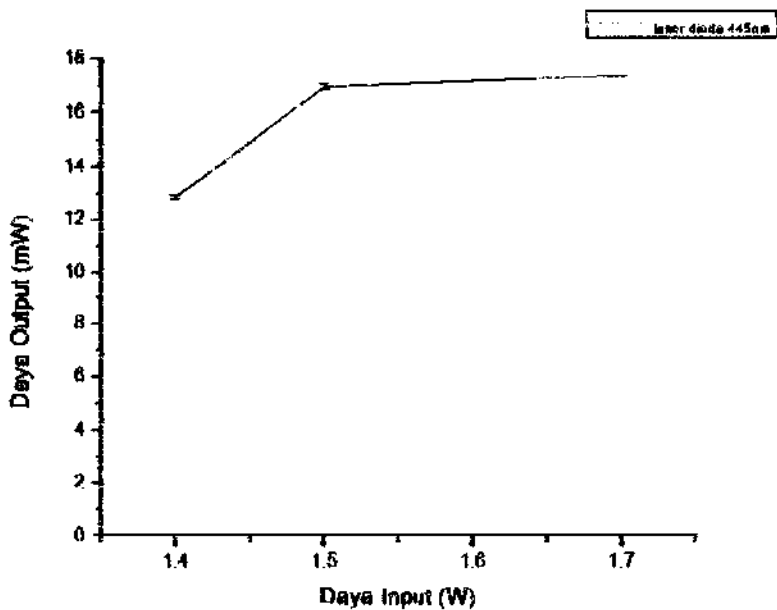
## 5.2 Uji Performansi Instrumen

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 pemaparan yang dihasilkan berkas laser dioda terhadap lama waktu paparan dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dari jarak 1 cm untuk tiap pilihan daya *output*.



### 5.2.1 Pengujian Daya *Input* Terhadap Daya *Output* dengan atau tanpa serat optik

Pengujian daya *input* dari pengendalian tegangan *input* terhadap daya *output* laser dioda, diperoleh hasil yang tertampil pada Gambar 5.8 dan dilakukan dengan dan tanpa penambahan fiber optik



Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Daya *Output* Terhadap Daya *Input* Laser Dioda 445 nm

Gambar 5.8 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. Daya keluaran dengan dan tanpa fiber optic menunjukkan peningkatan secara linier terhadap daya masukan laser. Data pengujian daya *output* terhadap daya *input* laser dioda secara lengkap dilampirkan pada lampiran 1.

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 5.2.

Tabel 5. 2Perbandingan Daya *Output* Laser Dioda

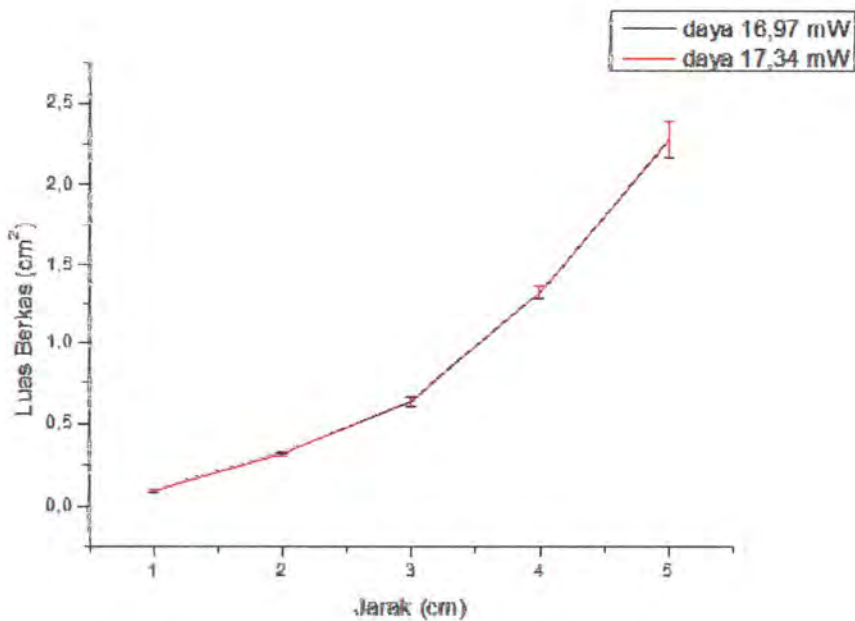
Daya <i>Input</i> (W)	Daya <i>Output</i> (W)		Efisiensi Fiber Optik (%)
	Tanpa Fiber Optik	Dengan Fiber Optik 8 mm	
1,4	25.72	12.86	50
1,5	34.052	16.974	50
1,7	34.784	17.392	50
Rerata			50

Tabel 5.2. menampilkan perbandingan antara daya *output* laser dioda 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 50 %.

### 5.2.2 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

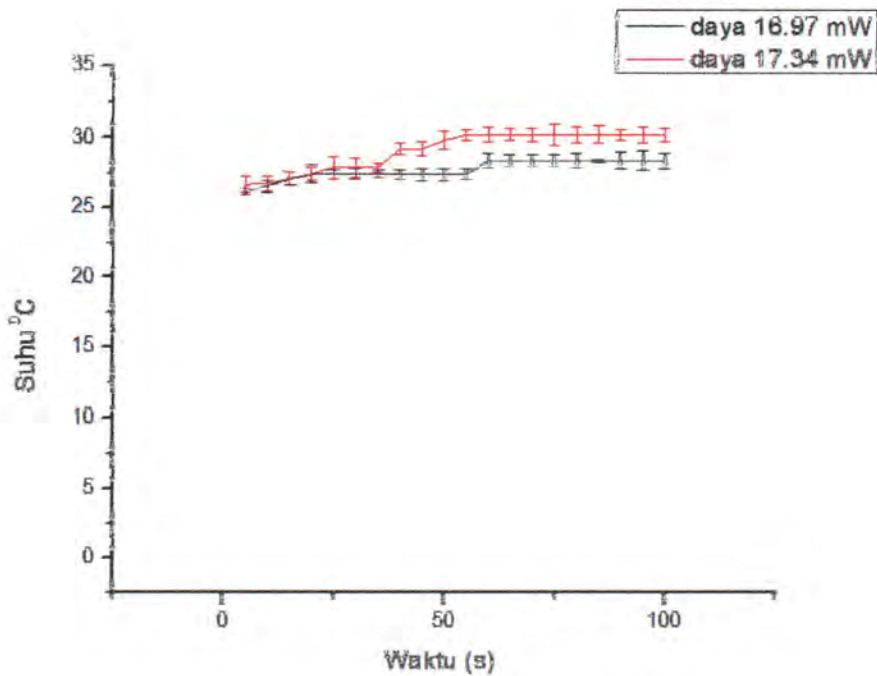
kenaikan tiap 1 cm untuk setiap pilihan daya *output* laser dioda dari kedua spektrum laser dioda yang digunakan. Pengujian dilakukan untuk setiap pilihan daya *output* dari laser dioda yang digunakan. Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.9. Data pengujian luas berkas paparan terhadap perubahan jarak. Secara lengkap dilampirkan pada lampiran.



Gambar 5. 9 Grafik Pengujian Luas Berkas Terhadap Perubahan Jarak.

### 5.2.3 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 Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.10.



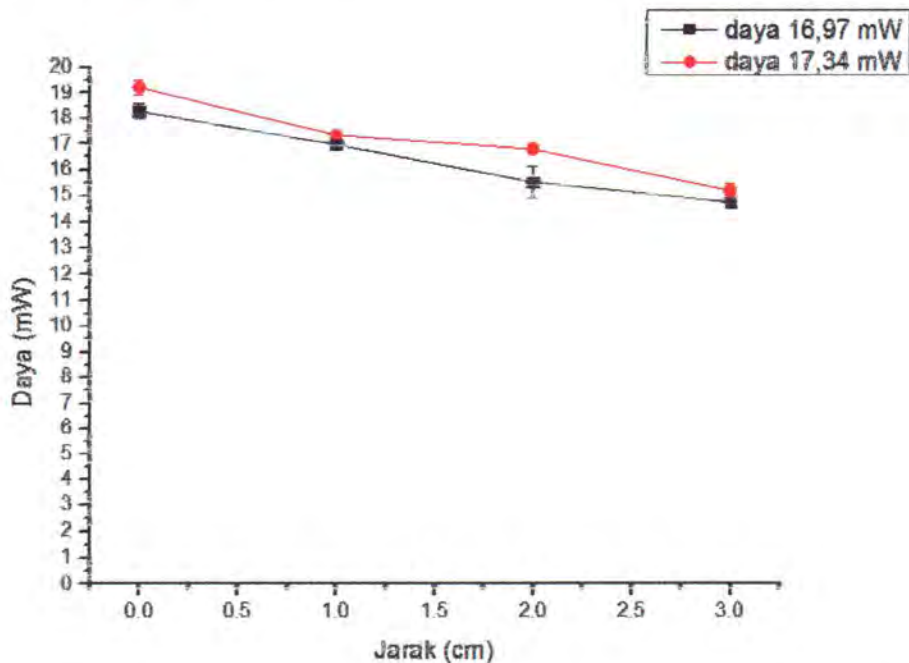
Gambar 5. 10 Grafik Pengujian Peningkatan Temperatur Terhadap Lama Waktu Paparan Laser Dioda 445 nm Dipandu Fiber Optik 8 mm Pada Jarak 1 cm.

Gambar 5.10 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* 16,97 mW akan mencapai temperatur tertinggi 31°C setelah 20 detik dan stabil, daya *output* 17,43 mW akan mencapai temperatur tertinggi 36°C setelah 20 detik dan stabil.

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

#### 5.2.4 Pengujian Daya *Output* Laser Terhadap Jarak

Pengujian daya *output* laser terhadap jarak dilakukan dengan memancarkan laser dioda dipandu fiber optik *multimode* 8 mm dengan jarak antara ujung *output* fiber optik ke sensor diubah dari 0 cm hingga 3 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 5.11



Gambar 5. 11 Grafik Pengujian Daya *Output* Laser Terhadap Perubahan Jarak Paparan Laser Dioda 445 nm Dipandu Fiber Optik 8 mm

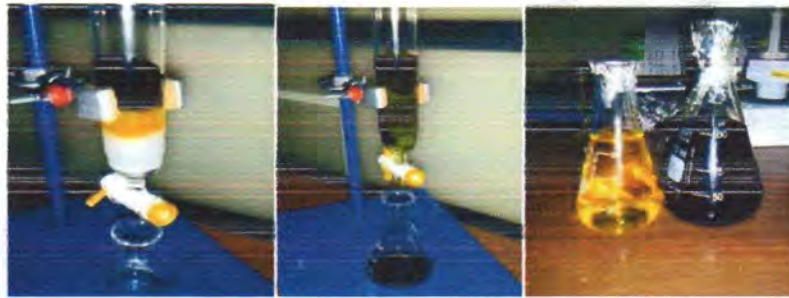
Gambar 5.11 menampilkan grafik hasil pengujian daya *output* yang menurun seiring semakin bertambahnya jarak paparan laser dioda 445 nm dipandu fiber optik *multimode* 8 mm. Penurunan daya *output* laser dioda terukur karena

bertambahnya jarak antara ujung fiber optik ke detektor untuk keempat pilihan daya *output* laser dioda. Data pengujian penurunan daya *output* laser dioda Secara lengkap terhadap perubahan jarak terlampir pada lampiran 5.

### 5.3 Hasil ekstraksi Photosensitizer Daun Angsana (*P.Indicus*)

Ekstraksi klorofil daun kelor dengan menggunakan metode pencampuran, penyaringan, kromatografi kolom, serta penguapan. kromatografi kolom menggunakan *silica gel* 60 sebagai fase diam dan *petroleum eter* sebagai pelarut polar yang bertujuan untuk memisahkan larutan kuning dari klorofil ditunjukkan pada Gambar 5.12. Pemisahan larutan kuning sebagai pengotor klorofil pada Gambar 5.12. (a) dengan menggunakan kolom *silica gel* berwarna putih. Selain kolom *silica gel* juga dimanfaatkan bahan kimia *petroleum eter* yang mampu memisahkan larutan kedua larutan sehingga tampak pada gambar terpisah menjadi 2 lapisan, yaitu warna hijau mengandung klorofil dan warna kuning mengandung karotenoid sebagai pengotor.

Pada Gambar 5. (b) menunjukkan proses penampungan larutan hijau dengan menggunakan pelarut aseton. Pelarut aseton dipilih sebagai pelarut klorofil karena merupakan pelarut organik polar yang aman dibandingkan dengan pelarut organik polar lainnya. Selain itu aseton juga tergolong sebagai pelarut klorofil yang memiliki puncak absorbansi terbaik (Sumanta *et al*, 2014). Larutan hijau dalam kolom *silica gel* Gambar 5. (b) telah bebas dari larutan kuning, sehingga dari proses penampungan larutan hijau diperoleh lebih kurang 100 ml seperti yang ditunjukkan Gambar 5. (c). Larutan ini kemudian diuapkan sehingga dihasilkan klorofil murni yang siap untuk diuji spektrum serap UV-VIS.



(a)

(b)

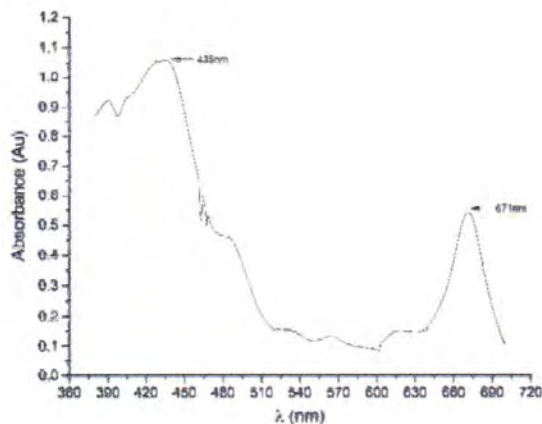
(c)

Gambar 5. Pemisahan pigmen kuning dari ekstrak klorofil

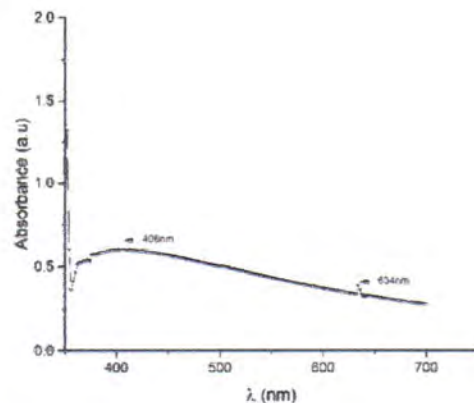
(a) Proses pemisahan pigmen warna kuning dari klorofil (b) Ekstrak klorofil bebas karotenoid (c) Hasil pemisahan pigmen kuning dan ekstrak klorofil.

### 5.3.1 Spektrum Serap Fotosensitizer

Penelitian ini menggunakan fotosensitizer yaitu obat yang dapat diaktifkan oleh cahaya. fotosensitizer yang digunakan adalah porphyrin yang diperoleh secara endogen dari sel bakteri *S. aureus* dan chlorophyll dari ekstrak daun suji (*Pterocarpus indicus*). Spektrum serap fotosensitizer dapat ditunjukkan pada Gambar .



(a)



(b)

Gambar 5. 12 Spektrum serap pada photosensitizer (a). Chlorophyll dan (b).

*S.aureus*

Berdasarkan hasil pengukuran absorbansi dari photosensitizer endogen, diperoleh puncak absorbance di panjang gelombang 406nm dan 634nm. Photosensitizer eksogen memiliki puncak absorbansi di panjang gelombang 435nm dan 471nm.

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

$$abs = \log \frac{1}{t} \quad (5.1)$$

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

$$\% \text{ absorpsi} = (1 - t) \times 100\% \quad (5.2)$$

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

Tabel 5. 3 Penghitungan persentase efisiensi kuantum absorbansi pada fotosensitizer.



Jenis fotosensitizer	Panjang gelombang laser (puncak)	OD	% efisiensi absorbansi %Abs = 1-log (1/T)	kuantum
Porphyrin (S.a)	450nm	0,567	75,35%	
Klorofil		0,879	94,39%	

Probabilitas absorbansi fotosensitizer yang menyerap energi cahaya ditunjukkan pada Tabel. Diperoleh probabilitas efisiensi kuantum absorbansi sebesar 94,39% pada *chlorophyll* ekstrak daun Sonokembang dan 75,35% pada porphyrin endogen.

#### 5.4 Penghitungan Rapat Energi yang terserap oleh fotosensitizer

Rapat energi yang diserap oleh setiap molekul ditunjukkan pada Tabel. Hasil penghitungan menunjukkan bahwa adanya pengurangan rapat energi yang tidak diserap oleh setiap molekul photosensitizer. Hal ini disebabkan oleh adanya % efisiensi kuantum yang menunjukkan probabilitas terserapnya energi cahaya.

Tabel 5. 4 Penghitungan rapat energi yang diserap oleh setiap molekul fotosensitizer

Daya keluaran laser (W)	Waktu penyinaran (s)	Luas berkas (cm <sup>2</sup> )	rapat energi penyinaran (J/cm <sup>2</sup> )	% efisiensi kuantum absorbansi	rapat energi yang terserap (J/cm <sup>2</sup> )
0,01697	20	0,1	0,3394	75,35%	2,5587366
	40	0,1	0,6788		5,1174732
	60	0,1	1,0182		7,6762098
	80	0,1	1,3576		10,2349464

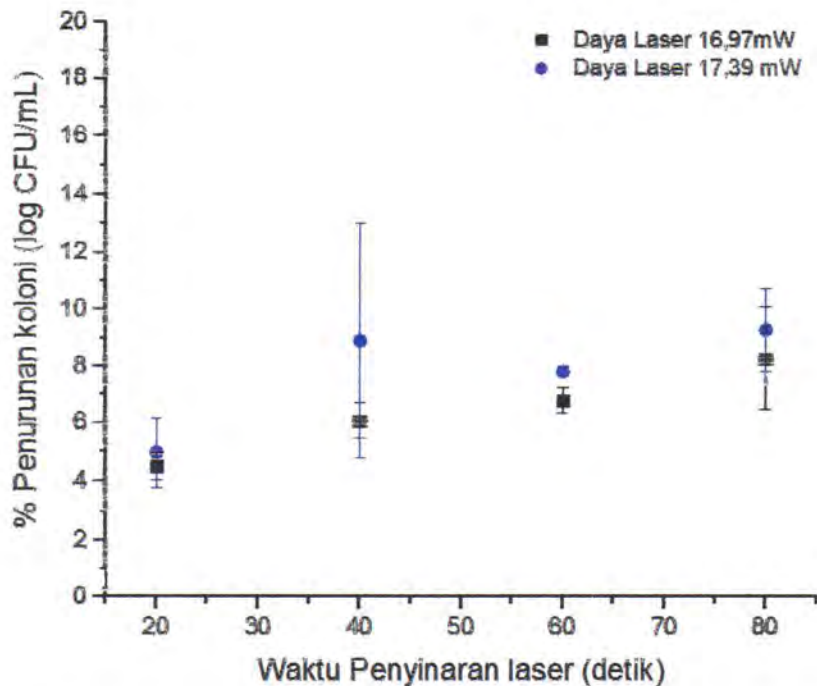
0,01739	20	0,1	3,478		2,6220642
	40	0,1	6,956		5,2441284
	60	0,1	10,434		7,8661926
	80	0,1	13,912		10,4882568
0,01697	20	0,1	3,394		3,2035966
	40	0,1	6,788		6,4071932
	60	0,1	10,182		9,6107898
	80	0,1	13,576		12,8143864
0,01739	20	0,1	3,478	94,39%	3,2828842
	40	0,1	6,956		6,5657684
	60	0,1	10,434		9,8486526
	80	0,1	13,912		13,1315368

### 5.5 Hasil Perlakuan Photodynamic pada Bakteri dengan Piranti LDB

Kelompok design photodynamic dengan piranti LDB dibagi menjadi enam kelompok sesuai dengan subbab 4. Kelompok design tersebut terdiri dari kelompok kontrol, kelompok penyinaran laser pada bakteri, kelompok penyinaran dengan penambahan oksigen eksternal pada bakteri, kelompok penyinaran laser dengan penambahan *chlorophyll* dan kelompok penyinaran laser yang ditambahkan oksigen eksternal dan *chlorophyll*. Daya keluaran laser yang digunakan adalah  $16,97 \pm 0,02$  mW dan  $17,39 \pm 0,03$  mW. Waktu pemaparan yang dilakukan adalah 20 s, 40s, 60s dan 80 s. Penambahan oksigen dilakukan dengan laju aliran dijaga tetap sebesar 2 liter/menit. Pengujian secara statistik yang akan dilakukan menggunakan uji ANOVA untuk mengetahui perbedaan setiap kelompok design dengan nilai galat  $p=0,05$ . Pengujian statistik dilampirkan pada Lampiran .

### 5.5.1. Hasil Perlakuan Kelompok Laser

Pengujian kelompok design pertama adalah kelompok design penyinaran laser. Hasil presentasi kematian pada kelompok design laser ditunjukkan pada Gambar (a) untuk daya keluaran laser 16,97 mW dan Gambar (b) untuk daya keluaran laser 17,39 mW.



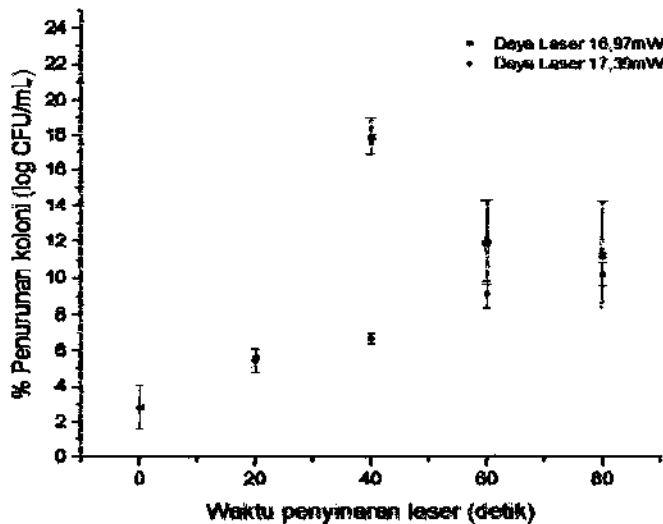
Gambar 5. 13 Hasil analisis kelompok laser dengan kelompok daya keluaran (a) 16,97 mW dan (b) 17,39 mW. Tanda \* menunjukkan  $p < 0,05$  dan \*\* menunjukkan  $p > 0,05$ .

Kedua kelompok data memiliki distribusi normal namun tidak terdistribusi homogen. Berdasarkan hasil analisis uji ANOVA yang ditunjukkan pada Gambar , diperoleh bahwa untuk kelompok data yang hanya memiliki perbedaan pada

kelompok dengan waktu pemaparan 10 detik dan 80 detik pada daya keluaran 16,97 mW sedangkan kelompok data lain tidak memiliki perbedaan.

### 5.5.2. Hasil Perlakuan Kelompok Laser dengan Penambahan Klorofil

Pengujian kelompok perlakuan kedua adalah kelompok perlakuan penyinaran laser dengan penambahan klorofil. Hasil presentasi kematian pada kelompok design laser ditunjukkan pada Gambar. Hasil penurunan koloni tersebar di kelompok laser daya 16,97 mW dengan waktu 40 detik sebesar  $17,96 \pm 1,04$  %.

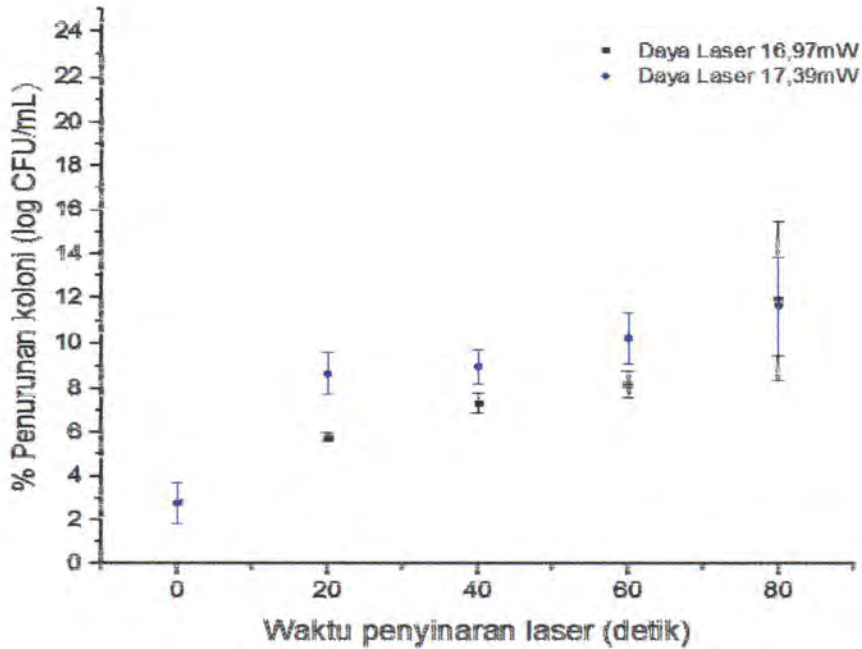


Gambar 5. 14 Hasil analisis kelompok laser dan penambahan klorofil

### 5.5.3. Hasil Perlakuan Kelompok Laser dengan Penambahan Oksigen

Pengujian kelompok design ketiga adalah kelompok design penyinaran laser dengan penambahan oksigen. Hasil presentasi kematian pada kelompok design laser ditunjukkan pada Gambar 5.16.

Pada kelompok penyinaran dengan laser dan penambahan oksigen memiliki kematian yang tinggi pada waktu pemaparan 60 detik dan 80 detik pada daya keluaran 16,97 mW sedangkan dengan daya keluaran 17,39 mW tidak memiliki perbedaan pada setiap kelompok data.

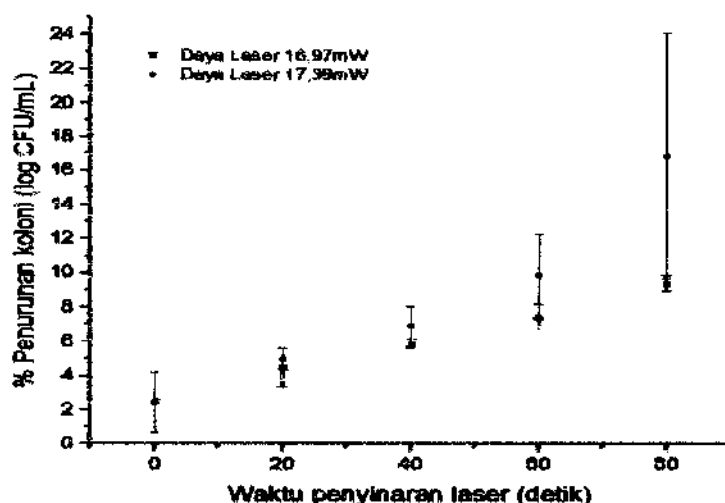


Gambar 5. 15 Hasil analisis kelompok laser dan penambahan oksigen

#### 5.5.4. Hasil Perlakuan Kelompok Laser dengan Penambahan Klorofil dan Oksigen

Pengujian kelompok design keempat adalah kelompok design penyinaran laser dengan penambahan *chlorophyll* dan oksigen. Hasil presentasi kematian pada kelompok design laser ditunjukkan pada Gambar. Hasil Presentasi setiap variasi penyinaran meningkat secara linier.

Pada kedua kelompok perlakuan tersebut memiliki persentase kematian paling tinggi pada waktu pemaparan 60 detik dan 80 detik.



Gambar.17 Hasil analisis kelompok laser dan penambahan klorofil dan oksigen

**5.5.5. Uji ANOVA Faktorial pada Persentase Penurunan Koloni**

Perbandingan dari seluruh perlakuan dilakukan analisis uji ANOVA faktorial. Hasil uji ANOVA factorial ditunjukkan pada Lampiran .Syarat uji ini adalah data harus terdistribusi normal dan variasi setiap parameter perlakuan harus minimal 3 variasi. Penelitian ini memiliki design perlakuan yaitu 2 variasi daya keluaran laser, 4 variasi waktu, 1 variasi penambahan klorofil dan 1 variasi penambahan oksigen.

Hasil ANOVA factorial hanya dapat memperoleh hasil statistic dengan Post Hock Tukey pada kelompok perlakuan waktu yang ditunjukkan pada Tabel . dan setiap kelompok pada setiap kelompok perlakuan.

Tabel 5. 5 Hasil Posh Hoct Tukey pada kelompok waktu

**Homogeneous Subsets**

Data

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

kel waktu	N	Subset
-----------	---	--------

		1	2	3
80s	24	8.62496		
60s	24		8.83676	
40s	24		8.86841	
20s	24			9.16210
Sig.		1.000	.940	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .037.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 24.000.

b. Alpha = .05.

Hasil uji Tukey pada kelompok waktu menunjukkan bahwa dengan waktu pemaparan 20 detik dan 80 detik memiliki perbedaan dibandingkan dengan waktu 40 detik maupun 60 detik. Penurunan yang lebih besar ditunjukkan pada waktu penyinaran 20 detik. Hasil Tukey pada seluruh kelompok menunjukkan bahwa kelompok perlakuan penyinaran daya 16,97mW dengan waktu 40 detik dan penambahan klorofil memiliki jumlah koloni CFU/mL yang lebih sedikit namun tidak memiliki perbedaan dengan perlakuan kelompok daya keluaran 17,39mW selama 80 detik dan penambahan oksigen dan klorofil, kelompok 16,97 mW selama 60 detik dan penambahan klorofil, kelompok 16,97mW selama 80 detik dan penambahan oksigen dan kelompok 17,39mW selama 80 detik dan penambahan oksigen.

Tabel data presentase kematian bakteri keseluruhan

Faktor	Kelompok	N	Presentase kematian bakteri (% log CFU/mL)		Anova	
			Rerata	SD	Signifikansi	Kesimpulan

Daya	16,97 mW	64	8.30267	0.264631		Tidak ada beda bermakna
	17,39 mW	64	8.844418	0.08126		
	Total	128	8.5373	0.1729		
Waktu	20 s	32	5.595297	0.26138	p = 0,000	Ada beda bermakna
	40 s	32	8.821393	0.25454		
	60 s	32	8.947569	0.40772		
	80 s	32	11.12992	0.27721		
	Total	128	8.5735	0.1729		
Kelompok perlakuan	Laser	32	7.09032	1.1855	p = 0,005	Ada beda bermakna
	Klorofil	32	9.827126	0.64264		
	Oksigen	32	9.120178	0.625033		
	Oksigen dan klorofil	32	8.256552	0.6096		
	Total	128	8.5735	0.1729		
Interaksi	Laser Daya 16,97 mW waktu 20 s	4	4.50199	0.4235	p > 0,005	Ada beda bermakna
	Laser Daya 16,97 mW waktu 40 s	4	6.07216	0.60789		
	Laser Daya 16,97 mW waktu 60 s	4	6.77297	0.44032		
	Laser Daya 16,97 mW waktu 80 s	4	8.271102	1.8202		
	Laser Daya 17,39 mW waktu 20 s	4	5.01567	1.0009		
	Laser Daya 17,39 mW waktu 40 s	4	8.93425	0.4523		
	Laser Daya 17,39 mW waktu 60 s	4	7.89654	0.17623		
	Laser Daya 17,39 mW waktu 80 s	4	9.3187	0.6754		
	Klorofil Daya 16,97 mW waktu 20 s	4	5.63176	0.5019		
	Klorofil Daya 16,97 mW waktu 40 s	4	17.96311	0.40017		
	Klorofil Daya 16,97 mW waktu 60 s	4	11.97432	1.00432		
	Klorofil Daya 16,97 mW waktu 80 s	4	11.2732	1.2914		
	Klorofil Daya 17,39 mW waktu 20 s	4	5.52237	0.64022		
	Klorofil Daya 17,39 mW waktu 40 s	4	6.7651	0.2849		
	Klorofil Daya	4	9.20907	0.72933		



17,39 mW waktu 60 s							
Klorofil Daya 17,39 mW waktu 80 s	4	10.27367	0.2341				
Oksigen Daya 16,97 mW waktu 20 s	4	5.80562	0.1987	p = 0,005	Ada beda bermakna		
Oksigen Daya 16,97 mW waktu 40 s	4	7.33977	0.6708				
Oksigen Daya 16,97 mW waktu 60 s	4	8.18923	0.4392				
Oksigen Daya 16,97 mW waktu 80 s	4	11.8922	0.7112				
Oksigen Daya 17,39 mW waktu 20 s	4	8.7179	0.9371				
Oksigen Daya 17,39 mW waktu 40 s	4	9.0330	0.7598				
Oksigen Daya 17,39 mW waktu 60 s	4	10.2861	0.6845				
Oksigen Daya 17,39 mW waktu 80 s	4	11.7033	0.6006				
Oksigen klorofil Daya 16,97 mW waktu 20 s		4.4901	1.002				
Oksigen klorofil Daya 16,97 mW waktu 40 s	4	5.8716	0.1452			p = 0,005	Ada beda bermakna
Oksigen klorofil Daya 16,97 mW waktu 60 s	4	7.4266	0.2293				
Oksigen klorofil Daya 16,97 mW waktu 80 s	4	9.3707	0.7688				
Oksigen klorofil Daya 17,39 mW waktu 20 s	4	5.0821	0.3241				
Oksigen klorofil Daya 17,39 mW waktu 40 s	4	6.9912	0.4483				
Oksigen klorofil Daya 17,39 mW waktu 60 s	4	9.8894	0.7442				
Oksigen klorofil Daya 17,39 mW waktu 80 s	4	16.9291	1.0012				
Total	128	8.3573	0.1735				

# **BAB VI**

# **PEMBAHASAN**



## BAB VI

### PEMBAHASAN

Penelitian yang telah dilakukan terdiri dari dua tahap. Penelitian tahap pertama merupakan perancangan sistem pengendali pada keluaran laser dioda yaitu pengaturandaya *output* dan lama waktu penyinaran laser dioda. Laser dioda digunakan sebagai sumber cahaya pada penelitian tahap kedua yakni pengujian *photodynamic* pada bakteri *S.aureus* dengan fotosensitizer endogen yaitu porphyrin dan dengan penambahan fotosensitizer eksogen yaitu klorofil dari ekstrak daun sonokembang (*Pterocarpus indicus*).

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).

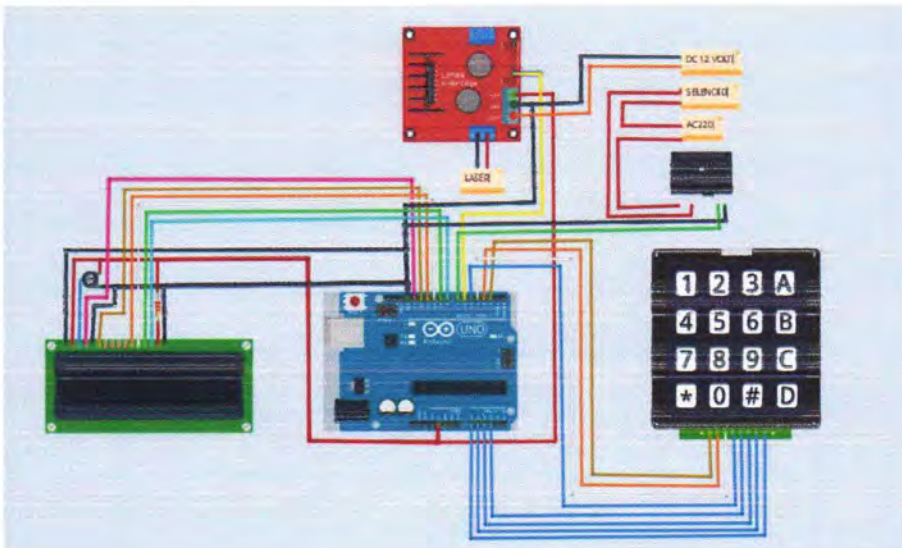
Data karakterisasi panjang gelombang yang dihasilkan laser dioda 445 nm menggunakan monokromator JASCO CT-10 dan detektor powermeter Thorlabs PM100D, dari panjang gelombang 400 nm sampai 500 nm menunjukkan laser dioda 445 nm menghasilkan foton terstimulasi dengan *peak daya output* tertinggi mencapai  $36,9 \pm 0,107$  mW pada panjang gelombang 450 nm. Dapat disimpulkan foton terstimulasi yang lebih dominan dihasilkan oleh laser dioda 445 nm adalah foton dengan panjang gelombang 450 nm .

Karakterisasi daya *input* terhadap daya *output* laser dioda baik itu untuk laser dioda 445 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 450 nm, untuk tegangan *input* 4,9 V, arus yang mengalir ke laser dioda sebesar 0,31 A atau daya *input* laser sebesar 1,5 W, daya *output* laser yang terukur sebesar  $34,052 \pm 0,17$  W. Selanjutnya dengan tegangan *input* 5 V, arus yang mengalir ke laser dioda sebesar 0,34 A atau daya *input* laser sebesar 1,7 W, daya *output* laser yang terukur sebesar  $34,784 \pm 0,16$  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.

Dari data karakteristik laser dioda tersebut dirancang dan dihasilkan sistem otomasi pengendali laser dioda yang dapat menghasilkan tegangan *input* bervariasi serta pengendalian waktu. Pada penelitian, instrumen hanya

mengendalikan laser dioda untuk menghasilkan masing-masing 2 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 50 % untuk laser dioda 445 nm.

Perancangan dan pembuatan sistem otomasi piranti LDB fotoinaktivasi didasarkan pada data hasil karakterisasi sehingga didapat nilai efektif untuk performansi piranti.



Gambar 6.1 Schematic Sistem Otomasi Piranti LDB Fotoinaktivasi Bakteri.

Pada gambar 6.1 Dapat dilihat rangkaian dari sistem otomasi piranti LDB fotoinaktivasi bakteri. Pada sistem ini terdapat 5 instrumen utama yakni:

1. Board Arduino Uno sebagai Main Control Unit
2. IC L298N (H-Bridge) sebagai driver laser
3. LCD display sebagai interface display piranti
4. Keypad sebagai input piranti
5. ADC converter sebagai buck converter solenoid valve

Dimana MCU pada sistem otomasi berfungsi mengatur kerja dari laser dan solenoid valve. Dengan mengubah sinyal PWM maka laser dan solenoid akan bekerja sesuai dengan instruksi yang diberikan oleh operator. Konfigurasi PIN rangkaian sistem otomasi LDB foto inaktivasi ditunjukkan pada tabel 6. .

Tabel 6. Konfigurasi PIN pada Arduino Uno

PIN ARDUINO UNO	PIN KOMPONEN
D2	KEYPAD 1
D3	KEYPAD 2
D4	KEYPAD 3
D5	KEYPAD 4
A3	KEYPAD 5
A2	KEYPAD 6
A1	KEYPAD 7
A0	KEYPAD 8
D6	DRIVER LASER IN1
D7	SSR/ DRIVER SELENOID
D13	LCD RS
D12	LCD EN
D11	LCD D4
D10	LCD D5
D9	LCD D6
D8	LCD D7

Perancangan sistem pengendali laser dioda biru berdasarkan faktor keberhasilan pada *photodynamic therapy*. Faktor-faktor tersebut adalah kesesuaian antara spektrum serap fotosensitizer dan panjang gelombang cahaya, penyerapan dosis energi (daya keluaran sumber cahaya dan waktu pemaparan),

jumlah konsentrasi fotosensitizer, jumlah *reactive oxygen spesies* (ROS) yang dihasilkan melalui proses fotokimia dan lokalisasi sel target.

Fotosensitizer merupakan obat yang sangat peka terhadap cahaya. Kepekaan ini dapat terjadi jika spektrum serap fotosensitizer sesuai dengan panjang gelombang cahaya laser. Fotosensitizer endogen yaitu di dalam tubuh bakteri *S. aureus* memiliki berbagai jenis spektrum serap bergantung pada jenis molekul fotosensitizer (Ramberg dkk, 2004). Kebanyakan jenis porphyrin memiliki probabilitas spektrum serap di wilayah biru (Papageorgiou dkk, 2000). Konsentrasi porphyrin di dalam tubuh sangat mempengaruhi proses kematian sel namun sulit untuk mendeteksi jumlahnya karena bergantung pada metabolisme tubuh. Berdasarkan pada hasil efisiensi kuantum absorpsi hanya 75,35% maka kematian bakteri tidak hampir keseluruhan efektif. Untuk itu diperlukan fotosensitizer eksogen untuk memperbesar faktor keberhasilan pada fotodinamik. Penelitian ini menggunakan fotosensitizer klorofil dengan menggunakan ekstrak daun sonokembang dan diperoleh efisiensi kuantum absorpsi sebesar 95,37% sehingga dapat diperoleh probabilitas penyerapan energi cahaya oleh fotosensitizer lebih besar.

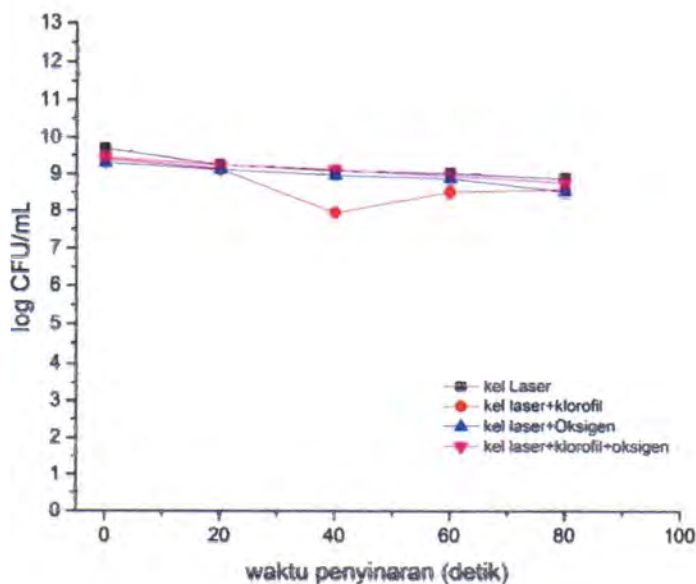
Untuk mencapai proses fotokimia agar dapat menghasilkan ROS maka diperlukan dosis energi yang sesuai. Dosis energi ini dipengaruhi oleh daya keluaran laser dengan waktu pemaparan. Kematian sel target yang tinggi hanya dapat diperoleh jika besar daya keluaran laser dan waktu pematang sesuai. Untuk itu, melalui sistem pengendali dilakukan pembagian daya keluaran laser berdasarkan daya masukan. Hasil keseluruhan data kelompok ditunjukkan pada Tabel 6.2 dan Gambar 6.2. Hasil grafik menunjukkan adanya penurunan pada

setiap kelompok data. Hasil grafik menunjukkan bahwa pada kelompok laser dengan daya keluaran 16,97 mW memiliki penurunan yang tinggi jika diberikan klorofil dan waktu pemaparan 40 detik. Untuk kelompok data yang lain, hampir keseluruhan tidak memiliki perbedaan yang bermakna.

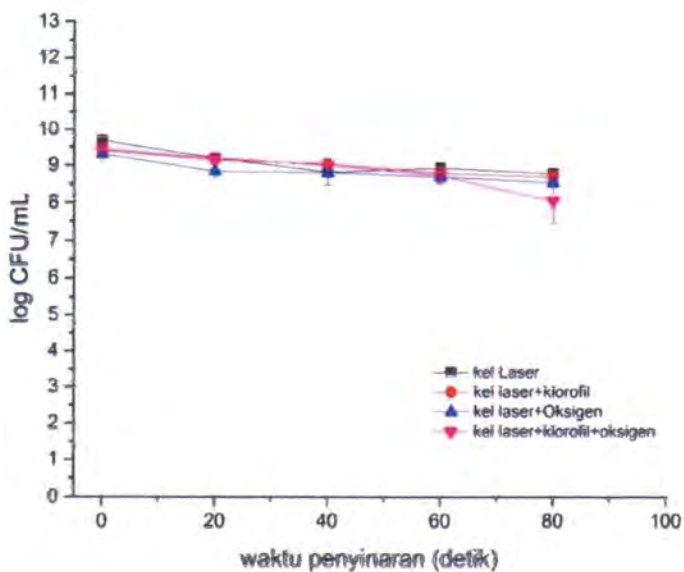
Tabel 6.2 Jumlah Koloni Bakteri *S.aureus* (CFU/mL)

Kel	Daya Keluaran laser 16,97 Mw			
	20 detik	40 detik	60 detik	80 detik
S1	$5,13 \times 10^9 \pm 7,34 \times 10^8$			
S2	$2,7 \times 10^9 \pm 4,9 \times 10^8$			
S3	$1,6 \times 10^9 \pm 9,56 \times 10^8$			
S4	$1,86 \times 10^9 \pm 1,41 \times 10^8$	$1,31 \times 10^9 \pm 1,39 \times 10^8$	$1,12 \times 10^9 \pm 9,1 \times 10^7$	$8,4 \times 10^8 \pm 2,4 \times 10^8$
S5	$1,49 \times 10^9 \pm 8,2 \times 10^7$	$9,3 \times 10^7 \pm 1,7 \times 10^7$	$3,8 \times 10^8 \pm 1,5 \times 10^8$	$4,7 \times 10^8 \pm 1,2 \times 10^8$
S6	$1,04 \times 10^9 \pm 5,94 \times 10^8$	$7,4 \times 10^8 \pm 4,44 \times 10^8$	$6,15 \times 10^8 \pm 3,55 \times 10^8$	$3,25 \times 10^9 \pm 1,62 \times 10^8$
S7	$1,9 \times 10^9 \pm 4,1 \times 10^8$	$1,37 \times 10^8 \pm 5,7 \times 10^7$	$9,73 \times 10^8 \pm 1,27 \times 10^8$	$6,27 \times 10^8 \pm 5,2 \times 10^7$
Kel	Daya Keluaran laser 17,39 mW			
	20 detik	40 detik	60 detik	80 detik
S1	$5,13 \times 10^9 \pm 7,34 \times 10^8$			
S2	$2,7 \times 10^9 \pm 4,9 \times 10^8$			
S3	$1,6 \times 10^9 \pm 9,56 \times 10^8$			
S4	$1,69 \times 10^9 \pm 3,4 \times 10^8$	$8,67 \times 10^8 \pm 4,71 \times 10^8$	$8,8 \times 10^8 \pm 2,8 \times 10^7$	$6,53 \times 10^8 \pm 1,6 \times 10^8$
S5	$1,5 \times 10^9 \pm 1,7 \times 10^8$	$1,1 \times 10^9 \pm 4,3 \times 10^7$	$6,5 \times 10^9 \pm 8,2 \times 10^7$	$5,1 \times 10^8 \pm 3 \times 10^7$
S6	$5,5 \times 10^8 \pm 2,67 \times 10^8$	$5,1 \times 10^8 \pm 2,53 \times 10^8$	$3,9 \times 10^8 \pm 2,15 \times 10^8$	$3 \times 10^8 \pm 1,7 \times 10^8$
S7	$1,64 \times 10^9 \pm 1,88 \times 10^8$	$1,09 \times 10^9 \pm 2,36 \times 10^8$	$6,07 \times 10^8 \pm 2,22 \times 10^8$	$2,2 \times 10^9 \pm 1,93 \times 10^8$





(a)



(b)

Gambar 6.2 Hasil Keseluruhan kelompok perlakuan dengan daya keluaran laser (a) 16,97 mW dan (b) 17,39 mW.

Berdasar pada hasil fotodinamik pada setiap kelompok design maka diperoleh kematian koloni dengan kelompok data penyinaran laser dengan daya

keluaran 16,97 mW selama 40 detik dan diberikan penambahan klorofil memiliki kematian koloni yang paling besar yaitu 17,96 %. Meskipun demikian, setiap kelompok data memberikan penurunan koloni namun tidak memiliki perbedaan yang bermakna secara statistik. Sesuai dengan konseptual dari fotodinamik yaitu hanya dengan dosis energi yang tepat yang dapat menghasilkan kematian koloni yang besar.

Penurunan koloni dipengaruhi oleh jumlah ROS yang dihasilkan dari proses fotokimia. Proses ini memiliki probabilitas yang kecil karena molekul photosensitizer harus berada di keadaan *triplet*. Untuk mencapai keadaan *triplet*, maka fotosensitizer harus melalui proses *intersystem crossing* yaitu perubahan keadaan eksitasi singlet menuju keadaan *triplet* dengan ditandai perubahan jumlah spin elektron. Proses ISC ini memiliki probabilitas kecil karena dilarang oleh asas Pauli. Agar dapat terjadi maka diperlukan energi yang cukup oleh fotosensitizer agar keadaan energinya tumpang tindih pada keadaan *triplet*. Hal ini dapat terjadi jika penyerapan energi cahaya harus terpenuhi. Jika penyerapan cahaya oleh fotosensitizer ini berlebihan atau kurang maka akan dibuang melalui proses *internal conversion*, *fluoresensi*, *vibration relaxation* atau panas.

Proses fotokimia adalah interaksi fotosensitizer dengan molekul di sekitar seperti sel biologis dan molekul oksigen untuk menghasilkan ROS (Maish, 2007). Penelitian ini menggunakan tambahan oksigen eksternal namun hasil penurunan koloni tidak memberikan penurunan yang berbeda dengan kelompok perlakuan laser, laser dan klorofil, maupun kelompok laser, klorofil dan oksigen. Penjelasan tentang fenomena ini masih harus ditelusuri lebih lanjut.

# **BAB VII**

## **KESIMPULAN DAN SARAN**



## BAB VII

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 7.1 Kesimpulan

1. Rancang bangun sistem otomasi piranti LDB fotoinaktivasi bakteri menggunakan H-Bridge L298N sebagai driver laser dan ATmega328 pada *board* arduino uno sebagai *Main Control Unit* .
2. Pengaruh kelompok perlakuan laser, klorofil, oksigen dengan klorofil, dan oksigen pada koloni bakteri menunjukkan penurunan jumlah koloni bakteri. Namun sesuai dengan konsep dari fotodinamik yaitu hanya dengan dosis energi yang tepat yang dapat menghasilkan kematian koloni bakteri yang maksimal.
3. Berdasar pada hasil fotodinamik pada setiap kelompok penyinaran maka diperoleh kematian koloni dengan kelompok data penyinaran laser dengan nilai dosis energi paling efektif sebesar  $6,7188 \text{ J/cm}^2$  dan diberikan penambahan klorofil memiliki kematian koloni yang paling besar yaitu 17,96 %.

#### 7.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian serupa selanjutnya antara lain:

1. Dapat dilakukan penelitian fotodinamik dengan bakteri patogen dan menggunakan variasi dosis energi lainnya dengan waktu paparan diusahakan tidak lebih dari 40 detik

2. Disarankan menggunakan fiber optik dengan efisiensi yang lebih besar untuk memperkecil rugi-rugi daya *output* laser.

## DAFTAR PUSTAKA



## DAFTAR PUSTAKA

- Ackroyd, R, C Kelty, N Brown, and M Reed. 2001. "The History of Photodetection and Fotodinamik Therapy." *Photochemistry and photobiology* 74(5): 656–69.
- Adesida SA, Abioye OA, Bamiro BS, Brai BI, Smith SI, Amisu KO, et al. Associated risk factors and pulsed field gel electrophoresis of nasal isolates of *S.aureus* from medical students in a tertiary hospital in Lagos, Nigeria. *Braz J Infect Dis* 2007;11:63-9.
- Anderson KL, Dothard EF, Huang KE, Feldman SR. Frequency of primary nonadherence to acne treatment. *JAMA Dermatol.* 2015;151(6):623-626.
- Astuti, Suryani Dyah, A. Zaidan, Ernie Maduratna Setiawati, and Suhariningsih. 2016. "Klorofil Mediated Fotodinamik 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. 2013. "ATmega328A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P." : 58.
- 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.
- Basak PY, Cetin ES, G€urses I, €Ozseven AG. The effects of systemic isotretinoin and antibiotic therapy on the microbial floras in patients with acne vulgaris. *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 2012;27:332-336.
- Bez Y, Yesilova Y, Kaya MC, Sir A. High social phobia frequency and related disability in patients with acne vulgaris. *Eur J Dermatol* 2011;21:756-60.
- 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>.

- 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.
- Chavez-Bueno S, Bozdogan B, Katz K, et al. Inducible clindamycin resistance and molecular epidemiologic trends in pediatric community-acquired methicillin-resistant *S.aureus* in Dallas, Texas. *Antimicrob Agents Chemother.* 2005;49:2283-2288.
- Clinical and Laboratory Standards Institute. Performance Standards antimicrobial susceptibility testing; seventeen information supplement; 2007;27:M100-S17.
- Cox, Ben. 2007. "Introduction to Laser-Tissue Interactions." *PHAS 4886* (March): 1–61. [http://www.tomg.ps.pl/laser-tissue\\_March07.pdf](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.
- Fanelli M, Kupperman E, Lautenbach E, Edelstein PH, Margolis DJ. Antibiotics, acne, and *S.aureus* colonization. *Arch Dermatol* 2011;147:917-921.
- Gregory R. Delost, DO, Maria E. Delost, PhD, James Armile, DO, FAOCD, and Jenifer Lloyd, DO, FAAD. 2016. "S.aureus carriage rates and antibiotic resistance patterns in patients with acne vulgaris." *JAAD* Volume 74, Issue 4, Pages 673–678. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaad.2015.11.025>
- 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.

- 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>  
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3071049&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- Hamilton, Martin A. 2010. "The Log Reduction (LR) measure of disinfectant efficacy" MSU center for biofilm; 2010 KSA-SM-07.
- 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>.
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>.
- Jawetz et al. 2000. Mikrobiologi Kedokteran Jawetz, Melnick, & Adelberg, Ed.23, Translation of Jawetz, Melnick and Adelberg's Medical Microbiology.
- Khorvash F, Abdi F, Ataei B, Fattahi Neisiani H, Hasanzadeh Kashani H, Narimani T. Nasal Carriage of *S.aureus*: Frequency and antibiotic resistance in healthy adults. *J Res Med Sci* 2012:17.
- 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>.
- Kusmita, Lia, and Leenawaty Limantara. 2009. "The Influence of Strong and Weak Acid upon Aggregation and Pheophytinization of Klorofil 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.
- 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 Fotodinamik Therapy — A Discovery Originating from The Pre-Antibiotic Era in A Novel Periodontal Therapy." *Photodiagnosis and Fotodinamik 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
- Schubert, E. Fred. 2003. *Light Emitting Diodes*. New York: Cambridge University Press.
- Wainwright, Mark. 1998. "Photodynamic Antimicrobial Chemotherapy (PACT)." *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 42.1: 13–28.
- Wertheim HF, Melles DC, Vos MC, van Leeuwen W, van Belkum A, et al. The role of nasal carriage in *S.aureus* infections. *Lancet Infect Dis* 2005;5:751-62.

# LAMPIRAN



## LAMPIRAN 1

Data karakterisasi Laser Dioda 445nm

Panjang gelombang terhadap Daya

panjang gelombang	daya output (mW)						std.dev
	replikasi 1	replikasi 2	replikasi 3	replikasi 4	replikasi 5	Rerata	
400	1.88769	1.83499	1.86749	1.78969	1.85679	1.84733	0.037415
410	2.36088	2.27098	2.34088	2.29088	2.26088	2.3049	0.043912
420	2.39417	2.38657	2.37817	2.41417	2.31017	2.37665	0.039481
430	14.64684	14.64904	14.64684	14.64904	14.64684	14.64772	0.001205
440	29.7532	29.9592	30.2192	30.2192	29.9592	30.022	0.198694
450	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
460	22.138	22.138	22.138	22.138	24.138	22.538	0.894427
470	3.95434	3.95434	3.96634	3.84534	3.94564	3.9332	0.049664
480	1.099324	1.089374	1.099324	1.096324	1.098324	1.0965338	0.004186
490	0.795528	0.794558	0.790528	0.796728	0.787528	0.792974	0.003833
500	0.501979	0.502979	0.522979	0.502679	0.512979	0.508719	0.00917

Daya input terhadap daya output

V in	A in	P in	daya output (mW)					Rerata	std.dev
			replikasi 1	replikasi 2	replikasi 3	replikasi 4	replikasi 5		
4,8	0,29	1,4	25.6	25.8	25.6	25.8	25.8	25.72	0.109545
4,9	0,31	1,5	34.24	33.96	33.86	34.24	33.96	34.052	0.176409
5,0	0,34	1,7	34.78	34.8	34.76	34.78	34.8	34.784	0.016733

Waktu terhadap daya output

waktu	daya (mW)					rerata	std.dev
	replikasi 1	replikasi 2	replikasi 3	replikasi 4	replikasi 5		
5	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
10	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
15	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
20	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
25	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
30	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
35	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
40	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
45	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
50	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
55	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198

60	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
65	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
70	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
75	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
80	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
85	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
90	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
95	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
100	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
105	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
110	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
115	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
120	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
125	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
130	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
135	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
140	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
145	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
150	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
155	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
160	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
165	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
170	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
175	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
180	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	36.1888	36.07264	0.124715
185	35.888	35.888	36.1888	36.0488	35.888	35.98032	0.135759
190	35.888	35.888	36.1888	36.0488	35.888	35.98032	0.135759
195	35.888	35.888	36.1888	36.0488	35.888	35.98032	0.135759
200	35.888	35.888	36.1888	36.0488	35.888	35.98032	0.135759
205	35.888	35.888	36.1888	36.0488	35.888	35.98032	0.135759
210	35.888	35.888	36.1888	36.0488	35.888	35.98032	0.135759
215	35.888	35.888	36.1888	36.0488	35.888	35.98032	0.135759
220	35.888	35.888	36.1888	36.0488	35.888	35.98032	0.135759
225	35.888	35.888	36.1888	36.0488	35.888	35.98032	0.135759
230	36.0488	36.1888	36.1888	36.0488	35.888	36.07264	0.124715
235	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
240	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
245	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
250	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
255	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
260	36.0488	36.1888	36.1888	36.0488	35.888	36.07264	0.124715
265	36.0488	36.1888	36.1888	36.0488	35.888	36.07264	0.124715
270	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198

275	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
280	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
285	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
290	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
295	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
300	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
305	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
310	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
315	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
320	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
325	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
330	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
335	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
340	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
345	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
350	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
355	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
360	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
365	36.0488	36.1888	36.1888	35.888	35.888	36.04048	0.150472
370	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
375	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
380	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
385	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
390	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
395	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
400	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
405	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
410	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
415	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
420	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
425	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
430	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
435	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
440	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
445	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
450	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
455	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
460	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
465	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
470	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
475	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
480	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
485	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198

490	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
495	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
500	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
505	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
510	36.0488	35.888	36.1888	36.0488	35.888	36.01248	0.127198
515	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
520	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
525	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
530	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
535	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
540	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
545	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
550	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
555	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
560	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
565	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
570	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
575	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
580	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
585	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
590	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
595	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
600	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
605	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
610	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
615	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
620	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
625	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
630	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
635	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
640	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
645	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
650	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
655	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
660	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
665	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
670	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
675	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
680	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
685	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
690	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
695	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
700	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359



705	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
710	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
715	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
720	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
725	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
730	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
735	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
740	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
745	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
750	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
755	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
760	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
765	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
770	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
775	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
780	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
785	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
790	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
795	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
800	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
805	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
810	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
815	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
820	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
825	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
830	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
835	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
840	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
845	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
850	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
855	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
860	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
865	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
870	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
875	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
880	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
885	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
890	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
895	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359
900	36.0488	39.888	36.1888	38.0488	39.888	38.01248	1.885359

Jarak terhadap luas berkas

Daya	Jarak (cm)	Luas Berkas (mm <sup>2</sup> )						Luas Berkas (cm <sup>2</sup> )	Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata		
34,08 mW	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
34,7 mW	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

Daya output terhadap suhu

Daya Output (mW)	Waktu (s)	Temperatur (°C)						Standar deviasi
		Replika si 1	Replika si 2	Replika si 3	Replika si 4	Replikasi 5	Rerata	
34,08 mW	0	26	26.4	26.4	26	26	26.16	0.21908902
	5	26	27	26.4	27	26.4	26.56	0.43358967
	10	26.4	28	26.8	28	26.4	27.12	0.51283526
	15	27.8	27	28	27	27.4	27.44	0.65726707
	20	27.8	27	28	27	27.4	27.44	0.28809721
	25	27.8	27	28	27	27.4	27.44	0.35637059
	30	27.2	27	28	27	28	27.44	0.27748874
	35	26.4	27.8	27	28	28.9	27.62	0.29664794
	40	27	28	26.4	28.9	28.9	27.84	0.42190046
	45	27.8	29	26.8	27	28	27.72	0.42190046
	50		29.7	27.8	28	27	28.125	0.35777088
	55		28.8	29	28.9	27	28.425	0.95350232
	60	28	28.6	28.6	29	28	28.44	0.43358967
	65	28.8	29	28.6	28	28.9	28.66	0.39749214
	70	28.5	28.8	29	28.8	28	28.62	0.38987177
	75	28.6	28.5	28.8	29.1	29.7	28.94	0.48270074
	80	29	29	29	29	28.8	28.96	0.08944272
	85	28.8	29	28.5	29.7	30	29.2	0.62849025
	90	28.5	29.7	29.8	28.8	30	29.36	0.66558245
	95	30	29	29	30.6	30.8	29.88	0.85556999
100	30	29.1	30.9	29	31	30	0.95131488	
105	29	29	29	30	28.5	29.1	0.54772256	

	110	28	29.7	30.8	29	29	29.3	1.03440804
	115	30.3	30	28	28.7	29.7	29.34	0.96072889
	120	30.4	30.5	28	29.7	28.7	29.46	1.08765803
	125	30	30.8	29.7	28	29.7	29.64	1.02127371
	130	29.7	29.7	30	29.7	30.8	29.98	0.47644517
	135	30	30	29	30	29	29.6	0.54772256
	140	29	29.7	29.7	30.4	30	29.76	0.51283526
	145	28.9	30	30	30.4	30.6	29.98	0.65726707
	150	29.9	30	30.5	30.4	30.5	30.26	0.28809721
	155	30.1	30.6	30.8	30.9	31	30.68	0.35637059
	160	30.3	30.6	30.8	30.9	31	30.72	0.27748874
	165	30.3	30.6	30.8	31	31	30.74	0.29664794
	170	30.4	30.6	30.8	31.5	31	30.86	0.42190046
	175	30.4	30.6	30.8	31.5	31	30.86	0.42190046
	180	30.5	30.8	30.8	31.4	31.2	30.94	0.35777088
	185	30.4	31.5	31.2	30.5	30.4	30.8	0.51478151
	190	30.4	31.2		30.6	30.5	30.675	0.35939764
	195	30.5	30.8	30.8	31.5	31.5	31.02	0.45497253
	200	30.6	31.8	31.8	31.5	31.2	31.98	0.36331804
34,7 mW	0	27.5	27.2	26.7	26	26.4	26.76	0.60249481
	5	27.8	27	27.5	26	26	26.86	0.83546394
	10	26.9	26.9	27.8	27.5	26.9	27.2	0.42426407
	15	28	28	26.9	27.8	28	27.74	0.47749346
	20	27.5	29	27.5	26.9	27.5	27.68	0.78230429
	25	29	27.8	29	28	27.5	28.26	0.69856997
	30	30.6	29	28	29	29	29.12	0.9338094
	35	29.7	28	29.7	29	30	29.28	0.8043631
	40	29	29	29	29.7	30	29.34	0.47749346
	45	30.2	30	29.8	29	30.8	29.96	0.65421709
	50	30.6	29.9	30	30.6	30.6	30.34	0.35777088
	55	29.7	30.2	29.8	31	30.2	30.18	0.51185936
	60	30.8	30.8	31	30.8	30	30.68	0.38987177
	65	31	31.1	32	32,2	31.5	31.4	0.45460606
	70	31	31.1	32	32,3	32.5	31.65	0.72341781
	75	31	31.1	32	32,4	32	31.525	0.55
	80	31	30	32	32,5	32	31.25	0.95742711
	85	33	32	31	31	32	31.8	0.83666003
	90	33	32	32	32	33	32.4	0.54772256
	95	33	33.2	32	33	33	32.84	0.47749346
100	33	33.2	34.2	34,9	34.5	33.725	0.73654599	
105	33	31.2	32	32	34.5	32.54	1.2680694	
110	33	33.2	32	32	34.5	32.94	1.03344085	

115	33	32.2	32	32	34.5	32.74	1.06677083
120	33	33	34,13	32	33.5	32.875	0.62915287
125	33	34.2	34,14	32	33.5	33.175	0.92511261
130	33	34.2	34,15	33	33.5	33.425	0.56789083
135	33	33.1	34,16	32	34.5	33.15	1.02794293
140	32	33.1	34,17	31	34.5	32.65	1.50222058
145	32	33.1	34.2	32	34.5	33.16	1.18025421
150	32	33.1	34.2	34.2	34,13	33.375	1.05316982
155	32	33.1	34.2	33.1	34,14	33.1	0.89814624
160	32	33.1	34.2	34,21	34,15	33.1	1.1
165	33	33.1	34.2	34,22	34,16	33.43333	0.66583281
170	33	33.1	34.2	34,23	34,17	33.43333	0.66583281
175	33	33.1	34.2	34,24	34.2	33.625	0.66520673
180	33	34.2	34.2	34,25	34.2	33.9	0.6
185	33	34.2	34.2	34,26	34.2	33.9	0.6
190	33	34.2	34.2	34,27	34.2	33.9	0.6
195	33	34.2	34.2	34,28	34.2	33.9	0.6
200	33	34.2	34.2	34,29	34,25	33.8	0.69282032

Jarak terhadap daya keluaran

Pilih Daya	Jarak (cm)	Daya (W)					rerata	std.dev
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5		
34,08	0	37	37.2	35.6	36.4	36.6	36.56	0.622896
	1	34.24	33.96	33.86	33.72	33.96	33.948	0.190578
	2	32.8	31.6	31	29.8	30	31.04	1.228007
	3	29	29.4	30	29.6	29.4	29.48	0.363318
34,7	0	39.2	38.8	38.8	38	37.8	38.52	0.593296
	1	34.78	34.8	34.76	34.78	34.8	34.784	0.016733
	2	34	33.6	33.6	34	33.2	33.68	0.334664
	3	30.4	31.2	30.8	29.8	30	30.44	0.572713

## LAMPIRAN 2

LAMPIRAN CODING SYSTEM OTOMASI PIRANTI LDB  
INAKTIVASI

```

#include <LiquidCrystal.h>
#include <Keypad.h>
#include <EEPROM.h>

const int sel = 7;
const int laser = 6;
float brightness = 103;

long int t1=0,t2=0,t3=0, t4=0,t5=0;
int a=0,f=0,n=0;

long int waktu=10;
int led_sel=0;
int m_set=1,pos=1,m_sel=0,m_volt=1,m_time=1;
const byte ROWS = 4; //four rows
const byte COLS = 4; //three columns
char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {2, 3, 4, 5}; //connect to the row
pinouts of the keypad
byte colPins[COLS] = {A0, A1, A2, A3}; //connect to the
column pinouts of the keypad

Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins,
ROWS, COLS );
LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);
void setup() {
  pinMode(sel, OUTPUT);
  pinMode(laser, OUTPUT);
  // set up the LCD's number of columns and rows:
  lcd.begin(16, 2);
  // Print a message to the LCD.
  lcd.print("MODUL INAKTIVASI");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("  BAKTERI");
  digitalWrite(sel, LOW);
  analogWrite(laser,0);
  delay(2000);
  lcd.clear();
  char key = keypad.getKey();
  if(key=='0'){
    EEPROMWritelong(5 , t1);
    EEPROMWritelong(10 , t2);
    EEPROMWritelong(15 , t3);
  }
}

```

```

EEPROMWritelong(20 , t4);
EEPROMWritelong(25 , t5);
}

t1=EEPROMReadlong(5);
t2=EEPROMReadlong(10);
t3=EEPROMReadlong(15);
t4=EEPROMReadlong(20);
t5=EEPROMReadlong(25);
}

void loop() {
  char key = keypad.getKey();

  while(pos==1){
    char key = keypad.getKey();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("MENU");
    if(m_set==1){
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("1.SET LASER  ");
      if (key=='#'){pos=2;lcd.clear();}
    }
    if(m_set==2){
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("2.SET SELENOID");
      if (key=='#'){pos=0; m_sel=1;lcd.clear();}
    }
    if(m_set==3){m_set=1;}
    if(m_set==0){m_set=2;}

    if (key) {
      if (key=='C'){m_set++;}
      if (key=='D'){m_set--;}
    }
  }

  while(m_sel==1){
    char key = keypad.getKey();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SET SELENOID");
    if(led_sel==0){
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("OFF");
      if (key=='#'){pos=1; m_sel=0;lcd.clear();}
    }
    if(led_sel==1){
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("ON ");
      if (key=='#'){pos=1; m_sel=0;lcd.clear();}
    }
    if(led_sel==2){led_sel=0;}
    if(led_sel==-1){led_sel=1;}

    if (key=='C'){led_sel++;}
    if (key=='D'){led_sel--;}
  }
}

```

```

}

while(pos==2){
char key = keypad.getKey();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("TEGANGAN LASER");
if(m_volt==1){
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("5.0 VOLT");
  brightness=104;
  if (key=='#'){pos=3; m_sel=0;lcd.clear();}
}
if(m_volt==2){
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("4.9 VOLT");
  brightness=102;
  if (key=='#'){pos=3; m_sel=0;lcd.clear();}
}
if(m_volt==3){m_volt=1;}
if(m_volt==0){m_volt=2;}

  if (key=='C'){m_volt++;}
  if (key=='D'){m_volt--;}
}

while(pos==3){
char key = keypad.getKey();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("TIME ON LASER");

if(m_time==1){
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("T1= ");
  lcd.print(t1);
  lcd.print(" SECOND          ");
  if (key=='B'){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SET TIMER 1");
    a=1;
    while(a){
      char key = keypad.getKey();
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print(t1);
      lcd.print(" SECOND          ");
      if (t1<0){t1=0;}
      if (t1>1000000){t1=0;}
      if(f<5){
        if
(key=='0'){n=0;f++;if(f==1){t1=n;}if(f>=2){t1=(t1*10)+n;}}
        if
(key=='1'){n=1;f++;if(f==1){t1=n;}if(f>=2){t1=(t1*10)+n;}}
        if
(key=='2'){n=2;f++;if(f==1){t1=n;}if(f>=2){t1=(t1*10)+n;}}
        if
(key=='3'){n=3;f++;if(f==1){t1=n;}if(f>=2){t1=(t1*10)+n;}}
        if
(key=='4'){n=4;f++;if(f==1){t1=n;}if(f>=2){t1=(t1*10)+n;}}

```

```

        if
(key=='5') {n=5;f++;if(f==1){t1=n;}if(f>=2){t1=(t1*10)+n;}}
        if
(key=='6') {n=6;f++;if(f==1){t1=n;}if(f>=2){t1=(t1*10)+n;}}
        if
(key=='7') {n=7;f++;if(f==1){t1=n;}if(f>=2){t1=(t1*10)+n;}}
        if
(key=='8') {n=8;f++;if(f==1){t1=n;}if(f>=2){t1=(t1*10)+n;}}
        if
(key=='9') {n=9;f++;if(f==1){t1=n;}if(f>=2){t1=(t1*10)+n;}}
    }
    if (key=='*'){t1=0;f=0;}
    if (key=='C'){t1++;}
    if (key=='D'){t1--;}
    if (key=='#')(EEPROMWritelong(5
t1);lcd.clear();a=0;f=0;}
    }
}
if (key=='#')(waktu=t1;pos=4;lcd.clear();)
}
if(m_time==2){
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("T2= ");
lcd.print(t2);
lcd.print(" SECOND          ");
if (key=='B'){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SET TIMER 2");
    a=1;
    while(a){
        char key = keypad.getKey();
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(t2);
        lcd.print(" SECOND          ");
        if (t2<0){t2=0;}
        if (t2>1000000){t2=0;}
        if(f<5){
            if
(key=='0') {n=0;f++;if(f==1){t2=n;}if(f>=2){t2=(t2*10)+n;}}
            if
(key=='1') {n=1;f++;if(f==1){t2=n;}if(f>=2){t2=(t2*10)+n;}}
            if
(key=='2') {n=2;f++;if(f==1){t2=n;}if(f>=2){t2=(t2*10)+n;}}
            if
(key=='3') {n=3;f++;if(f==1){t2=n;}if(f>=2){t2=(t2*10)+n;}}
            if
(key=='4') {n=4;f++;if(f==1){t2=n;}if(f>=2){t2=(t2*10)+n;}}
            if
(key=='5') {n=5;f++;if(f==1){t2=n;}if(f>=2){t2=(t2*10)+n;}}
            if
(key=='6') {n=6;f++;if(f==1){t2=n;}if(f>=2){t2=(t2*10)+n;}}
            if
(key=='7') {n=7;f++;if(f==1){t2=n;}if(f>=2){t2=(t2*10)+n;}}
            if
(key=='8') {n=8;f++;if(f==1){t2=n;}if(f>=2){t2=(t2*10)+n;}}
            if
(key=='9') {n=9;f++;if(f==1){t2=n;}if(f>=2){t2=(t2*10)+n;}}
        }
    }
}

```



```

        if (key=='*'){t2=0;f=0;}
        if (key=='C'){t2++;}
        if (key=='D'){t2--;}
        if (key=='#'){EEPROMWritelong(10
t2);lcd.clear();a=0;f=0;}
    }
}
if (key=='#'){waktu=t2;pos=4;lcd.clear();}
}
if(m_time==3){
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("T3= ");
lcd.print(t3);
lcd.print(" SECOND          ");
if (key=='B'){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SET TIMER 3");
    a=1;
    while(a){
        char key = keypad.getKey();
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(t3);
        lcd.print(" SECOND          ");
        if (t3<0){t3=0;}
        if (t3>1000000){t3=0;}
        if(f<5){
            if
(key=='0'){n=0;f++;if(f==1){t3=n;}if(f>=2){t3=(t3*10)+n;}}
            if
(key=='1'){n=1;f++;if(f==1){t3=n;}if(f>=2){t3=(t3*10)+n;}}
            if
(key=='2'){n=2;f++;if(f==1){t3=n;}if(f>=2){t3=(t3*10)+n;}}
            if
(key=='3'){n=3;f++;if(f==1){t3=n;}if(f>=2){t3=(t3*10)+n;}}
            if
(key=='4'){n=4;f++;if(f==1){t3=n;}if(f>=2){t3=(t3*10)+n;}}
            if
(key=='5'){n=5;f++;if(f==1){t3=n;}if(f>=2){t3=(t3*10)+n;}}
            if
(key=='6'){n=6;f++;if(f==1){t3=n;}if(f>=2){t3=(t3*10)+n;}}
            if
(key=='7'){n=7;f++;if(f==1){t3=n;}if(f>=2){t3=(t3*10)+n;}}
            if
(key=='8'){n=8;f++;if(f==1){t3=n;}if(f>=2){t3=(t3*10)+n;}}
            if
(key=='9'){n=9;f++;if(f==1){t3=n;}if(f>=2){t3=(t3*10)+n;}}
        }
        if (key=='*'){t3=0;f=0;}
        if (key=='C'){t3++;}
        if (key=='D'){t3--;}
        if (key=='#'){EEPROMWritelong(15
t3);lcd.clear();a=0;f=0;}
    }
}
if (key=='#'){waktu=t3;pos=4;lcd.clear();}
}
if(m_time==4){
lcd.setCursor(0, 1);

```

```

lcd.print("T4= ");
lcd.print(t4);
lcd.print(" SECOND          ");
if (key=='B'){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("SET TIMER 4");
  a=1;
  while(a){
    char key = keypad.getKey();
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(t4);
    lcd.print(" SECOND          ");
    if (t4<0){t4=0;}
    if (t4>1000000){t4=0;}
    if(f<5){
      if
(key=='0'){n=0;f++;if(f==1){t4=n;}if(f>=2){t4=(t4*10)+n;}}
      if
(key=='1'){n=1;f++;if(f==1){t4=n;}if(f>=2){t4=(t4*10)+n;}}
      if
(key=='2'){n=2;f++;if(f==1){t4=n;}if(f>=2){t4=(t4*10)+n;}}
      if
(key=='3'){n=3;f++;if(f==1){t4=n;}if(f>=2){t4=(t4*10)+n;}}
      if
(key=='4'){n=4;f++;if(f==1){t4=n;}if(f>=2){t4=(t4*10)+n;}}
      if
(key=='5'){n=5;f++;if(f==1){t4=n;}if(f>=2){t4=(t4*10)+n;}}
      if
(key=='6'){n=6;f++;if(f==1){t4=n;}if(f>=2){t4=(t4*10)+n;}}
      if
(key=='7'){n=7;f++;if(f==1){t4=n;}if(f>=2){t4=(t4*10)+n;}}
      if
(key=='8'){n=8;f++;if(f==1){t4=n;}if(f>=2){t4=(t4*10)+n;}}
      if
(key=='9'){n=9;f++;if(f==1){t4=n;}if(f>=2){t4=(t4*10)+n;}}
    )
    if (key=='*'){t4=0;f=0;}
    if (key=='C'){t4++;}
    if (key=='D'){t4--;}
    if
(t4);lcd.clear();a=0;f=0;)
  )
}
if (key=='#'){waktu=t4;pos=4;lcd.clear();}
)
if(m_time==5){
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("T5= ");
  lcd.print(t5);
  lcd.print(" SECOND          ");
  if (key=='B'){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SET TIMER 5");
    a=1;
    while(a){
      char key = keypad.getKey();
      lcd.setCursor(0, 1);

```

```

        lcd.print(t5);
        lcd.print(" SECOND          ");
        if (t5<0){t5=0;}
        if (t5>1000000){t5=0;}
        if(f<5){
            if
(key=='0'){n=0;f++;if(f==1){t5=n;}if(f>=2){t5=(t5*10)+n;}}
            if
(key=='1'){n=1;f++;if(f==1){t5=n;}if(f>=2){t5=(t5*10)+n;}}
            if
(key=='2'){n=2;f++;if(f==1){t5=n;}if(f>=2){t5=(t5*10)+n;}}
            if
(key=='3'){n=3;f++;if(f==1){t5=n;}if(f>=2){t5=(t5*10)+n;}}
            if
(key=='4'){n=4;f++;if(f==1){t5=n;}if(f>=2){t5=(t5*10)+n;}}
            if
(key=='5'){n=5;f++;if(f==1){t5=n;}if(f>=2){t5=(t5*10)+n;}}
            if
(key=='6'){n=6;f++;if(f==1){t5=n;}if(f>=2){t5=(t5*10)+n;}}
            if
(key=='7'){n=7;f++;if(f==1){t5=n;}if(f>=2){t5=(t5*10)+n;}}
            if
(key=='8'){n=8;f++;if(f==1){t5=n;}if(f>=2){t5=(t5*10)+n;}}
            if
(key=='9'){n=9;f++;if(f==1){t5=n;}if(f>=2){t5=(t5*10)+n;}}
        }
        if (key=='*'){t5=0;f=0;}
        if (key=='C'){t5++;}
        if (key=='D'){t5--;}
        if (key=='#'){EEPROMWritelong(25
t5);lcd.clear();a=0;f=0;}
    }
}
if (key=='#'){waktu=t5;pos=4;lcd.clear();}
}

```

```

if(m_time==6){m_time=1;}
if(m_time==0){m_time=5;}

```

```

if (key=='D'){m_time++;}
if (key=='C'){m_time--;}
if (key=='1'){m_time=1;}
if (key=='2'){m_time=2;}
if (key=='3'){m_time=3;}
if (key=='4'){m_time=4;}
if (key=='5'){m_time=5;}
}

```

```

while(pos==4){
    if(led_sel==1){digitalWrite(sel, HIGH);}
    if(led_sel==0){digitalWrite(sel, LOW);}
    analogWrite(laser, brightness);
//    lcd.setCursor(0, 0);
//    lcd.print("MULAI");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("          ");
}

```

```

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(waktu);
    lcd.print(" SECOND  ");

    if(waktu>0){
        waktu--;
        delay(1000);
    }
    if(waktu==0){
        digitalWrite(sel, LOW);
        analogWrite(laser,0);
        pos=5;
    }

}

while(pos==5){
    char key = keypad.getKey();
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("WAKTU HABIS");
    if (key=='#'){pos=1;lcd.clear();}
}

}

void EEPROMWritelong(int address, long value)
{
    //Decomposition from a long to 4 bytes by using bitshift.
    //One = Most significant -> Four = Least significant byte
    byte four = (value & 0xFF);
    byte three = ((value >> 8) & 0xFF);
    byte two = ((value >> 16) & 0xFF);
    byte one = ((value >> 24) & 0xFF);

    //Write the 4 bytes into the eeprom memory.
    EEPROM.write(address, four);
    EEPROM.write(address + 1, three);
    EEPROM.write(address + 2, two);
    EEPROM.write(address + 3, one);
}

//This function will return a 4 byte (32bit) long from the
eeprom
//at the specified address to address + 3.
long EEPROMReadlong(long address)
{
    //Read the 4 bytes from the eeprom memory.
    long four = EEPROM.read(address);
    long three = EEPROM.read(address + 1);
    long two = EEPROM.read(address + 2);
    long one = EEPROM.read(address + 3);

    //Return the recomposed long by using bitshift.
    return ((four << 0) & 0xFF) + ((three << 8) & 0xFFFF) +
    ((two << 16) & 0xFFFFFFF) + ((one << 24) & 0xFFFFFFFF);
}

```

## LAMPIRAN 3

## Lampiran Karakterisasi Piranti

## Daya input terhadap daya output

V in	A in	P in	daya output (mW)					rerata	std.dev
			replikasi 1	replikasi 2	replikasi 3	replikasi 4	replikasi 5		
4,8	0,29	1,4	12.8	12.9	12.8	12.9	12.9	12.86	0.054772
4,9	0,31	1,5	17.12	16.98	16.93	16.86	16.98	16.974	0.095289
5,0	0,34	1,7	17.39	17.4	17.38	17.39	17.4	17.392	0.008367

## Waktu terhadap daya keluaran

waktu	daya (mW)					rerata	std.dev
	replikasi 1	replikasi 2	replikasi 3	replikasi 4	replikasi 5		
5	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
10	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
15	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
20	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
25	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
30	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
35	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
40	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
45	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
50	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
55	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
60	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
65	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
70	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
75	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
80	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
85	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
90	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
95	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
100	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
105	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
110	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
115	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
120	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
125	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357

130	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357
135	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357
140	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357
145	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357
150	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357
155	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357
160	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357
165	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357
170	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357
175	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357
180	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	18.0944	18.03632	0.062357
185	17.944	17.944	18.0944	18.0244	17.944	17.99016	0.06788
190	17.944	17.944	18.0944	18.0244	17.944	17.99016	0.06788
195	17.944	17.944	18.0944	18.0244	17.944	17.99016	0.06788
200	17.944	17.944	18.0944	18.0244	17.944	17.99016	0.06788
205	17.944	17.944	18.0944	18.0244	17.944	17.99016	0.06788
210	17.944	17.944	18.0944	18.0244	17.944	17.99016	0.06788
215	17.944	17.944	18.0944	18.0244	17.944	17.99016	0.06788
220	17.944	17.944	18.0944	18.0244	17.944	17.99016	0.06788
225	17.944	17.944	18.0944	18.0244	17.944	17.99016	0.06788
230	18.0244	18.0944	18.0944	18.0244	17.944	18.03632	0.062357
235	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
240	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
245	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
250	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
255	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
260	18.0244	18.0944	18.0944	18.0244	17.944	18.03632	0.062357
265	18.0244	18.0944	18.0944	18.0244	17.944	18.03632	0.062357
270	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
275	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
280	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
285	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
290	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
295	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
300	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
305	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
310	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
315	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
320	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
325	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
330	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
335	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
340	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236

345	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
350	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
355	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
360	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
365	18.0244	18.0944	18.0944	17.944	17.944	18.02024	0.075236
370	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
375	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
380	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
385	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
390	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
395	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
400	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
405	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
410	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
415	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
420	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
425	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
430	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
435	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
440	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
445	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
450	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
455	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
460	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
465	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
470	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
475	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
480	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
485	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
490	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
495	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
500	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
505	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
510	18.0244	17.944	18.0944	18.0244	17.944	18.00624	0.063599
515	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
520	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
525	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
530	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
535	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
540	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
545	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
550	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
555	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268

560	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
565	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
570	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
575	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
580	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
585	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
590	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
595	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
600	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
605	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
610	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
615	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
620	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
625	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
630	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
635	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
640	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
645	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
650	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
655	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
660	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
665	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
670	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
675	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
680	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
685	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
690	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
695	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
700	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
705	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
710	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
715	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
720	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
725	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
730	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
735	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
740	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
745	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
750	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
755	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
760	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
765	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
770	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268



775	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
780	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
785	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
790	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
795	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
800	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
805	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
810	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
815	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
820	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
825	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
830	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
835	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
840	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
845	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
850	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
855	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
860	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
865	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
870	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
875	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
880	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
885	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
890	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
895	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268
900	18.0244	19.944	18.0944	19.0244	19.944	19.00624	0.94268

Jarak terhadap luas berkas

Daya	Jarak (cm)	Luas Berkas (mm <sup>2</sup> )						Luas Berkas (cm <sup>2</sup> )	Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata		
16.97 mW	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
17.39 mW	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

Waktu terhadap suhu

Daya Output (mW)	Waktu (s)	Temperatur (°C)						Standar deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Rerata	
16.97	0	26	26.4	26.4	26	26	26.16	0.219089
	5	26	26.8	26.4	26	26.4	26.32	0.334664
	10	26.4	26	26.8	26	26.4	26.32	0.92358
	15	26.8	26	27	26	26.4	26.44	0.975705
	20	26.8	27	27	27	26.4	26.84	0.568331
	25	26.8	27	27	27	26.4	26.84	0.704982
	30	26.2	27	27	27	27	26.84	0.637966
	35	25.4	27.8	26	28	27.9	27.02	0.669328
	40	26	28	25.4	28.9	27.9	27.24	0.817313
	45	26.8	29	25.8	27	27	27.12	0.817313
	50	26.8	29.7	26.8	28	26	27.46	0.766812
	55	26.8	28.8	28	28.9	26	27.7	1.268858
	60	27	28.6	27.6	29	27	27.84	0.920869
	65	27.8	29	27.6	28	27.9	28.06	0.545894
	70	27.5	28.8	28	28.8	27	28.02	0.794984
	75	27.6	28.5	27.8	29.1	28.7	28.34	0.626897
	80	28	29	28	29	27.8	28.36	0.589915
	85	27.8	29	27.5	29.7	29	28.6	0.919239
	90	27.5	29.7	28.8	28.8	29	28.76	0.795613
	95	29	29	28	30.6	29.8	29.28	0.975705
	100	29	29.1	29.9	29	30	29.4	0.504975
	105	28	29	28	30	27.5	28.5	1
	110	27	29.7	29.8	29	28	28.7	1.191638
	115	29.3	30	27	28.7	28.7	28.74	1.110405
	120	29.4	30.5	27	29.7	27.7	28.86	1.457052
	125	29	30.8	28.7	28	28.7	29.04	1.050238
	130	28.7	29.7	29	29.7	29.8	29.38	0.496991
135	29	30	28	30	28	29	1	
140	28	29.7	28.7	30.4	29	29.16	0.92358	
145	27.9	30	29	30.4	29.6	29.38	0.975705	
150	28.9	30	29.5	30.4	29.5	29.66	0.568331	
155	29.1	30.6	29.8	30.9	30	30.08	0.704982	
160	29.3	30.6	29.8	30.9	30	30.12	0.637966	
165	29.3	30.6	29.8	31	30	30.14	0.669328	
170	29.4	30.6	29.8	31.5	30	30.26	0.817313	
175	29.4	30.6	29.8	31.5	30	30.26	0.817313	
180	29.5	30.8	29.8	31.4	30.2	30.34	0.766812	
185	29.4	31.5	30.2	30.5	29.4	30.2	0.874643	

	190	29.4	31.2	30	30.6	29.5	30.14	0.760263
	195	29.5	30.8	29.8	31.5	30.5	30.42	0.798123
	200	29.6	30.8	29.8	31.5	30.2	30.38	0.775887
17.39	0	26.5	27.2	26.7	26	26.4	26.56	0.439318
	5	26.8	27	27.5	26	26	26.66	0.654217
	10	25.9	26.9	27.8	27.5	26.9	27	0.728011
	15	27	28	26.9	27.8	28	27.54	0.545894
	20	26.5	29	27.5	26.9	27.5	27.48	0.949737
	25	28	27.8	29	28	27.5	28.06	0.563915
	30	29.6	27	28	29	29	28.52	1.025671
	35	28.7	26	29.7	29	30	28.68	1.586506
	40	28	27	29	29.7	30	28.74	1.240161
	45	29.2	28	29.8	29	30.8	29.36	1.033441
	50	29.6	27.9	30	30.6	30.6	29.74	1.112654
	55	28.7	28.2	29.8	31	30.2	29.58	1.132254
	60	29.8	28.8	31	30.8	30	30.08	0.878635
	65	30	29.1	32	32,2	31.5	30.65	1.337909
	70	30	29.1	32	32,3	32.5	30.9	1.614517
	75	30	29.1	32	32,4	32	30.775	1.461449
	80	30	28	32	32,5	32	30.5	1.914854
	85	32	30	30	31	32	31	1
	90	32	30	30	32	31	31	1
	95	32	31.2	32	30	31	31.24	0.829458
	100	32	31.2	32	30	31	31.24	0.829458
	105	32	29.2	32	30	32	31.04	1.344619
	110	32	31.2	32	30	31	31.24	0.829458
	115	32	30.2	32	30	31	31.04	0.95289
	120	32	31	32	30	31	31.2	0.83666
	125	32	32.2	32.7	32	33.5	32.48	0.637966
	130	32	32.2	32.7	33	33.5	32.68	0.605805
	135	32	31.1	32.7	32	33.5	32.26	0.896103
	140	31	31.1	32.7	31	33.5	31.86	1.167476
	145	31	31.1	32.7	32	33.5	32.06	1.064425
	150	31	31.1	33	32	33.5	32.12	1.116692
	155	31	31.1	33	33.1	33.5	32.34	1.192896
	160	31	31.1	33	33.1	33.5	32.34	1.192896
165	32	31.1	33	33.1	33.5	32.54	0.976217	
170	32	31.1	33	33.1	33.5	32.54	0.976217	
175	32	31.1	33	33.1	33.5	32.54	0.976217	
180	32	32.2	33	33.1	33.5	32.76	0.634823	
185	32	32.2	33	33.1	33.5	32.76	0.634823	
190	32	32.2	33	33.1	33.5	32.76	0.634823	

	195	32	32.2	33	33.1	33.5	32.76	0.634823
	200	32	32.2	33	33.1	33.5	32.76	0.634823

Daya terhadap jarak

Pilih Daya	Jarak (cm)	Daya (mW)					rerata	std.dev
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5		
I	0	18.5	18.6	17.8	18.2	18.3	18.28	0.31144823
	1	17.12	16.98	16.93	16.86	16.98	16.974	0.09528903
	2	16.4	15.8	15.5	14.9	15	15.52	0.61400326
	3	14.5	14.7	15	14.8	14,7	14.75	0.2081666
II	0	19.6	19.4	19.4	19	18.9	19.26	0.29664794
	1	17.39	17.4	17.38	17.39	17.4	17.392	0.0083666
	2	17	16.8	16.8	17	16.6	16.84	0.16733201
	3	15.2	15.6	15.4	14.9	15	15.22	0.28635642

Luas berkas terhadap jarak

Daya	Jarak (cm)	Luas Berkas (mm <sup>2</sup> )					Rerata	Luas Berkas (cm <sup>2</sup> )	Standar Deviasi
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5			
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

## LAMPIRAN 4

Data Uji Absorbansi Klorofil Daun P.Indicus

$\lambda$	Abs				
380	0.87	418	1.002	457	0.733
381	0.876	419	1.009	458	0.714
382	0.882	420	1.017	459	0.695
383	0.889	421	1.023	460	0.676
384	0.895	422	1.031	461	0.657
385	0.902	423	1.035	462	0.538
386	0.908	424	1.039	463	0.519
387	0.914	425	1.043	464	0.601
388	0.918	426	1.047	465	0.583
389	0.921	427	1.051	466	0.555
390	0.922	428	1.052	467	0.5
391	0.921	429	1.053	468	0.536
392	0.917	430	1.054	469	0.523
393	0.909	431	1.055	470	0.51
394	0.9	432	1.056	471	0.5
395	0.891	433	1.057	472	0.491
396	0.88	434	1.058	473	0.484
397	0.869	435	1.058	474	0.478
398	0.872	436	1.058	475	0.474
399	0.876	437	1.057	476	0.477
400	0.89	438	1.054	477	0.469
401	0.904	439	1.049	478	0.468
402	0.912	440	1.042	479	0.467
403	0.92	441	1.031	480	0.467
404	0.928	442	1.02	481	0.467
405	0.931	443	1.006	482	0.466
406	0.935	444	0.991	483	0.455
407	0.938	445	0.975	484	0.464
408	0.941	446	0.957	485	0.461
409	0.945	447	0.938	486	0.457
410	0.949	448	0.919	487	0.452
411	0.953	449	0.899	488	0.446
412	0.96	450	0.879	489	0.438
413	0.965	451	0.859	490	0.429
414	0.973	452	0.837	491	0.419
415	0.979	453	0.815	492	0.409
416	0.986	454	0.794	493	0.398
417	0.994	455	0.773	494	0.386
		456	0.753	495	0.373

496	0.361
497	0.348
498	0.336
499	0.323
500	0.311
501	0.299
502	0.286
503	0.275
504	0.264
505	0.253
506	0.242
507	0.233
508	0.225
509	0.215
510	0.207
511	0.199
512	0.192
513	0.186
514	0.18
515	0.175
516	0.171
517	0.168
518	0.165
519	0.163
520	0.151
521	0.159
522	0.158
523	0.157
524	0.156
525	0.156
526	0.155
527	0.155
528	0.154
529	0.154
530	0.154
531	0.153
532	0.153
533	0.153
534	0.152
535	0.15
536	0.149
537	0.147
538	0.144

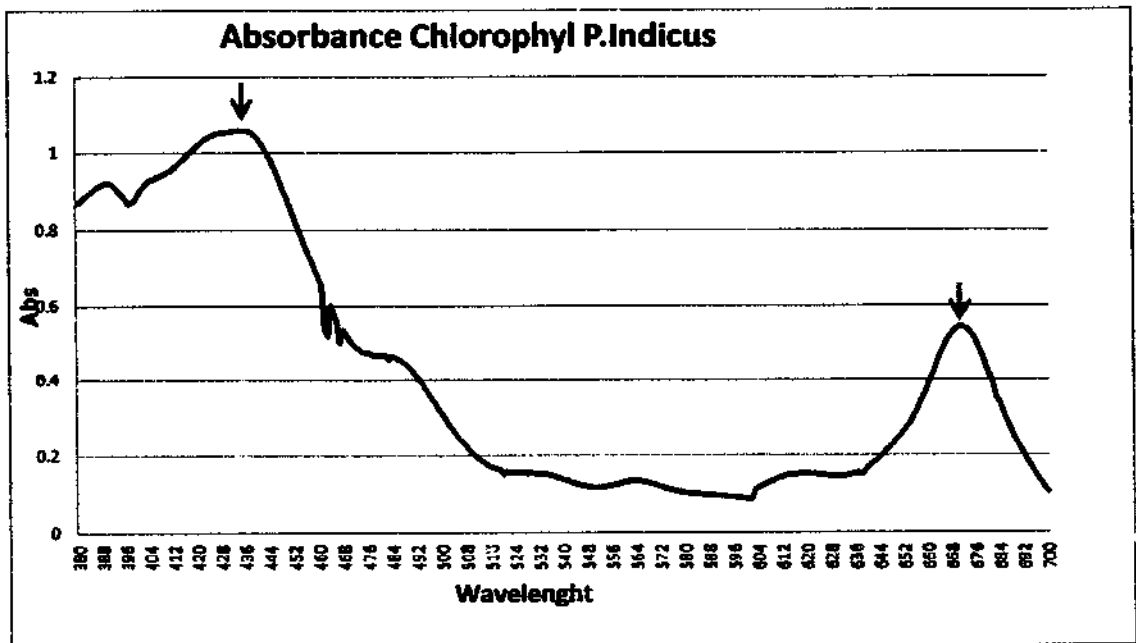
539	0.141
540	0.138
541	0.136
542	0.133
543	0.13
544	0.128
545	0.126
546	0.123
547	0.122
548	0.12
549	0.119
550	0.118
551	0.117
552	0.117
553	0.118
554	0.118
555	0.122
556	0.122
557	0.124
558	0.126
559	0.128
560	0.131
561	0.133
562	0.134
563	0.135
564	0.135
565	0.135
566	0.133
567	0.132
568	0.13
569	0.127
570	0.125
571	0.122
572	0.12
573	0.118
574	0.115
575	0.113
576	0.111
577	0.109
578	0.107
579	0.106
580	0.104
581	0.103

582	0.102
583	0.101
584	0.1
585	0.1
586	0.099
587	0.098
588	0.098
589	0.097
590	0.097
591	0.096
592	0.095
593	0.095
594	0.094
595	0.093
596	0.092
597	0.092
598	0.091
599	0.09
600	0.089
601	0.088
602	0.087
603	0.112
604	0.116
605	0.12
606	0.124
607	0.128
608	0.132
609	0.135
610	0.139
611	0.142
612	0.144
613	0.147
614	0.149
615	0.15
616	0.151
617	0.152
618	0.153
619	0.152
620	0.152
621	0.152
622	0.151
623	0.151
624	0.15

625	0.149
626	0.148
627	0.147
628	0.146
629	0.146
630	0.146
631	0.146
632	0.146
633	0.147
634	0.149
635	0.151
636	0.153
637	0.155
638	0.15
639	0.154
640	0.169
641	0.175
642	0.181
643	0.187
644	0.194
645	0.201
646	0.21
647	0.218
648	0.226
649	0.235
650	0.244

651	0.253
652	0.263
653	0.274
654	0.285
655	0.298
656	0.313
657	0.329
658	0.346
659	0.363
660	0.383
661	0.403
662	0.423
663	0.443
664	0.463
665	0.481
666	0.497
667	0.511
668	0.523
669	0.533
670	0.54
671	0.543
672	0.543
673	0.539
674	0.532
675	0.522
676	0.508

677	0.492
678	0.473
679	0.452
680	0.43
681	0.407
682	0.385
683	0.353
684	0.342
685	0.322
686	0.302
687	0.283
688	0.265
689	0.249
690	0.233
691	0.219
692	0.205
693	0.19
694	0.177
695	0.164
696	0.151
697	0.138
698	0.127
699	0.116
700	0.105



## LAMPIRAN 5

## Lampiran Uji pengenceran Kultur Bakteri

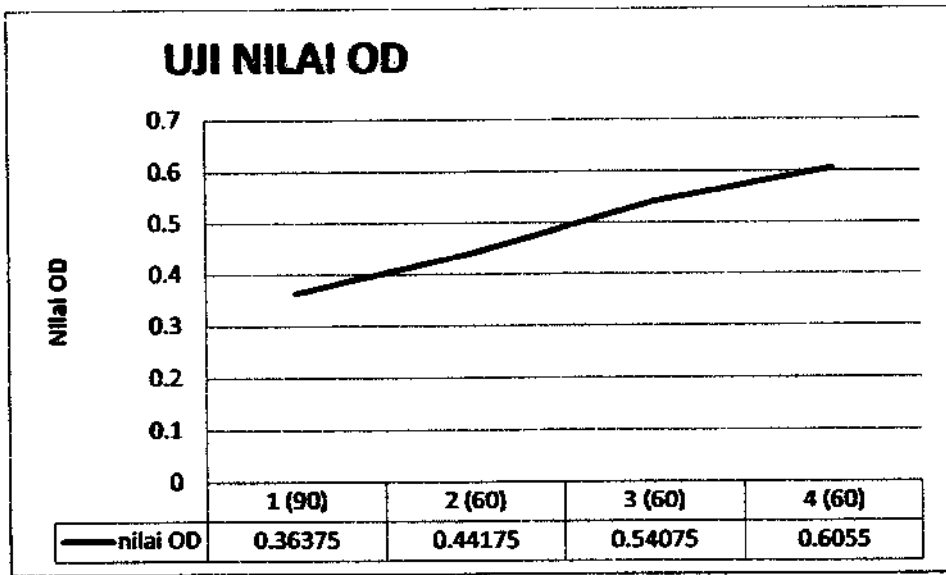
## Uji OD kultur bakteri

## Hasil pembacaan microplate

Result Data												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	0.04 9	0.04 7	0.04 7	0.05 3	0.05 7	0.05 1	0.06 7	0.05 2	0.05 2	0.04 7	0.04 7	0.04 9
B	0.04 9	0.04 9	0.04 9	0.05 2	0.05 7	0.05 1	0.06 7	0.05 6	0.05 3	0.05 8	0.04 9	0.05 9
C	0.05 6	0.05 6	0.05 6	0.05 6	0.05 6	0.06 3	0.06 7	0.07 7	0.06 7	0.05 4	0.05 7	0.05 6
D	0.05 6	0.05 6	0.05 6	0.06 1	0.06 7	0.08 1	0.08 7	0.07 9	0.07 7	0.06 9	0.04 9	0.05 1
E	0.06 3	0.05 3	0.05 7	0.05 4	0.07 9	0.08 5	0.06 3	0.09 5	0.07 9	0.05 9	0.05 7	0.06 3
F	0.07 7	0.04 7	0.04 9	0.05 4	0.09 5	0.07 9	0.08 1	0.09 5	0.07 4	0.06 4	0.05 4	0.05 3
G	0.07 9	0.04 6	0.05 7	0.04 8	0.09 5	0.05 2	0.08 5	0.05 5	0.04 1	0.03 9	0.04 7	0.04 5
H	0.07 4	0.06 1	0.05 4	0.05 7	0.05 7	0.05 4	0.07 9	0.05 3	0.05 3	0.05 1	0.06 5	0.05 2

uji ke-n	nilai OD
1 (90)	0.36375
2 (60)	0.44175
3 (60)	0.54075
4 (60)	0.6055





Data hasil pengenceran

Replikasi ke-	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>
1	2264	2160	659	568	198	85	41	35	20	7
2	2488	1248	891	440	276	86	36	39	18	11
3	1792	1624	724	370	233	73	47	36	7	2
4	2048	1448	713	610	306	90	40	26	11	14

**PENGHITUNGAN**

Penghitungan CFU/mL(KSA-SM-07, 2010).

Diketahui:

Volume ambil = Vplate

Jumlah pengenceran 10<sup>-n</sup> = f. pengenceran

Jumlah koloni = koloni

$$CFU/mL = \frac{\left(\sum koloni \times \frac{1}{f. pengenceran}\right)}{Vplate}$$

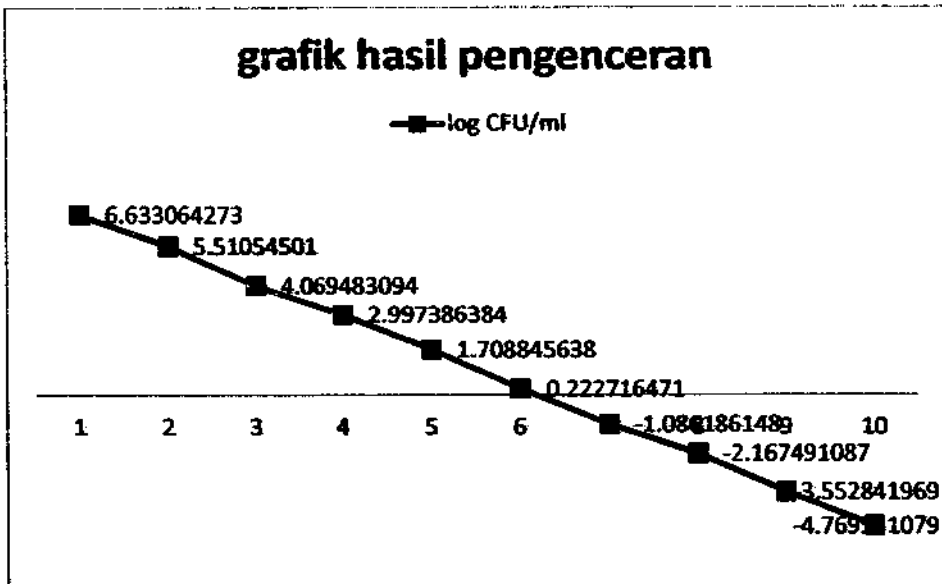
Misal, volume ambil 50µL dan pengenceran ke 10<sup>-4</sup>, jumlah koloni 46 maka penghitungan:

$$CFU/mL = \frac{(46 \times 10^4)}{50 \times 10^{-3}} = 9,2$$

Namun harus berupa logaritma untuk perhitungan selanjutnya

$$\text{Log CFU/mL} = \log 9,2 = 0,96$$

pengenceran	rata-rata	CFU/mL	log CFU/mL
1	2148	4296000	6.633064
2	1620	324000	5.510545
3	586.75	11735	4.069483
4	497	994	2.997386
5	255.75	51.15	1.708846
6	83.5	1.67	0.222716
7	41	0.082	-1.08619
8	34	0.0068	-2.16749
9	14	0.00028	-3.55284
10	8.5	0.000017	-4.76955



LAMPIRAN 6

Data hasil uji fotodinamik

Uji fotodinamik dalam koloni

koloni  
laser

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	92.5	7.071068
	40	66.75	6.944222
	60	54.5	4.546061
	80	47.75	12.08305
17.39 mW	20	87.75	17.13346
	40	52.75	23.34286
	60	46.5	1.414214
	80	32.75	7.930252

kontrol      260.125   36.70907

laser+kl

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	67.5	6.5489609
	40	5.5	0.942809
	60	16.5	7.3484692
	80	25	11.025224
17.39 mW	20	75	8.993825
	40	58.75	2.9439203
	60	36	4.189935
	80	25	2.8674418

laser+O2

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	69.3333333	2.4944383
	40	49.3333333	2.4944383
	60	41	4.5460606
	80	21.6666667	12.918548
17.39 mW	20	36.6666667	6.1282588
	40	34	4.5460606

	60	26	5.3541261
	80	20	7.3484692

laser+O2+kl

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	95	20.51016
	40	68.3333333	2.8674418
	60	48.6666667	6.3420992
	80	31.3333333	2.6246693
17.39 mW	20	82	9.4162979
	40	54.3333333	11.785113
	60	30.3333333	11.115555
	80	11	9.6263527

Uji fotodinamik dalam CFU/mL

cfu/mL  
laser

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	196000000	14142136
	40	112000000	13888444
	60	102000000	9092121
	80	98000000	24166092
17.39 mW	20	122000000	34266926
	40	24000000	46685710
	60	86000000	2828427
	80	70000000	15860503

kontrol      52025000    73418133

laser+kl

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	135000000	130979218
	40	11000000	18856181
	60	33000000	146969385
	80	50000000	220504472
17.39 mW	20	150000000	179876501
	40	117500000	58878406
	60	72000000	83798701
	80	50000000	57348835

laser+O2

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	1386666667	49888765
	40	986666667	77172246
	60	820000000	90921211
	80	433333333	258370965
17.39 mW	20	693333333	122565175
	40	680000000	90921211
	60	520000000	107082523
	80	400000000	146969385

laser+O2+kl

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	1900000000	410203202
	40	1366666667	57348835
	60	973333333	126841984
	80	626666667	52493386
17.39 mW	20	1640000000	188325959
	40	1086666667	235702260
	60	606666667	222311093
	80	220000000	192527054

Uji fotodinamik dalam log CFU/mL

log cfu/ml

laser

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	9.26820674	0.034011
	40	9.11581987	0.047695
	60	9.04780485	0.034924
	80	8.90240981	0.144239
17.39 mW	20	9.21884301	0.09513
	40	8.83791672	0.328206
	60	8.94426158	0.013807
	80	8.80078819	0.114735

kontrol 9.7051312 0.064778

laser+kl

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	9.15856094	0.0256813
	40	7.96178707	0.0732081
	60	8.54300054	0.1827573
	80	8.61100652	0.1597257
17.39 mW	20	9.16917771	0.0468255
	40	9.0486266	0.0163771
	60	8.81137813	0.0560854
	80	8.707628	0.0245694

laser+o2

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	9.14168815	0.0111482
	40	8.99279624	0.0332055
	60	8.91105505	0.0346328
	80	8.55083903	0.1647478
17.39 mW	20	8.85904746	0.0476576
	40	8.82846022	0.042311
	60	8.70685798	0.0550741
	80	8.56930356	0.0848508

laser+o2+kl

daya	waktu	rata2	std.dev
16.97 mW	20	9.26936223	0.088479
	40	9.13528158	0.0181759
	60	8.98436095	0.059006
	80	8.79555909	0.0355413
17.39 mW	20	9.21191636	0.0507036
	40	9.02662133	0.08886
	60	8.74534438	0.1917258
	80	8.06213041	0.572344

LAMPIRAN 7

Data hasil uji statistic

Lampiran pengujian statistik ANOVA

Kelompok Design laser 16,97 mW

**NPar Tests**

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

			data laser
N			12
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		6.404
	Std. Deviation		1.655
Most Extreme Differences	Absolute		.199
	Positive		.199
	Negative		-.097
Kolmogorov-Smirnov Z			.691
Asymp. Sig. (2-tailed)			.726

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

**Oneway**

Descriptives

data laser									
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
0	2	3	4.5020	.42920	.24780	3.4358	5.5682	4.25	5.00
0	4	3	6.0722	.60189	.34750	4.5770	7.5673	5.63	6.76
0	6	3	6.44072	.44072	.25	5.5	7.8678	6.3	7.18

0			.7730		5445	6782		0	
8	3	8	1.8202	1.	3.	12.792	7.0	10.37	
0			.2711	3	05091	7494	8	9	
T	1	6	1.6557	.4	5.	7.4566	4.2	10.37	
total	2	.4046	8	7798	3525		5		

**Test of Homogeneity of Variances**

data laser

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
6.475	3	8	.016

**ANOVA**

data laser

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22.050	3	7.350	7.252	.011
Within Groups	8.108	8	1.013		
Total	30.158	11			

**Post Hoc Tests**

**Multiple Comparisons**

data laser

Tukey HSD

(I) kel	(J) kel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	2	-1.57017	.82199	.296	-4.2025	1.0621
	6	-2.27098	.82199	.093	-4.9033	.3613
	8	-3.76911	.82199	.008	-6.4014	-1.1368
0	4	1.57017	.82199	.296	-1.0621	4.2025
	6	-.70082	.82199	.828	-3.3331	1.9315



	8		-2.19894	.8219	.105	-4.8312	.4334
0	0			9			
6	2		2.27098	.8219	.093	-.3613	4.9033
0	0			9			
	4		.70082	.8219	.828	-1.9315	3.3331
0	0			9			
	8		-1.49813	.8219	.330	-4.1304	1.1342
0	0			9			
8	2		3.76911	.8219	.008	1.1368	6.4014
0	0			9			
	4		2.19894	.8219	.105	-.4334	4.8312
0	0			9			
	6		1.49813	.8219	.330	-1.1342	4.1304
0	0			9			

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Homogeneous Subsets

data laser

Tukey HSD<sup>a</sup>

el	k	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
0	2	3	4.502	
			0	
0	4	3	6.072	6.072
			2	2
0	6	3	6.773	6.773
			0	0
0	8	3		8.271
				1
ig.	S		.093	.105

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Kelompok Design Laser 17,39 mW

### NPar Tests

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

			data laser
N			12
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		7.776
	Std. Deviation		2.62105
Most Extreme Differences	Absolute Positive		.193
	Absolute Negative		-.089
	Kolmogorov-Smirnov Z		.668
Asymp. Sig. (2-tailed)			.764

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

### Oneway

#### Descriptives

data laser

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
						0	2		
0	4	3	8	4.141	2.3	-	19.224	5.89	13.
0	6	3	7	.1742	.10	7.4070	8.2727	7.64	7.9
0	8	3	9	1.447	.83	5.7214	12.915	8.15	10.
0	T	1	7	2.621	.75	6.1107	9.4414	4.12	13.
Total		2	.7761	05	663				65

#### Test of Homogeneity of Variances

data laser

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
6.903	3	8	.013

**ANOVA**

data laser

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	34.123	3	11.374	2.196	.166
Within Groups	41.445	8	5.181		
Total	75.569	11			

**Post Hoc Tests**

**Multiple Comparisons**

data laser

Tukey HSD

(I) kel	(J) kel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	2	-3.92500	1.85843	.228	-9.8764	2.0264
	6	-2.82924	1.85843	.469	-8.7806	3.1221
	8	-4.30756	1.85843	.173	-10.2589	1.6438
0	4	3.92500	1.85843	.228	-2.0264	9.8764
	6	1.09576	1.85843	.932	-4.8556	7.0471
	8	-.38257	1.85843	.997	-6.3339	5.5688
0	6	2.82924	1.85843	.469	-3.1221	8.7806
	4	-1.09576	1.85843	.932	-7.0471	4.8556
	8	-1.47833	1.85843	.855	-7.4297	4.4730

0	8	2	4.30756	1.858	.173	-1.6438	10.2589
	0			43			
		4	.38257	1.858	.997	-5.5688	6.3339
	0			43			
		6	1.47833	1.858	.855	-4.4730	7.4297
	0			43			

**Homogeneous Subsets**

data laser

Tukey HSD<sup>a</sup>

el	k	N	Subset for
			alpha = 0.05
			1
0	2	3	5.0106
0	6	3	7.8399
0	4	3	8.9356
0	8	3	9.3182
ig.	S		.173

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Kelompok design laser dan penambahan oksigen

Kelompok design laser 16,97 mW dan penambahan oksigen

**NPar Tests**

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

	data laser
N	15

Normal Parameters <sup>a,b</sup>		Mean	7.209
			7
		Std. Deviation	3.383
			68
Most	Extreme	Absolute	.179
Differences		Positive	.179
		Negative	-.121
Kolmogorov-Smirnov Z			.695
Asymp. Sig. (2-tailed)			.720

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

### Oneway

#### Descriptives

data laser

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
20	3	5.	.19	.1	5.312	6.29	5.6	6.0
		8056	867	1470	1	92	3	2
40	3	7.	.43	.2	6.247	8.43	7.0	7.8
		3398	963	5382	7	19	0	4
60	3	8.	.62	.3	6.635	9.72	7.6	8.8
		1820	276	5955	0	91	4	6
80	3	1	3.5	.2	3.088	20.6	8.3	15.
		1.8936	4472	04655	1	992	8	47
kont	3	2.	.91	.5	.5446	5.11	2.0	3.8
rol positive		8275	899	3058		04	0	2
Tot	1	7.	3.3	.8	5.335	9.08	2.0	15.
al	5	2097	8368	7366	9	35	0	47

#### Test of Homogeneity of Variances

data laser

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.829	4	10	.083

**ANOVA**

data laser

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	132.230	4	33.057	11.781	.001
Within Groups	28.060	10	2.806		
Total	160.290	14			

**Post Hoc Tests**

**Multiple Comparisons**

data laser

Tukey HSD

I) kel	(J) kel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	40	-1.53416	1.36773	.792	-6.0355	2.9672
	60	-2.37640	1.36773	.456	-6.8777	2.1249
	80	-6.08801*	1.36773	.008	-10.5893	-1.5867
	kontrol	2.97812	1.36773	.262	-1.5232	7.4794
0	20	1.53416	1.36773	.792	-2.9672	6.0355
	60	-.84225	1.36773	.969	-5.3436	3.6591
	80	-4.55385*	1.36773	.047	-9.0552	-.0525
	kontrol	4.51228*	1.36773	.049	.0110	9.0136
0	20	2.37640	1.36773	.456	-2.1249	6.8777
	40	.84225	1.36773	.969	-3.6591	5.3436
	80	-3.71160	1.36773	.121	-8.2129	.7897

	kontrol	5.35453*	1.367	.019	.8532	9.8558
	positive		73			
0	20	6.08801*	1.367	.008	1.5867	10.5893
			73			
	40	4.55385*	1.367	.047	.0525	9.0552
			73			
	60	3.71160	1.367	.121	-.7897	8.2129
			73			
	kontrol	9.06613*	1.367	.000	4.5648	13.5674
	positive		73			
ontrol positi ve	20	-2.97812	1.367	.262	-7.4794	1.5232
			73			
	40	-4.51228*	1.367	.049	-9.0136	-.0110
			73			
	60	-5.35453*	1.367	.019	-9.8558	-.8532
			73			
	80	-9.06613*	1.367	.000	-13.5674	-4.5648
			73			

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Homogeneous Subsets

data laser

Tukey HSD<sup>a</sup>

kel	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
kontrol	3	2.82		
positive		75		
20	3	5.80	5.80	
		56	56	
40	3		7.33	
			98	
60	3		8.18	8.18
			20	20
80	3			11.8
				936
Sig.		.262	.456	.121

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Kelompok design laser 17,39 mW dan penambahan oksigen

**NPar Tests**

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

			data laser
N			15
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		8.513
	Std. Deviation		3.322
Most Extreme Differences	Absolute		.219
	Positive		.129
	Negative		-.219
Kolmogorov-Smirnov Z			.850
Asymp. Sig. (2-tailed)			.466

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

**Oneway**

**Descriptives**

data laser

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					20	3		
40	3	9.0331	.75611	.43654	7.1548	10.9114	8.38	9.86
60	3	11.02860	1.12267	.64817	7.4972	13.0749	9.12	11.37



80	3	1	2.1	1	6.2	17.1	9.70	14.
		1.7034	8859	.26358	666	401		04
kont	3	2.	.91	.	.54	5.11	2.00	3.8
rol positive		8275	899	53058	46	04		2
Tot	4	8.	3.3	.	6.6	10.3	2.00	14.
al	5	5136	2274	85793	735	536		04

**Test of Homogeneity of Variances**

data laser

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.228	4	10	.359

**ANOVA**

data laser

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	137.879	4	34.470	20.653	.000
Within Groups	16.690	10	1.669		
Total	154.568	14			

**Post Hoc Tests**

**Multiple Comparisons**

data laser

Tukey HSD

I) kel	(J) kel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	40	-.31517	1.05482	.998	-3.7867	3.1563
	60	-1.56813	1.05482	.592	-5.0396	1.9034
	80	-2.98547	1.05482	.102	-6.4570	.4860
	kontrol positive	5.89040*	1.05482	.002	2.4189	9.3619

0	20	.31517	1.054	.998	-3.1563	3.7867
			82			
	60	-1.25297	1.054	.758	-4.7245	2.2185
			82			
	80	-2.67031	1.054	.159	-6.1418	.8012
		82				
	kontrol	6.20557*	1.054	.001	2.7341	9.6771
	positive		82			
0	20	1.56813	1.054	.592	-1.9034	5.0396
			82			
	40	1.25297	1.054	.758	-2.2185	4.7245
			82			
	80	-1.41734	1.054	.673	-4.8888	2.0542
		82				
	kontrol	7.45854*	1.054	.000	3.9870	10.9300
	positive		82			
0	20	2.98547	1.054	.102	-.4860	6.4570
			82			
	40	2.67031	1.054	.159	-.8012	6.1418
			82			
	60	1.41734	1.054	.673	-2.0542	4.8888
		82				
	kontrol	8.87588*	1.054	.000	5.4044	12.3474
	positive		82			
ontrol positi ve	20	-5.89040*	1.054	.002	-9.3619	-2.4189
			82			
	40	-6.20557*	1.054	.001	-9.6771	-2.7341
			82			
	60	-7.45854*	1.054	.000	-10.9300	-3.9870
		82				
	80	-8.87588*	1.054	.000	-12.3474	-5.4044
		82				

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Homogeneous Subsets

data laser

Tukey HSD<sup>a</sup>

kel	N	Subset for alpha = 0.05
-----	---	----------------------------

		1	2
kontrol	3	2.827	
positive		5	
20	3		8.717
			9
40	3		9.033
			1
60	3		10.28
			60
80	3		11.70
			34
Sig.		1.000	.102

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Kelompok design laser dan penambahan chlorophyll

Kelompok laser 16,97 mW dan chlorophyll

### NPar Tests

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

			data laser
N			15
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		9.947
	Std. Deviation		0
Most Extreme Differences	Absolute		12
	Positive		.148
	Negative		-.121
Kolmogorov-Smirnov Z			.573
Asymp. Sig. (2-tailed)			.898

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

### Oneway

**Descriptives**

data laser

		Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	2	5.6318	.50194	.28980	4.3849	6.8787	5.16	6.16
0	4	7.9631	1.04755	.60480	5.3609	5.654	5	7
0	6	1.9744	2.32698	.34349	1.936	7.549	9.86	14.4
0	8	1.2737	2.96353	.71099	3.9119	6.355	8.61	14.4
ontrol	k	2.8922	1.21935	.70399	1.1368	5.9212	2.17	4.30
ontrol	positive	9.9470	5.66712	1.46324	6.8087	13.0654	2.17	18.5
ontrol	T	5.9470	1.26712	.46324	4.8087	7.0654	2.17	18.5
ontrol	total	5.9470	1.26712	.46324	4.8087	7.0654	2.17	18.5

**Test of Homogeneity of Variances**

data laser

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.097	4	10	.156

**ANOVA**

data laser

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	415.560	4	103.890	30.496	.000
Within Groups	34.067	10	3.407		
Total	449.627	14			

**Post Hoc Tests**

Multiple Comparisons

data laser  
Tukey HSD

I) kel	(J) kel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	40	-12.33135*	1.507 03	.000	-17.2911	-7.3716
	60	-6.34263*	1.507 03	.012	-11.3024	-1.3829
	80	-5.64191*	1.507 03	.025	-10.6017	-.6822
	kontrol positive	2.73957	1.507 03	.415	-2.2202	7.6993
0	20	12.33135*	1.507 03	.000	7.3716	17.2911
	60	5.98872*	1.507 03	.017	1.0290	10.9485
	80	6.68945*	1.507 03	.009	1.7297	11.6492
	kontrol positive	15.07092*	1.507 03	.000	10.1112	20.0307
0	20	6.34263*	1.507 03	.012	1.3829	11.3024
	40	-5.98872*	1.507 03	.017	-10.9485	-1.0290
	80	.70072	1.507 03	.989	-4.2590	5.6605
	kontrol positive	9.08219*	1.507 03	.001	4.1224	14.0419
0	20	5.64191*	1.507 03	.025	.6822	10.6017
	40	-6.68945*	1.507 03	.009	-11.6492	-1.7297
	60	-.70072	1.507 03	.989	-5.6605	4.2590
	kontrol positive	8.38147*	1.507 03	.002	3.4217	13.3412
	20	-2.73957	1.507	.415	-7.6993	2.2202

ontrol			03			
ol	40	-15.07092*	1.507	.000	-20.0307	-10.1112
posit			03			
ive	60	-9.08219*	1.507	.001	-14.0419	-4.1224
			03			
	80	-8.38147*	1.507	.002	-13.3412	-3.4217
			03			

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Homogeneous Subsets

data laser

Tukey HSD<sup>a</sup>

kel	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
kontrol	3	2.89		
positive		22		
20	3	5.63		
		18		
80	3		11.2	
			737	
60	3		11.9	
			744	
40	3			17.9
				631
Sig.		.415	.989	1.00
				0

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Kelompok laser 17,39 mW dan chlorophyll

### NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		data laser
N		15
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	6.933
		3

		Std. Deviation	2.802
			37
Differences	Most Extreme	Absolute	.126
		Positive	.090
		Negative	-.126
		Kolmogorov-Smirnov Z	.486
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.972

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

### Oneway

#### Descriptives

data laser

		Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	2	5.5224	.64027	.36966	3.9319	7.1129	4.79	5.96
0	4	6.7645	.28497	.16453	.0566	.4724	6.45	7.00
0	6	9.2091	.72976	.42133	.3963	1.0219	8.61	10.02
0	8	10.02781	.62260	.35946	.7315	1.8247	9.70	10.94
ontrol	k	2.8922	1.21935	.70399	-.1368	.9212	2.17	4.30
ontrol	positive	6.8922	2.81935	.70399	.1368	.9212	2.17	10.94
total		5.9333	.0237	.72357	.3814	.4852		4

#### Test of Homogeneity of Variances

data laser

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.508	4	10	.109

ANOVA

data laser

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	104.150	4	26.037	44.921	.000
Within Groups	5.796	10	.580		
Total	109.946	14			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

data laser

Tukey HSD

(I) kel	(J) kel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	2	-1.24214	.62163	.332	-3.2880	.8037
	60	3.68671*	.62163	.001	-5.7325	-1.6409
	80	4.75573*	.62163	.000	-6.8016	-2.7099
	kontrol	2.63017*	.62163	.012	.5843	4.6760
0	4	1.24214	.62163	.332	-.8037	3.2880
	60	2.44457*	.62163	.019	-4.4904	-.3987
	80	3.51359*	.62163	.002	-5.5594	-1.4678
	kontrol	3.87231*	.62163	.001	1.8265	5.9181
0	€	3.68671*	.62163	.001	1.6409	5.7325
	40	2.44457*	.62163	.019	.3987	4.4904
	80	-1.06902	.62163	.465	-3.1149	.9768



		kontrol	6.31688*	.6216	.000	4.2711	8.3627
		positive		3			
0	ε	20	4.75573*	.6216	.000	2.7099	6.8016
				3			
		40	3.51359*	.6216	.002	1.4678	5.5594
				3			
		60	1.06902	.6216	.465	-.9768	3.1149
			3				
		kontrol	7.38590*	.6216	.000	5.3401	9.4317
		positive		3			
k ontrol positiv e	20		-	.6216	.012	-4.6760	-.5843
			2.63017*	3			
		40	-	.6216	.001	-5.9181	-1.8265
			3.87231*	3			
		60	-	.6216	.000	-8.3627	-4.2711
			3				
	80	-	.6216	.000	-9.4317	-5.3401	
			7.38590*	3			

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Homogeneous Subsets

data laser

Tukey HSD<sup>a</sup>

kel	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
kontrol	3	2.89		
positive		22		
20	3		5.52	
			24	
40	3		6.76	
			45	
60	3			9.20
				91
80	3			10.2
				781
Sig.		1.00	.332	.465
		0		

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Kelompok design laser dengan penambahan chlrophyll dan oksigen

Kelompok design laser 16,97mW dengan penambahan chlrophyll dan oksigen

**NPar Tests**

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

			data laser
N			15
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		5.932
	Std. Deviation		2.592
Most Extreme Differences	Absolute		.30
	Positive		.108
	Negative		-.108
Kolmogorov-Smirnov Z			.420
Asymp. Sig. (2-tailed)			.995

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

**Oneway**

**Descriptives**

data laser								
		Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	2	4.4901	1.1657	.64465	3.7164	7.2638	3.0	5.16
0	4	5.8716	.937	.13243	5.3018	6.4414	3	6.09

0	6	7	.74	.	5.	9.2	6.8	8.26
		.4267	463	42991	5769	765	4	
0	8	9	.44	.	8.	10.	8.8	9.70
		.3721	852	25895	2579	4862	6	
ontrol	k	2	1.7	1	-	6.8	.89	4.39
positive		.5038	6918	.02143	1.8911	987		
T		5	2.5	.	4.	7.3	.89	9.70
total	5	.9329	9230	66933	4973	684		

**Test of Homogeneity of Variances**

data laser

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.799	4	10	.085

**ANOVA**

data laser

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	83.710	4	20.928	20.181	.000
Within Groups	10.370	10	1.037		
Total	94.080	14			

**Post Hoc Tests**

**Multiple Comparisons**

data laser

Tukey HSD

(I) kel	(J) kel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	2	1.38154	.83146	.495	-4.1180	1.3549
	60	2.93660	.83146	.034	-5.6730	-2.002
	80	-	.83146	.001	-7.6184	-2.1456

			4.88199*	6			
	kontrol		1.9862	.8314	.195	-.7501	4.7227
	positive		7	6			
0	4	20	1.3815	.8314	.495	-1.3549	4.1180
			4	6			
		60	-	.8314	.390	-4.2915	1.1813
			1.55506	6			
		80	-	.8314	.012	-6.2368	-.7640
	kontrol		3.50044*	6			
	positive		3.3678	.8314	.015	.6314	6.1042
			2*	6			
0	6	20	2.9366	.8314	.034	.2002	5.6730
			0*	6			
		40	1.5550	.8314	.390	-1.1813	4.2915
			6	6			
		80	-	.8314	.210	-4.6818	.7910
	kontrol		1.94538	6			
	positive		4.9228	.8314	.001	2.1865	7.6593
			8*	6			
0	8	20	4.8819	.8314	.001	2.1456	7.6184
			9*	6			
		40	3.5004	.8314	.012	.7640	6.2368
			4*	6			
		60	1.9453	.8314	.210	-.7910	4.6818
	kontrol		8	6			
	positive		6.8682	.8314	.000	4.1319	9.6047
			6*	6			
k	ontrol	20	-	.8314	.195	-4.7227	.7501
	positive		1.98627	6			
		40	-	.8314	.015	-6.1042	-.6314
			3.36782*	6			
		60	-	.8314	.001	-7.6593	-2.1865
			4.92288*	6			
	80	-	.8314	.000	-9.6047	-4.1319	
			6.86826*	6			

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Homogeneous Subsets

data laser

Tukey HSD<sup>a</sup>

kel	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
kontrol	3	2.50			
positive		38			
20	3	4.49	4.49		
		01	01		
40	3		5.87	5.87	
			16	16	
60	3			7.42	7.42
				67	67
80	3				9.37
					21
Sig.		.195	.495	.390	.210

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Kelompok design laser 16,97mW dengan penambahan chlrophyll dan oksigen

**NPar Tests**

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

			data laser
N			15
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		8.279
	Std. Deviation		1
Most Extreme Differences	Absolute		.194
	Positive		.194
	Negative		-.123
Kolmogorov-Smirnov Z			.752
Asymp. Sig. (2-tailed)			.623

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

**Oneway**

**Descriptives**

data laser

		Me an	Std Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Mi nimum	Ma ximum
					L	U		
					ower Bound	pper Bound		
2		5.0	.63	.	3	6	4.4	5.7
0		820	986	36942	.4925	.6715	9	6
4		6.9	1.1	.	4	9	5.7	7.6
0		912	2137	64743	.2056	.7769	0	4
6		9.8	2.4	1	3	1	8.1	12.
0		895	1950	.39690	.8791	5.8998	5	65
8		16.	7.2	4	-	3	10.	24.
0		9292	2273	.17005	1.0131	4.8715	55	77
k		2.5	1.7	1	-	6	.89	4.3
ontrol		038	6918	.02143	1.8911	.8987		9
positive								
T		8.2	5.9	1	4	1	.89	24.
otal	5	791	3772	.53311	.9909	1.5673		77

**Test of Homogeneity of Variances**

data laser

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.254	4	10	.029

**ANOVA**

data laser

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	367.954	4	91.989	7.32 2	.005
Within Groups	125.637	10	12.564		
Total	493.592	14			

**Post Hoc Tests**

**Multiple Comparisons**

data laser  
Tukey HSD

(I) kel	(J) kel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	2	-	2.894	.961	-11.4340	7.6155
	40	1.90925	10			
	60	-	2.894	.496	-14.3322	4.7172
	80	-	2.894	.014	-21.3719	-2.3225
	kontrol	2.5781	2.894	.894	-6.9465	12.1029
positive		8	10			
0	4	1.9092	2.894	.961	-7.6155	11.4340
	5		10			
	60	-	2.894	.849	-12.4230	6.6265
	80	-	2.894	.040	-19.4627	-.4132
	kontrol	4.4874	2.894	.556	-5.0373	14.0122
positive		3	10			
0	6	4.8074	2.894	.496	-4.7172	14.3322
	8		10			
	40	2.8982	2.894	.849	-6.6265	12.4230
	3		10			
	80	-	2.894	.184	-16.5644	2.4850
kontrol		7.03972	10			
positive		7.3856	2.894	.154	-2.1391	16.9104
		6	10			
0	8	11.847	2.894	.014	2.3225	21.3719
	20		10			
	40	9.9379	2.894	.040	.4132	19.4627
	5		10			
	60	7.0397	2.894	.184	-2.4850	16.5644
kontrol		14.425	2.894	.004	4.9007	23.9501
positive		38	10			
k	20	-	2.894	.894	-12.1029	6.9465
	kontrol	2.57818	10			
positive	40	-	2.894	.556	-14.0122	5.0373

	4.48743	10			
60	-	2.894	.154	-16.9104	2.1391
	7.38566	10			
80	-	2.894	.004	-23.9501	-4.9007
	14.42538	10			

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Homogeneous Subsets

data laser

Tukey HSD<sup>a</sup>

kel	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
kontrol	3	2.503	
positive		8	
20	3	5.082	
		0	
40	3	6.991	
		2	
60	3	9.889	9.889
		5	5
80	3		16.92
			92
Sig.		.154	.184

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.



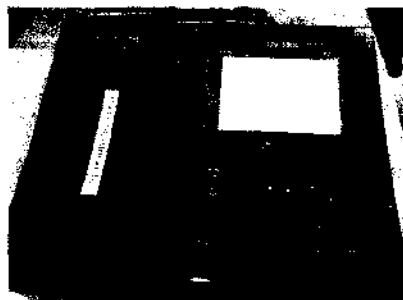
## LAMPIRAN 8

### Gambar Penelitian

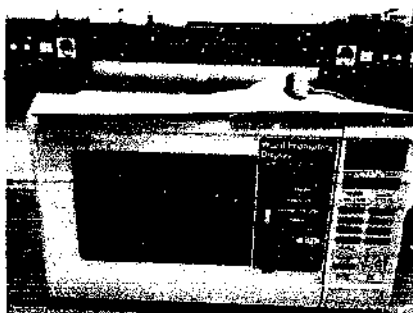
#### Alat yang digunakan



- neraca analitik



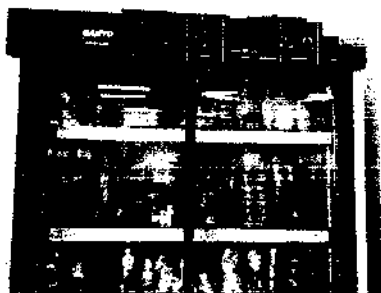
- spectrofotometer UV-VIS



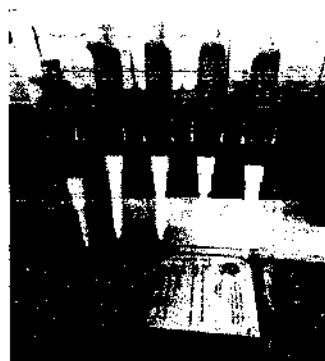
- Microwave



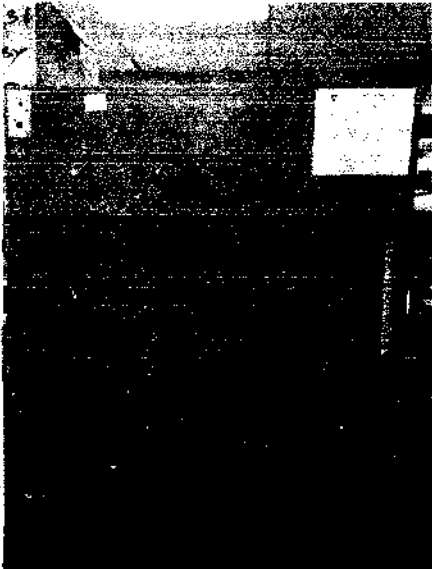
- autoclave



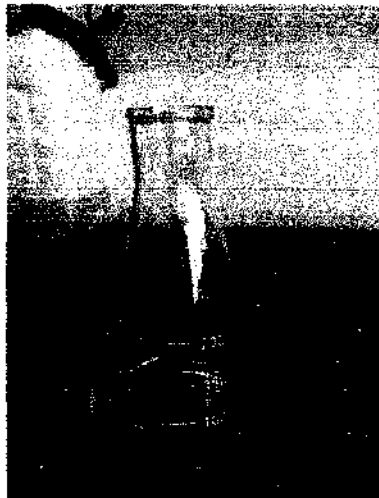
- tempat penyimpanan



- Mikropipet



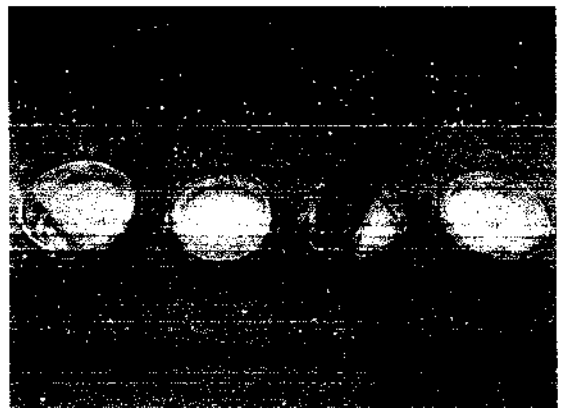
- inkubator



- erlenmeyer



- shaker



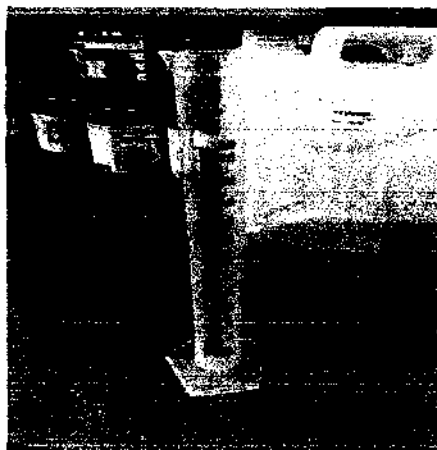
- cawan petri



- vorteks



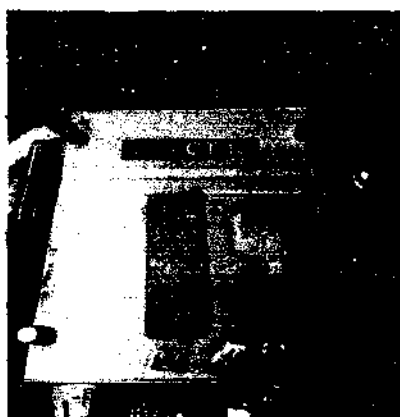
- tabung reaksi



- gelas ukur



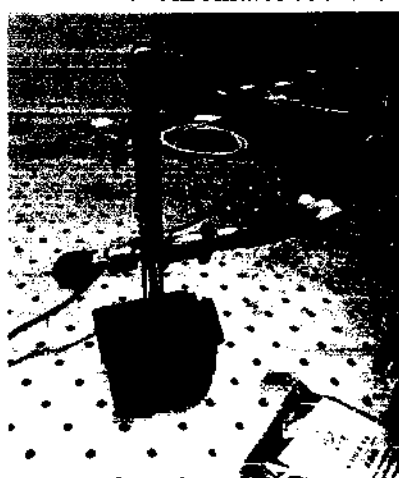
- bunsen



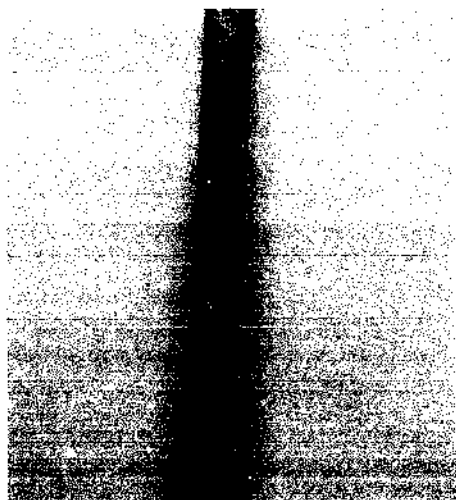
- monokromator Jasco CT-10



- handcounter



- statif

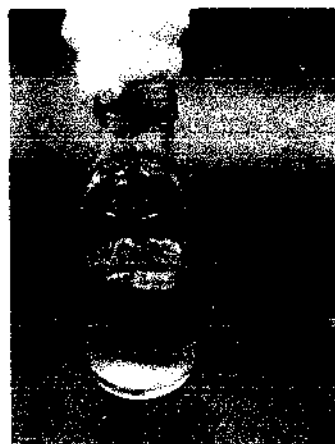


- penggaris

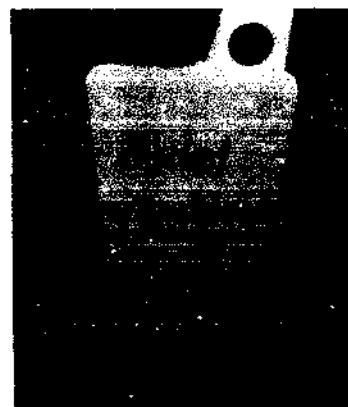
**Bahan yang dipakai**



- TSB



- Aquades steril



- Alkohol 70%



- Spirtus

