

**PENGARUH JENIS DAN BERAT KONSENTRASI LOGAM BERAT
TERHADAP KOEFISIEN INHIBISI BIOLUMINISENSI
KUNANG-KUNANG MERAYAP (*Lampyris noctiluca*)
DAERAH GURUN KABUPATEN 50 KOTA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains



**ERNI SEPTIKA ARMA
NIM. 15034034/2015**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2019**

PERSETUJUAN SKRIPSI

**PENGARUH JENIS DAN BESAR KONSENTRASI LOGAM BERAT
TERHADAP KOEFISIEN INHIBISI BIOLUMINISENSI
KUNANG-KUNANG MERAYAP (*Lampyrus Noctiluca*)
DAERAH GURUN KABUPATEN 50 KOTA**

Nama : Erni Septika Arma
NIM : 15034034
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2019

Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika

Dr. Ratnawulan, M.Si.
NIP. 196901201993032002

Disetujui Oleh :
Pembimbing

Dr. Ratnawulan, M.Si.
NIP. 196901201993032002

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Erni Septika Arma
NIM : 15034034
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**PENGARUH JENIS DAN BESAR KONSENTRASI LOGAM BERAT
TERHADAP KOEFISIEN INHIBISI BIOLUMINISANSI
KUNANG-KUNANG MERAYAP (*Lampyris Noctiluca*)
DAERAH GURUN KABUPATEN 50 KOTA**

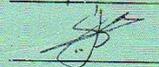
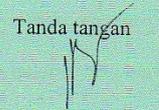
Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Agustus 2019

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Dr. Ratnawulan, M.Si
Anggota	: Dr. Desnita, M.Si
Anggota	: Dra. Yenni Darvina, M.Si

Tanda tangan



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul "Pengaruh Jenis Dan Besar Konsentrasi Logam Berat Terhadap Koefisien Inhibisi Bioluminisensi Kunang-kunang Merayap (*Lampyrus Noctiluca*) Daerah Gurun Kabupaten 50 Kota" adalah asli karya saya sendiri;
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing;
3. Didalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada perpustakaan;
4. Pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, Agustus 2019
yang membuat pernyataan



Septika Arma
Septika Arma
Nim: 15034034

**Pengaruh Jenis Dan Besar Konsentrasi Logam Berat Terhadap Koefisien
Inhibisi Bioluminisensi Kunang-kunang Merayap (*Lampyris Noctiluca*)
Daerah Gurun Kabupaten 50 Kota**

Erni Septika Arma

ABSTRAK

Logam berat merupakan faktor penyebab terjadinya pencemaran lingkungan yang dapat terakumulasi pada tubuh kunang-kunang sehingga dapat mempengaruhi intensitas relatif cahaya kunang-kunang. Kunang-kunang dapat digunakan sebagai bioindikator. Logam berat yang melekat dapat menghambat cahaya yang dipancarkan kunang-kunang. Penelitian ini akan melihat pengaruh dari logam berat terhadap reaksi bioluminisensi kunang-kunang. Mulai dari pengaruh konsentrasi logam berat terhadap intensitas, koefisien inhibisi dan pengaruh berat molekul logam berat dengan koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang.

Penelitian ini jenisnya adalah eksperimen yang dilakukan di laboratorium Fisika Material dan Biofisika dan Laboratorium Biologi Genetika FMIPA UNP. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran panjang gelombang dan intensitas cahaya kunang-kunang *Lampyris Noctiluca* yang diambil dari daerah Gurun Kabupaten 50 Kota sebelum dan sesudah diberi perlakuan dengan logam berat menggunakan Nanofotometer. Variabel-variabel yang ditentukan dalam penelitian ini yaitu logam berat timbal (Pb), tembaga (Cu), besi (Fe) dan seng (Zn) dan konsentrasi logam berat yaitu 0,1 mg/l, 5 mg/l dan 10 mg/l sebagai variabel bebas, intensitas relatif cahaya kunang-kunang dan koefisien inhibisi sebagai variabel terikat dan jenis dan ukuran kunang-kunang serta media pelarut yang digunakan sebagai variabel kontrol.

Hasil dari pengukuran intensitas relatif kunang-kunang semakin menurun apabila konsentrasi logam berat semakin besar. Penurunan intensitas paling besar akibat pengaruh keberadaan logam berat terjadi pada timbal (Pb), besi (Fe), tembaga (Cu) dan seng (Zn). Koefisien inhibisi semakin menurun dengan meningkatnya konsentrasi logam berat. Koefisien inhibisi paling besar akibat keberadaan logam berat timbal (Pb), kemudian besi (Fe), tembaga (Cu), dan paling kecil adalah seng (Zn). Koefisien inhibisi paling besar pada bioluminisensi kunang-kunang akibat keberadaan logam berat timbal (Pb), kemudian besi (Fe), tembaga (Cu), dan paling kecil adalah seng (Zn). Nilai koefisien inhibisi terbesar juga diikuti dengan besarnya berat molekul logam berat, yaitu timbal nitrat (PbNO₃) memiliki berat molekul paling besar yaitu 269,20 g/mol, kemudian tembaga sulfat (CuSO₄) yaitu 159,61 g/mol, besi sulfat (FeSO₄) yaitu 151,91 g/mol, dan seng nitrat (ZnNO₃) yaitu 127,38 g/mol.

Kata Kunci: Bioluminisensi, Logam berat, kunang-kunang merayap dan Intensitas relatif

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul judul **“Pengaruh Jenis Dan Besar Konsentrasi Logam Berat Terhadap Koefisien Inhibisi Bioluminisensi Kunang-kunang Merayap (*Lampyrus Noctiluca*) Daerah Gurun Kabupaten 50 Kota”**. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah SAW yang telah memberikan contoh tauladan yang baik bagi kita semua.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Strata Satu di Jurusan Fisika, FMIPA UNP. Skripsi ini juga merupakan bagian dari Penelitian Kompetitif Nasional, Penelitian Dasar oleh Dr. Ratnawulan, M.Si. Selama mengerjakan Skripsi ini, penulis banyak mengalami kendala dan hambatan. Namun berkat bantuan dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikannya. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika, Pembimbing Akademik sekaligus Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam penulisan skripsi ini.
2. Ibu Dr. Desnita, M.Si selaku Penguji yang telah memberikan masukan kepada penulis.
3. Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si, selaku Penguji yang telah memberikan masukan kepada penulis.

4. Ibu Syafriani, Ph.D selaku Ketua Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Yohandri, M.Si, Ph.D sebagai Sekretaris Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
6. Bapak dan Ibu Staf Pengajar serta Staf Administrasi dan Laboran Jurusan Fisika FMIPA UNP.
7. Rekan-rekan seperjuangan penelitian yang telah banyak membantu serta memberikan semangat selama penelitian.
8. Sahabat seperjuangan (Zelbia, Ira, Endah, Indah, Ipe, Rudi, Aan, Ilham) yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
9. Sahabat (Nisa dan Sinta) yang telah memberikan semangat dan selalu mendengarkan keluh kesah.
10. Rekan-rekan Fisika angkatan 2015 yang telah banyak membantu.

Semoga Allah SWT, bisa memberikan balasan yang berlipat ganda, Amin.

Dalam menyelesaikan Skripsi ini, penulis menyadari masih banyak keterbatasan dan kesalahan, baik dari sistematika penulisan, isi, penyajian maupun yang lainnya. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Skripsi ini.

Padang, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Batasan Masalah.....	6
D. Tujuan Penelitian	7
E. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Cahaya dan Intensitas Cahaya.....	8
B. Bioluminisensi.....	11
C. Bioluminesensi Kunang-kunang	13
D. Proses Fisis Bioluminisensi.....	18
E. Koefisien Inhibisi Bioluminisensi.....	23
F. Logam Berat.....	24
G. Nano Spektrofotometer	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
A. Rancangan Penelitian	34
B. Tempat dan Waktu Penelitian	34
C. Variabel Penelitian	34
D. Prosedur Penelitian.....	35
E. Teknik Pengumpulan Data.....	46
F. Teknik Pengolahan Data	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
A. Deskripsi Data Hasil Penelitian	48

B. Analisis Data Hasil Penelitian.....	55
C. Pembahasan.....	61
BAB V PENUTUP.....	66
A. Kesimpulan	66
B. Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi kimia Bioluminisensi.....	12
2. Struktur Kimia luciferin kunang-kunang	16
3 .Tahapan Reaksi Bioluminisensi Kunang-kunang.	17
4. Skema Reaksi Bioluminisensi Kunang-kunang	17
5. Diagram Jablonski untuk Molekul	19
6. Diagram Jablonski merangkum transisi tingket energi	20
7. Proses Energi pada Reaksi Kemiluminisensi/Bioluminisensi.....	22
8. (a) Pengaruh kalium halida pada intensitas bioluminisensi kunang-kunang (b) Pengaruh konsentrasi terhadap $\ln(I/I_0)$ bioluminisensi kunang-kunang:.....	30
9. Nano Spektrofotometer N50.	32
10. Proses cahaya polikromatik menjadi monokromatika	32
11. Nano Spektrofotometer.	35
12. Sentrifugasi	36
13. Timbangan digital	36
14. Gelas Kimia.....	37
15. Tabung.....	37
16. Eppendorf.....	37
17. Spatula.....	38
18. Lumpang dan Alu.....	38
19. Kunang-kunang merayap.	39
20. Diagram pembuatan logam berat	44
21. Diagram Isolasi Kunang-Kunang.....	45
22. Prosedur kegiatan penelitian dari pembuatan logam berat hingga pengukuran sampel.	46
23. Grafik intensitas relatif cahaya kunang-kunang.....	48
24. Grafik intensitas relatif cahaya kunang-kunang dengan pengaruh logam berat Pb (Timbal) pada konsentrasi berbeda.....	49
25. Grafik intensitas relatif cahaya kunang-kunang dengan pengaruh logam berat Fe (Besi) pada konsentrasi berbeda.....	50
26. Grafik intensitas relatif cahaya kunang-kunang dengan pengaruh logam berat Cu (Tembaga) pada konsentrasi berbeda.	51
27. Grafik intensitas relatif cahaya kunang-kunang dengan pengaruh logam berat Zn (Seng) pada konsentrasi berbeda.	52
28. Grafik intensitas relatif cahaya kunang-kunang dengan konsentrasi 0,1 mg/l pada logam berat yang berbeda.	53
29. Grafik intensitas relatif cahaya kunang-kunang dengan konsentrasi 5 mg/l pada logam berat yang berbeda	54
30. Grafik intensitas relatif cahaya kunang-kunang dengan konsentrasi 10 mg/l pada logam berat yang berbeda.....	55

31. Grafik intensitas relatif cahaya kunang-kunang tanpa dan dengan logam berat	56
32. Diagram pengaruh konsentrasi logam berat terhadap koefisien inhibisi (M^{-1}) cahaya kunang-kunang.....	58
33. (a) Diagram berat molekul logam berat, (b) Diagram pengaruh konsentrasi logam berat terhadap koefisien inhibisi (M^{-1}) cahaya kunang-kunang dan (c) Diagram pengaruh konsentrasi logam berat terhadap $\ln K$ (M^{-1}) cahaya kunang-kunang.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Panjang Gelombang dan Frekuensi Gelombang Elektromagnetik.	9
2. Berbagai jenis Luminisensi	12
3. Klasifikasi hewan Kunang-kunang	14
4. Berbagai jenis Kunang-kunang Bioluminisensi.....	15
5. Jenis beberapa logam berat.	25
6. Nilai inhibisi intensitas bioluminisensi pada.....	57
7. Nilai berat molekul dan koefisien inhibisi intensitas	59
8. Perbandingan pengaruh logam berat terhadap sifat fisis.....	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif Cahaya Kunang-kunang Merayap	71
2. Menentukan Koefisien Inhibisi	75
3. Perhitungan Rumusan Regresi	80

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan merupakan salah satu masalah utama pada zaman sekarang. Pencemaran lingkungan sebagian besar disebabkan oleh manusia. Pencemaran lingkungan yang marak terjadi seperti pencemaran air, tanah dan udara disebabkan oleh beberapa faktor. Pencemaran air disebabkan adanya zat kimia limbah industri dan limbah rumah tangga yang masuk kedalam air. Pencemaran tanah disebabkan karena pengolahan limbah rumah tangga, industri maupun pertanian yang kurang baik sehingga tanah menjadi tercemar oleh zatnya. Pencemaran udara berasal dari asap pabrik, industri ataupun transportasi yang mengandung logam berat.

Limbah logam berat merupakan salah satu faktor terjadinya pencemaran udara. Pencemaran udara oleh limbah logam berat adalah isu lingkungan yang menjadi perhatian banyak pihak. Menurut Darmono (2001) Pencemaran akibat kegiatan industri dapat menyebabkan kerugian besar karena umumnya buangan/limbah mengandung zat beracun antara lain raksa(Hg), kadmium(Cd), krom(Cr), timbal(Pb), tembaga(Cu), yang sering digunakan dalam proses produksi suatu industri baik bahan baku, katalisator ataupun bahan utama. Logam-logam ini akan membentuk senyawa organik dan anorganik yang berperan dalam merusak kehidupan makhluk hidup.

Logam berat ialah unsur logam dengan berat molekul tinggi. Dalam kadar rendah, logam berat pada umumnya sudah beracun bagi tumbuhan, hewan dan manusia. Logam berat yang terakumulasi didalam tubuh organisme dan tinggal dalam jangka waktu yang lama sebagai racun. Akumulasi logam berat didalam

tubuh manusia dapat mengganggu sistem peredaran darah, urat syaraf dan kerja ginjal. Logam berat juga dapat terakumulasi pada hewan, terutama hewan yang hidup bebas di alam seperti kunang-kunang.

Pencemaran lingkungan oleh logam berat dapat dideteksi dengan sejumlah uji dan tes yang hanya bisa dilakukan oleh ahli namun membutuhkan biaya yang tidak murah sehingga jauh dari jangkauan masyarakat. Salah satu alat yang praktis untuk mendeteksi pencemaran lingkungan adalah biosensor. Dalam proses kerjanya senyawa aktif biologi akan berinteraksi dengan molekul yang akan dideteksi yang disebut molekul sasaran. Hasil interaksi berupa besaran fisik yang akan dimonitor oleh transduser. Yang kemudian diproses sebagai sinyal sehingga diperoleh hasil berupa angka pencemaran logam berat pada lingkungan.

Hewan dapat digunakan sebagai indikator biosensor. Dari berbagai jenis hewan, yang paling baik dan cocok digunakan sebagai indikator pencemaran lingkungan oleh logam berat adalah kunang-kunang. Kunang-kunang mudah diidentifikasi serta mempunyai respon yang spesifik terhadap lingkungan. Kunang-kunang juga membutuhkan waktu yang sedikit untuk pengujian di laboratorium dibandingkan dengan hewan lain yang membutuhkan waktu lama serta respon yang tidak spesifik terhadap lingkungan.

Logam berat yang melekat pada tubuh kunang-kunang dapat menyebabkan penurunan intensitas cahaya kunang-kunang. Logam berat yang melekat menghambat cahaya yang dipancarkan kunang-kunang. Penurunan intensitas cahaya kunang-kunang dipengaruhi sifat fisika yang dimiliki oleh masing-masing logam berat yaitu berat molekul dan konsentrasi logam berat.

Berat molekul adalah berat suatu molekul dalam satuan massa atom. Berat molekul ditentukan dari jumlah berat atom-atom penyusun dalam molekul tersebut. Berat molekul mempunyai kemampuan untuk berikatan dengan enzim, sehingga enzim terhalang daya kerjanya. Berat molekul logam berat dapat mempengaruhi sistem kerja enzim luciferase yang terdapat pada kunang-kunang, sehingga menghambat intensitas cahaya yang dipancarkan oleh kunang-kunang.

Kunang-kunang merupakan salah satu organisme yang mampu menghasilkan cahaya sendiri. Kunang-kunang mampu memancarkan cahaya sendiri karena disebabkan oleh enzim luciferase yang mengkatalis senyawa luciferin. Dari reaksi tersebut luciferase mengalami eksitasi dan kembali kekeadaan dasar sambil memancarkan cahaya. Pancaran cahaya yang dihasilkan oleh organisme bioluminisensi ini merupakan energi dingin, karena hampir 90% energi yang dihasilkan dari reaksi luminisensi diubah menjadi energi cahaya. Luciferase adalah sebuah istilah umum untuk enzim katalis cahaya tampak pada organisme hidup (bioluminisensi). Kunang-kunang memancarkan cahaya dispektrum hijau-kuning yang bertujuan untuk menarik lawan jenis. (Viviani, 2005). Fenomena organisme yang memiliki kemampuan untuk memancarkan cahaya sendiri dikenal dengan istilah bioluminisensi (Day dan Bailey, 2003). Bioluminisensi mengacu pada cahaya yang dihasilkan dari dalam organisme. Pembuatan cahaya dapat dibentuk oleh fluoresensi atau chemiluminisensi dan melibatkan penggunaan protein (Haddock, 2010).

De Cock (2004) telah melakukan penelitian tentang karakteristik spektrum bioluminisensi dari 3 spesies larva kunang-kunang, yaitu *Lampyrus noctiluca*, *Phosphaenus hemipterus* dan *Lamprohiza splendidula* dari Belgia. Hasil

penelitian didapatkan panjang gelombang dari ketiga larva yaitu antara 546 dan 551 nm. Booth (2004) melakukan penelitian pada kunang-kunang jenis *Lampyrus noctiluca* yang berasal dari Inggris. Didapatkan panjang gelombang yang dipancarkan oleh kunang-kunang yaitu 555 nm. Goswami (2015) juga telah melakukan penelitian pada kunang-kunang jenis *Asymmetrica circumadata* daerah India. Hasil penelitian didapatkan panjang gelombang dari kunang-kunang yaitu 570 nm. Namun pada penelitian ini yang diukur hanya intensitas cahaya dan panjang gelombang dari kunang-kunang. Tidak dilihat pengaruh lingkungan terhadap intensitas bioluminisensi kunang-kunang tersebut.

Sari dan Ratnawulan (2014) telah meneliti tentang karakteristik fisis pemancaran cahaya kunang-kunang terbang (*Pteroptyx Tener*). Dari penelitian tersebut didapatkan absorbansi maksimum dari kunang-kunang terbang pada panjang gelombang 540 nm dengan gelombang cahaya tampak yang dipancarkan adalah warna kuning kehijauan. Konstanta peluruhan dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang 0,0046. Nilai *quantum yield* relatif yaitu 0,568 *Light Unit* dan foton yang dipancarkan yaitu $9,93209 \times 10^{11}$ quanta/detik dengan energi aktivasi 2,302 eV. Namun pada penelitian ini hanya meneliti karakteristik fisis dari spesies *Pteroptyx Tener* saja.

Bechara dan Stevani (2018) melakukan penelitian pada kunang-kunang spesies Lampyridae (kunang-kunang), Elateridae (kumbang klik), dan keluarga Phengodidae (cacing kereta api) yang berasal dari hutan Atlantik Brasil dan Cerrados. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioluminisensi kunang-kunang menghasilkan luciferin yang sama tetapi luciferase yang sedikit termutasi,

sehingga menghasilkan emisi warna yang berbeda dari hijau ke merah tergantung pada spesies.

Berdasarkan tinjauan literatur tersebut, meskipun telah banyak peneliti sebelumnya yang meneliti tentang bioluminisensi kunang-kunang, terlihat bahwa setiap daerah memiliki karakteristik fisis pemancaran cahaya kunang-kunang yang berbeda, hal ini diakibatkan karena adanya perbedaan pH dan temperatur suatu daerah. Selain itu, karakteristik fisis pemancaran kunang-kunang akan berbeda jika spesies kunang-kunang berbeda.

Di daerah Gurun Kabupaten 50 Kota ditemukan spesies kunang-kunang merayap (*Lampyrus Noctiluca*). Informasi mengenai pengaruh logam berat terhadap kunang-kunang spesies ini belum ada yang meneliti. Meskipun telah banyak dilakukan penelitian secara nasional dan internasional. Kirillova dan Kudryasheva (2007) telah meneliti tentang pengaruh logam berat pada reaksi bioluminisensi kunang-kunang jenis *Luciola mingrelica*. Hasil penelitian menunjukkan penurunan intensitas cahaya akibat logam berat. Namun pada penelitian ini hanya meneliti spesies *Luciola mingrelica* yang ada di daerah Rusia dan logam berat yang dipakai hanya KCl, KBr dan KI. Sarvida dan Ratnawulan (2013) telah meneliti tentang pengaruh logam berat terhadap sifat fisis pemancaran cahaya dari bioluminisensi kunang-kunang jenis *Pteroptyx tener*. Logam berat yang digunakan adalah timbal (Pb), seng (Zn), tembaga (Cu) dan besi (Fe). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang makin menurun jika konsentrasi logam berat makin besar. Namun pada penelitian ini menggunakan spesies kunang-kunang terbang.

Pada penelitian ini penulis tertarik untuk meneliti lebih lanjut tentang pengaruh jenis konsentrasi logam berat terhadap koefisien inhibisi bioluminisensi dari kunang-kunang yang berbeda yaitu kunang-kunang merayap jenis *Lampyrus Noctiluca* menggunakan logam berat timbal (Pb), seng (Zn), tembaga (Cu) dan besi (Fe). Banyak informasi yang diperoleh dengan mengkaji pengaruh logam berat terhadap intensitas cahaya dari kunang-kunang. Dari perubahan perilaku yang terjadi akibat pengaruh luar yang diberikan, kunang-kunang dapat dijadikan indikator mendeteksi keadaan lingkungan. Berdasarkan latar belakang diatas, maka peneliti tertarik untuk mengangkat judul ***“Pengaruh Jenis Dan Besar Konsentrasi Logam Berat Terhadap Koefisien Inhibisi Bioluminisensi Kunang-kunang Merayap (Lampyrus Noctiluca) Daerah Gurun Kabupaten 50 Kota”***.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut dirumuskan permasalahan penelitian yaitu:

1. Bagaimana pengaruh jenis dan besar konsentrasi logam berat terhadap intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang merayap?
2. Bagaimana pengaruh jenis dan besar konsentrasi logam berat terhadap koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang merayap?
3. Bagaimana pengaruh berat molekul logam berat dengan koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang merayap?

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Logam Berat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbal (Pb), tembaga (Cu), besi (Fe) dan seng (Zn).

2. Konsentrasi untuk masing-masing logam berat yang digunakan adalah 0,1 mg/l, 5 mg/l dan 10 mg/l.

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh jenis dan besar konsentrasi logam berat terhadap intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang merayap.
2. Mengetahui pengaruh jenis dan besar konsentrasi logam berat terhadap koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang merayap.
3. Mengetahui pengaruh berat molekul logam berat dengan koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang merayap.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama dibidang bioluminisensi.
2. Memberikan informasi mengenai sifat fisis pemancaran cahaya dari bioluminisensi kunang-kunang terutama intensitas relatif dan koefisien inhibisi.
3. Sebagai salah satu syarat bagi penulis untuk menyelesaikan program S1 di Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang.
4. Sebagai Penelitian lanjutan yang dapat dimanfaatkan untuk kemajuan bioteknologi terutama dibidang bioluminisensi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Cahaya dan Intensitas Cahaya

Cahaya penting dalam kehidupan, sebab tanpa adanya cahaya tidak mungkin ada kehidupan. Jika bumi tidak mendapat cahaya dari matahari, maka bumi akan gelap gulita dan dingin sehingga tidak mungkin ada kehidupan. Para ahli telah meneliti cahaya untuk mengetahui sifat-sifat dan karakteristik cahaya. Ada dua pendapat mengenai cahaya, yaitu cahaya dianggap sebagai gelombang dan cahaya dianggap sebagai partikel.

Gelombang elektromagnetik meliputi cahaya, gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, ultraviolet, sinar X dan sinar gamma (Tipler, 2001). Berbagai jenis gelombang elektromagnetik tersebut hanya berbeda dalam panjang gelombang dan frekuensinya, yang dihubungkan dengan persamaan:

$$f = c/\lambda \quad (1)$$

dimana, f = frekuensi (Hz)

c = kecepatan cahaya (m/s)

λ = panjang gelombang (m)

Cahaya merupakan sebagian dari gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat mata dengan komponennya yaitu cahaya merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu. Panjang gelombang cahaya berada pada kisaran antara 0,2 μm sampai dengan 0,5 μm , yang bersesuaian dengan frekuensi antara 6×10^{15} Hz hingga 20×10^{15} Hz. Dua properti cahaya yang paling jelas dapat langsung dideskripsikan dengan teori gelombang untuk cahaya adalah intensitas (atau kecerahan) dan warna. Intensitas cahaya merupakan energi yang dibawanya

persatuan waktu dan sebanding dengan kuadrat amplitudo gelombang. Warna cahaya berhubungan dengan panjang gelombang atau frekuensi cahaya tersebut. Cahaya tampak yaitu cahaya yang sensitif pada mata kita jatuh pada kisaran 400 nm sampai 750 nm. Kisaran ini dikenal sebagai spektrum tampak, dan di dalamnya terdapat warna ungu sampai merah (Giancoli, 2001). Panjang gelombang dan frekuensi gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Panjang Gelombang dan Frekuensi Gelombang Elektromagnetik.

No	Gelombang Elektromagnetik	Panjang Gelombang(m)	Frekuensi (Hz)
1	Gelombang Radio	$10^{-1} - 10^4$	$10^9 - 10^4$
2	Gelombang Mikro	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{11} - 10^9$
3	Inframerah	$10^{-7} - 10^{-3}$	$10^{14} - 10^{11}$
4	Cahaya tampak	$4 - 7 \times 10^{-7}$	$7.5 - 4.3 \times 10^{14}$
5	Ultraviolet	$10^{-8} - 7 \times 10^{-7}$	$10^{16} - 10^{14}$
6	Sinar - X	$10^{-11} - 10^{-8}$	$10^{19} - 10^{16}$
7	Sinar - γ	$< 10^{-11}$	$> 10^{19}$

(Finkenthal, 1996)

Hubungan antara kecepatan gelombang v dengan panjang gelombang λ , dan frekwensi f dapat ditulis dalam bentuk persamaan (2) (Giancoli, 2001):

$$v = \lambda f \quad (2)$$

Bila kecepatan rambat udara sama dengan kecepatan cahaya dalam vakum, maka persamaan (2) diubah menjadi persamaan (3) :

$$c = \lambda f \quad (3)$$

Dengan c = kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/s) dalam ruang vakum

Cahaya bersifat dualisme yaitu cahaya dapat berperilaku sebagai gelombang dan cahaya dapat berperilaku sebagai partikel. Cahaya dapat berperilaku sebagai gelombang terlihat adanya efek optis yang terjadi pada cahaya seperti dapat menyebar, terjadinya difraksi dan interferensi. Sedangkan cahaya dapat berperilaku sebagai partikel karena cahaya memiliki energi dan momentum.

Ketika cahaya berperilaku sebagai partikel yaitu memiliki energi dan momentum, energi dalam cahaya akan terkuantisasi dalam bentuk paket-paket energi yang disebut kuantum atau foton. Foton adalah partikel elementer dalam fenomena elektromagnetik. Biasanya foton dianggap sebagai pembawa radiasi elektromagnetik, seperti cahaya, gelombang radio, dan Sinar-X. Foton merupakan partikel tak bermassa diam. Besar energi sebuah foton sesuai dengan persamaan (4) (Beiser, 1995) :

$$E = h\nu \quad (4)$$

karena $\nu = \frac{c}{\lambda}$, maka: $E = \frac{hc}{\lambda}$ (5)

Dengan E = Energi foton (J)

$$h = \text{Tetapan Planck } (6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js})$$

$$\nu = \text{Frekuensi foton (Hz)}$$

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

$$\lambda = \text{Panjang gelombang (m)}$$

Cahaya merupakan suatu bentuk energi. Intensitas cahaya adalah jumlah energi yang mengalir per satuan waktu yang mengenai suatu permukaan benda, dengan satuan watt per meter persegi (Watt/m^2). Sebagian besar sumber cahaya mendistribusikan cahaya sama di segala arah. Intensitas cahaya ditulis dalam persamaan (6) (Vandergriff, 1999):

$$I = \frac{P}{A} \quad (6)$$

Daya (P) dapat ditulis dengan Persamaan (7):

$$P = \frac{E}{t} \quad (7)$$

Sehingga,

$$I = \frac{E}{t \cdot A} \quad (8)$$

Daya (P) adalah jumlah energi yang mengalir dari sumber per satuan waktu, satuan daya adalah (Watt atau J/dt). Dengan I merupakan intensitas cahaya (Watt/m²), P merupakan A adalah area atau luas permukaan (m²) dan E merupakan energi foton (J).

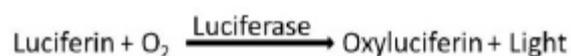
B. Bioluminisensi

Bioluminisensi berasal dari kata bio yang berarti hidup dan luminisensi yang berarti cahaya. Luminisensi adalah fenomena dimana materi memancarkan cahaya dalam kisaran cahaya tampak (Holsa, 2009). Bioluminisensi adalah emisi dari cahaya oleh suatu organisme sebagai hasil dari sebuah reaksi biokimia. Berlawanan dengan fluoresensi dan pendar, reaksi bioluminesensi tidak membutuhkan penyerapan awal sinar matahari atau radiasi elektromagnetik lainnya oleh molekul atau pigmen memancarkan cahaya (Kahlke, 2016).

Bioluminisensi terjadi karena adanya enzim spesifik bernama luciferase. Semua luciferase yang diketahui adalah oksigenase yang mengoksidasi substrat yang sesuai (luciferin, yang secara harfiah berarti molekul ringan) terhadap oksigen (Jia and Rodica, 2016). Sistem bioluminisensi menghasilkan cahaya melalui oksidasi dari substrat, disebut secara umum luciferin, dan enzim, luciferase. Reaksi bioluminesensi sangat bervariasi di antara organisme tetapi bisa umumnya digambarkan sebagai luciferase produksi katalis dari oksigen dan luciferin yang memancarkan cahaya ketika kembali ke keadaan dasarnya. Selain

itu, banyak sistem bioluminescensi melibatkan kofaktor seperti FMNH₂, ATP, enzim tambahan untuk produksi cahaya (Kahlke, 2016).

Meskipun banyak dari organisme luminisensi yang reaksi kimianya diketahui, tetapi banyak yang tidak tahu bagaimana reaksi emisi cahaya didapatkan (Haddock, 2010). Prinsip dasar dari reaksi kimia bioluminisensi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi kimia Bioluminisensi
(Ramesh, 2015)

Menurut Ratnawulan (2008) luminisensi adalah pemancaran cahaya akibat perpindahan elektron dari keadaan dasar (*ground state*) ke keadaan tereksitasi. Setiap makhluk hidup mampu menghasilkan luminisensi untuk tujuan atau fungsi yang berbeda-beda. Sebagian makhluk hidup memanfaatkannya untuk pertahanan diri, untuk memburu mangsa (predasi) ataupun sebagai sinyal kawin. Ada beberapa jenis luminisensi yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Berbagai jenis Luminisensi

Jenis	Penyedia Energi
Kimialuminisensi	Reaksi kimia
Bioluminisensi	Cahaya yang dihasilkan dari organisme hidup melalui reaksi kimia
Elektroluminisensi	Arus listrik
Katodaluminisensi	Berkas electron
Radioluminisensi	Radiasi nuklir
Mechanoluminisensi	Emisi cahaya yang dihasilkan dari setiapaksi mekanik
Triboluminisensi	Beberapa cahaya mineral bila digosok
Fractoluminisensi	Disebabkan oleh gangguan yang dihasilkan oleh patah tulang
Sonoluminisensi	Emisi cahaya singkat dari ledakan dengan suara yang sangat besar
Fotoluminesensi	Energi cahaya, biasanya UV/cahaya tampak, juga meliputi laser di induksi fluoresensi

(Khalid, 2008)

Bioluminisensi adalah fenomena memancarkan cahaya alami yang dipancarkan oleh beberapa organisme darat, laut dan beberapa air tawar. Fenomena ini dapat ditemukan di semua kelompok taksonomi utama yang diketahui terdiri dari sekitar 700 general organisme bioluminisensi (Ramesh, 2015).

Cahaya Bioluminisensi dipancarkan dalam panjang gelombang antara 400 dan 720 nm, dari violet ke dekat-inframerah. Warna dari cahaya bioluminesensi tergantung pada beberapa faktor seperti luciferin dan luciferases yang terlibat dalam reaksi bioluminesensi atau konformasi dari luciferase (Kahlke, 2016). Warna emisi yang termasuk hijau (*Odontosyllis phosphorea*, *Mycena fera*), kuning (Kunang-kunang, bakteri), merah (*Phrixothrix hirtus*, *Malacosteus niger*) biru (bakteri, ubur-ubur), dan merah muda (*Photonectes waitti*) (Wilson and Hastings, 2013).

Mayoritas organisme bioluminesensi menghuni lingkungan darat dan laut termasuk bakteri, dinogflagela, moluska, krustasea, tulang ikan dan hiu. Di darat, bioluminisensi sangat sedikit dan hampir secara eksklusif ditemukan pada jamur dan hewan. Sekitar 70 spesies jamur di empat garis keturunan dari urutan *Agaricales* bersifat bioluminisensi. Pada hewan, bioluminisensi telah dilaporkan di dua filum, yaitu Nematoda dan Arthropoda (Kahlke, 2016).

C. Bioluminesensi Kunang-kunang

Kunang-kunang adalah kumbang bersayap. Kunang-kunang sangat terkenal memiliki kemampuan yang unik menggunakan bioluminisensi untuk berkomunikasi dengan yang lain, untuk menarik pasangan dan untuk menarik mangsa. Kunang-kunang memancarkan berbagai warna cahaya dari hijau dengan

panjang gelombang maksimum 530 nm hingga merah dengan panjang gelombang maksimum 635 nm. Perbedaan warna yang ditimbulkan oleh kunang-kunang juga disebabkan oleh cahaya lingkungan (Dreisig, 1975).

Kunang-kunang memancarkan cahaya di spektrum hijau-kuning yang bertujuan untuk menarik lawan jenis. Warna bioluminisensi ditentukan oleh luciferase. Warna *in vitro* bioluminescence kuningan luciferase dapat digeser menuju red oleh pH yang lebih rendah dan suhu yang lebih tinggi; untuk alasan ini mereka diklasifikasikan sebagai pH sensitif luciferases. Namun, mekanisme dan strukturalnya asal sensitivitas pH pada kunang-kunang tetap tidak diketahui (Viviani, 2005).

Secara ilmiah hewan kunang-kunang memiliki klasifikasi seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi hewan Kunang-kunang

Kerajaan	Animalia
Filum	Arthropoda
Kelas	Insecta
Infrakelas	Neoptera
Superordo	Endopterygota
Ordo	Coleoptera
Upaordo	Polyphaga
Infraordo	Elateriformia
Superfamili	Elateroidea
Famili	Lampyridae

Kunang-kunang lebih memilih daerah beriklim sedang dan tropis dan paling sering tinggal di daerah lembab, seperti rawa-rawa, daerah berhutan basah atau dekat kolam dan sungai. Bioluminsensi pada beberapa kunang-kunang antara lain dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Berbagai jenis Kunang-kunang Bioluminisensi

No	Jenis Kunang-kunang	Daerah	Gambar	Cahaya yang di dapat λ (nm)
1	<i>Asymmetrica Circumadata</i> (Motschulsky) (Goswami, 2015)	India		570 nm
2	<i>Luciola Praeusta</i> (Barua, 2009)	India		562 nm
3	<i>Pteroptyx tener</i> (Sari dan Ratnawulan, 2013)	Padang, Indonesia		540 nm
4	<i>Photinus Pyralis</i> (Saikia, 2001)	-		500-675 nm
5	<i>Lampyrus Noctiluca</i> (Booth, 2004)	Inggris		555 nm
6	<i>Phengodes lacticollis</i> (Saikia, 2001)	-		519-655 nm

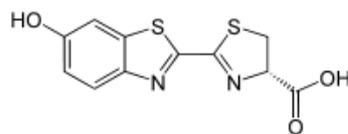
Pada Tabel 4 terlihat beberapa jenis kunang-kunang yang memiliki kemampuan memancarkan cahaya. Setiap kunang-kunang memancarkan cahaya dengan warna yang beraneka ragam.

Secara sistematis hewan, kunang-kunang diklasifikasikan sebagai berikut:

Kerajaan	: Animalia
Filum	: Arthropoda
Kelas	: Insecta
Ordo	: Coleoptera
Famili	: Lampyridae
Genus	: Lampyris
Species	: <i>Lampyris noctiluca</i>

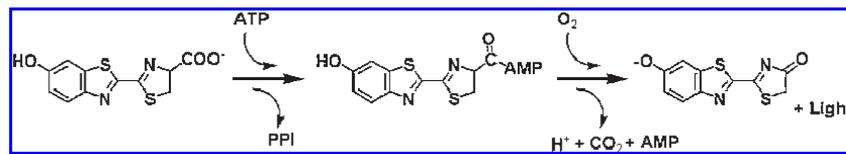
Proses kimia pada mekanisme kedap-kedip cahaya pada kunang-kunang karena adanya molekul gas NO (Nitrogen Mono Oksida) yang berfungsi sebagai pengantar sinyal flash. Reaksi luciferin-luciferase adalah emisi cahaya sebagai hasil dari katalisis enzim oksidasi (luciferase) dengan substrat (luciferin).

Luciferin kunang-kunang adalah luciferin yang dapat ditemukan di banyak spesies lampyridae. Ini adalah substrat luciferase yang bertanggung jawab atas karakteristik cahaya kuning dari kunang-kunang (Longkumer and Ram, 2018). Struktur kimia luciferin kunang-kunang yang terdiri dari H₂O, Sulfur dan Nitrogen terlihat pada Gambar 2.



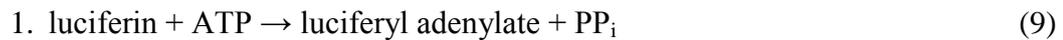
Gambar 2. Struktur Kimia luciferin kunang-kunang

Kerlipan cahaya kunang-kunang merupakan hasil reaksi kimia yang melibatkan luciferin yang dihasilkan sel-sel penghasil cahaya. Melalui serangkaian tahapan reaksi kimia, luciferin dengan bantuan enzim luciferase dan beberapa zat tertentu bereaksi membentuk sejumlah zat kimia yang dibutuhkan oleh organisme tersebut dan cahaya ($h\nu$). Tahapan reaksi bioluminisensi pada kunang-kunang dapat dilihat pada Gambar 3.



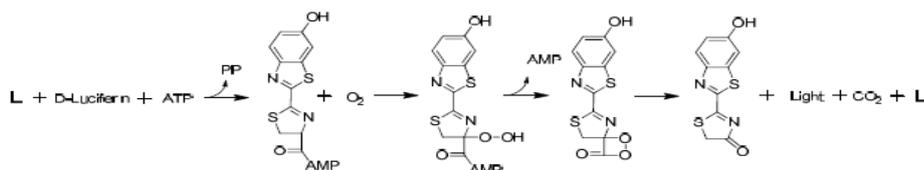
Gambar 3. Tahapan Reaksi Bioluminisensi Kunang-kunang.
(Fan dan Wood, 2007)

Berdasarkan Gambar 3 reaksi bioluminisensi untuk kunang-kunang dapat dikelompokkan dalam 2 tahap yang secara umum dapat ditulis dalam bentuk:



Dari persamaan (9) dan (10) dapat dilihat bahwa luciferin dengan bantuan *adenosine triphosphate* (ATP) menghasilkan *luciferyl adenylate*. Bila *luciferyl adenylate* direaksikan dengan oksigen maka akan menghasilkan *oxyluciferin* dan $h\nu$. $h\nu$ merupakan suatu bentuk energi yang dihasilkan pada reaksi luminisensi.

Luciferase kunang-kunang juga berfungsi sebagai monooxygenase dan mengkatalisis oksidasi luciferin di hadapan ATP, Mg^{2+} dan oksigen molekuler, menghasilkan oxyluciferin, CO_2 , AMP dan emisi cahaya. Gambar 4 menunjukkan skematiknya reaksi seperti yang muncul di kunang-kunang, kumbang dan cacing kereta api. ATP-dependent dekarboksilasi luciferin membentuk turunan AMP dari luciferin, yang kemudian bereaksi dengan oksigen molekuler. Dioxetane terurai, yang disertai dengan pancaran cahaya (Hasting and Krause, 2004). Reaksi Bioluminisensi kunang-kunang dapat dilihat pada Gambar 4.

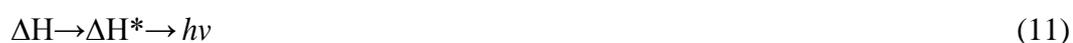


Gambar 4. Skema Reaksi Bioluminisensi Kunang-kunang
(Hasting and Krause, 2004).

Energi yang terjadi pada reaksi luminisensi kunang-kunang disebut dengan energi dingin. Hal ini disebabkan energi yang dihasilkan pada reaksi ini hampir 100% diubah dalam bentuk energi cahaya. Sehingga serangga ini tidak akan menalami panas seperti hal yang terjadi pada lampu listrik buatan manusia yang hanya 10% dari energi yang dihasilkan yang di manfaatkan untuk menghasilkan energi cahaya, sedangkan 90% dari energi yang dihasilkan dikeluarkan sebagai energi panas.

D. Proses Fisis Bioluminisensi

Reaksi bioluminisensi terjadi ketika sebagian besar energi kimia yang eksoterm ΔH diubah menjadi energi eksitasi elektronik ΔH^* yang meluruh kekeadaan dasar yang disertai dengan pancaran cahaya tampak ($h\nu$). Reaksi bioluminisensi dapat ditulis dalam bentuk: (Ratnawulan, 2008)



Reaksi bioluminisensi dapat dibagi kedalam dua langkah utama yaitu:

a) Langkah Kemieksitasi

Langkah kemieksitasi merupakan proses pembentukan eksitasi. Langkah kemieksitasi menghasilkan molekul tereksitasi. Langkah kemieksitasi dapat ditulis dengan persamaan:



b) Langkah Kemiluminisensi

Kemiluminisensi adalah pemancaran radiasi elektromagnetik sebagai hasil dari reaksi kimia yang menghasilkan molekul tereksitasi secara elektronik yang kembali kekeadaan dasar atau pada saat mentransfer energinya ke molekul lain sambil memancarkan cahaya tampak. Proses reaksi kemiluminisensi yang

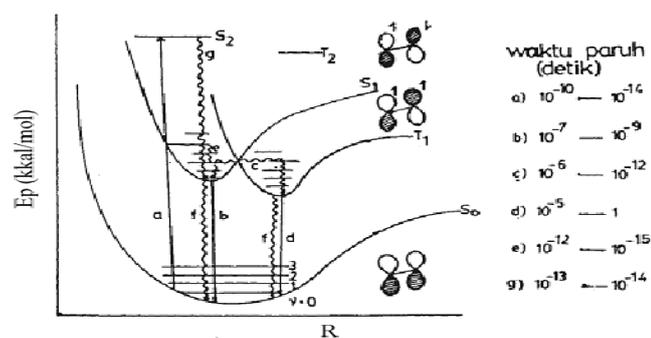
terjadi pada organisme hidup inilah yang disebut dengan bioluminisensi.

Langkah kemiluminisensi dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$\Delta H^* \rightarrow hv \quad (13)$$

Pada reaksi kemiluminisensi diperlukan tiga kondisi (Ratnawulan, 2008). Kondisi pertama merupakan reaksi kimia harus eksotermik yang berguna untuk membebaskan energi yang cukup sehingga terbentuk molekul keadaan tereksitasi. Kondisi kedua adalah reaksi kimia harus mampu menyokong terbentuknya molekul keadaan eksitasi. Kondisi ketiga adalah molekul keadaan eksitasi harus mampu memancarkan cahaya sendiri atau mentransfer energinya ke molekul lain untuk memancarkan cahaya.

Proses eksitasi merupakan proses dimana molekul yang biasanya berada pada keadaan dasar dengan tingkat vibrasi terendah ke keadaan singlet tereksitasi. Molekul dalam keadaan tereksitasi dapat mengalami beberapa kemungkinan yang akan dijelaskan dengan Gambar 5.

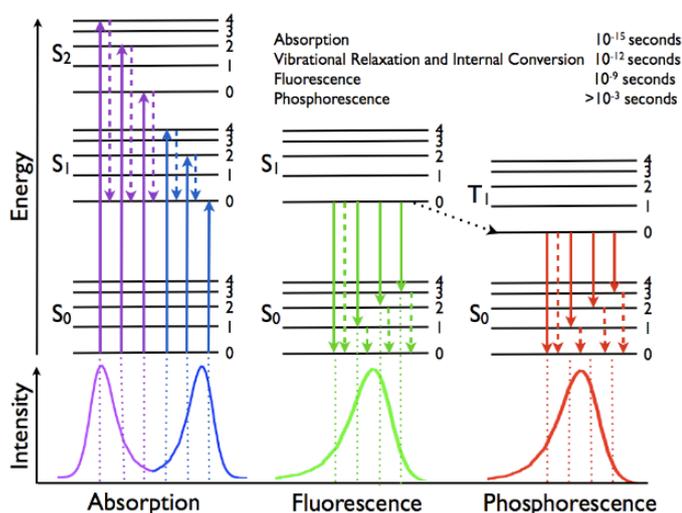


Gambar 5. Diagram Jablonski untuk Molekul (Ratnawulan, 2008).

Suatu transisi spektrum yaitu suatu garis absorpsi yang ditandai dengan huruf "a", merupakan selisih energi antara 2 keadaan molekul yang melakukan absorpsi energi. Bila molekul mengabsorpsi energi hanya pada panjang gelombang tunggal maka spektrum akan terdiri dari garis-garis tunggal. Emisi

radiasi yang menghasilkan peralihan molekul dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar tanpa mengalami perubahan dalam kelipatgandaan dinamakan fluoresensi yang ditandai dengan huruf “b”.

Proses lain transisi molekul yang tereksitasi adalah sesuatu yang terlarang yang disebut persilangan antar sistem yang menyangkut perubahan spin. Proses ini ditandai dengan huruf “c”. Persilangan antar sistem dari singlet tereksitasi terendah ke triplet terendah adalah suatu hal yang penting dalam proses fotokimia karena mempunyai waktu hidup yang panjang. Kehilangan energi karena perpindahan triplet terendah ke keadaan dasar dapat terjadi karena disebabkan oleh proses radiatif yang disebut fosforesensi. Spektrum fosforesensi timbul pada panjang gelombang yang lebih besar dari spektrum fluoresensi. Proses fosforesensi ditandai dengan huruf “d”. Proses transisi tingkat energi dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Diagram Jablonski merangkum transisi tingkat energi (Lee, 2017)

Gambar 6 disebut Diagram Jablonski, berguna untuk menggambarkan transisi energi atom dan molekul. Pada bagian bawah gambar, distribusi spektrum

dari setiap transisi diilustrasikan dengan panjang gelombang meningkat ke kanan dan energi berkurang. Garis vertikal menunjukkan transisi energi. Hampir semua energi memiliki energi terendah atau keadaan dasar dengan semua elektron berpasangan, yang dikenal dengan keadaan singlet, dan karena itu ditunjuk dalam diagram sebagai S_0 untuk tingkat nol, S_1 untuk selanjutnya, dan seterusnya. Oksigen dan nitrat oksida tidak biasa dalam elektron yang memiliki spin paralel di keadaan dasar, dan keadaan seperti itu disebut keadaan triplet. Biasanya, energi triplet berada di atas S_0 . Mereka diberi label "T" dalam diagram Jablonski. Lapisan atas pada setiap keadaan disebut mode getaran yang sedikit lebih tinggi, yang ditandai dengan garis horizontal bernomor 1, 2, 3, 4 dan seterusnya (Lee, 2017).

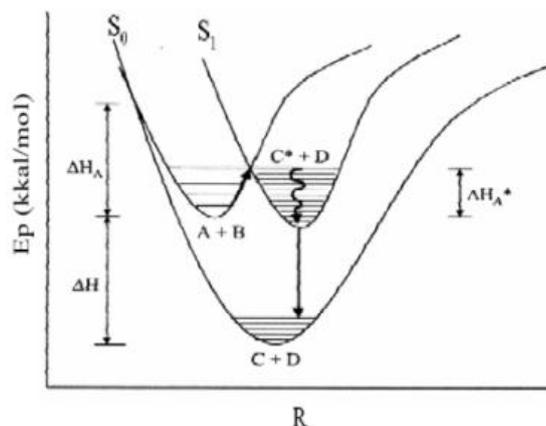
Reaksi kemiluminisensi dihasilkan dari dua mekanisme dasar, yaitu:

a. Reaksi langsung

Reaksi secara langsung dapat ditulis dengan persamaan:



Reaksi kemiluminisensi langsung terjadi pada bioluminisensi langsung. Pada reaksi tersebut dibutuhkan dua reaktan yang bereaksi dalam kehadiran kofaktor untuk membentuk sebuah produk keadaan tereksitasi elektronik. Produk tersebut kemudian mengalami relaksasi ke keadaan dasar sambil memancarkan sebuah foton. Dari persamaan diatas A dan B merupakan reaktan dan C^* merupakan produk tereksitasi. Proses energi pada kemiluminisensi langsung dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses Energi pada Reaksi Kemiluminisensi/Bioluminisensi (Ratnawulan, 2008).

ΔH_A adalah energi enthalpi yang tersimpan dalam reaktan dan ΔH_A^* adalah energi enthalpi aktivasi pada keadaan eksitasi yang selanjutnya relaksasi ke keadaan dasar sambil memancarkan cahaya tampak. Proses reaksi kemiluminisensi dapat terjadi jika $\Delta H_A^* < \Delta H_A$, karena pada proses kemiluminisensi menyaratkan energi yang terlibat harus eksotermik maka reaksi terbatas hanya pada reaksi redoks yang menggunakan oksigen dan hidrogen peroxida atau oksidan potensial lainnya.

b. Reaksi tidak langsung

Persamaan untuk reaksi tidak langsung yaitu:



Reaksi kemiluminisensi tidak langsung terjadi pada bioluminisensi tidak langsung. Berdasarkan transfer energi dari molekul tereksitasi ke molekul lain untuk memancarkan cahaya. Dalam persamaan (16), intermediat keadaan eksitasi dibentuk oleh reaksi kimia. Selanjutnya energi kimia dalam intermediat kemudian

ditransfer untuk mengeksitasi molekul lain sesuai persamaan (17). Akhirnya kemiluminisensi terjadi ketika molekul tereksitasi mengalami relaksasi kembali ke keadaan dasar dengan memancarkan cahaya.

E. Koefisien Inhibisi Bioluminisensi

Untuk melihat pengaruh jenis logam berat terhadap penurunan intensitas pemancaran cahaya, maka nilai intensitas maksimum bioluminisensi dalam kehadiran senyawa logam berat dengan konsentrasi molar tertentu (I_{\max}) akan dibandingkan dengan nilai intensitas bioluminisensi tanpa senyawa logam berat ($I_{0, \max}$). Perbandingan ($I_{\max}/I_{0, \max}$) kemudian ditulis ulang sebagai (I/I_0). Pengaruh kehadiran senyawa logam berat pada sistem bioluminisensi bakteri akan dianalisis dengan parameter-parameter yang didefinisikan berikut ini: $(I/I_0)_{\max}$ adalah perbandingan maksimum dari nilai intensitas bioluminisensi dengan dan tanpa kehadiran senyawa logam berat. Nilai parameter inhibisi intensitas bioluminisensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kurva peluruhan berikut :

$$\frac{I}{I_0} = A + \exp(-K_i \cdot C) \quad (19)$$

dimana C = konsentrasi senyawa logam berat

A = konstanta normalisasi

I = nilai intensitas maksimum bioluminisensi dalam kehadiran senyawa logam berat

I_0 = nilai intensitas maksimum bioluminisensi tanpa senyawa logam berat

K_i = koefisien inhibisi (Kudryasheva, 2004).

F. Logam Berat

Logam merupakan kelompok toksikan yang unik. Logam dapat ditemukan dan menetap di alam, tetapi bentuk kimianya dapat berubah akibat pengaruh fisika kimia, biologis atau akibat aktivitas manusia. Toksisitasnya dapat berubah drastis apabila bentuk kimianya berubah. Umumnya logam bermanfaat bagi manusia karena penggunaannya di bidang industri, pertanian atau kedokteran. Sebagian merupakan unsur penting karena dibutuhkan dalam berbagai fungsi biokimia atau faali. Dilain pihak, logam dapat berbahaya bagi kesehatan bila terdapat dalam makanan, air atau udara (Darmono, 2001).

Suatu bahan atau zat dapat dikatakan beracun dan berbahaya apabila menyebabkan efek yang tidak seharusnya serta apabila konsentrasi bahan tersebut didalam tubuh melebihi batas toleransi. Kekuatan racun (toksisitas) dari suatu bahan dapat diketahui berdasarkan angka LD50 (Lethal Dose 50) yaitu dosis (banyaknya zat racun yang diberikan kepada sekelompok binatang percobaan sehingga menimbulkan kematian pada 50% dari binatang tersebut. Makin kecil angka LD50 makin toksik zat tersebut (Harjanto, 2011).

Logam berat adalah suatu logam dengan berat jenis lebih besar dari 5 gr/cm³. Unsur yang termasuk logam berat adalah Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb dan Zn.

Menurut Palar (2008) karakteristik logam berat sebagai berikut :

- a. Memiliki spesifikasi gravitasi yang sangat besar (>4)
- b. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur lantanida dan aktanida
- c. Mempunyai respon biokomia yang spesifik pada organisme hidup.

Beberapa jenis logam berat dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Jenis beberapa logam berat.

Logam berat	Lambang	Densitas (g/cm ³)	Massa Atom (g/mol)
Seng	Zn	7,14	65,38
Khromium	Cr	7,20	51,9961
Mangan	Mn	7,2	54,9380
Timah	Sn	7,3	118,710
Besi	Fe	7,88	55,854
Kobalt	Co	8,9	58,9331
Nikkel	Ni	8,90	58,6934
Tembaga	Cu	8,92	63,546
Timbal	Pb	11,34	207,2
Tungsten	W	19,4	183,84
Emas	Au	19,34	196,96656

(Vlack,1995).

1. Timbal (Pb)

Timbal atau sering disebut timah hitam dalam bahasa latin dikenal dengan nama plumbum, disingkat dengan Pb. Timbal pada tabel periodik terdapat pada golongan XIV P, periode VI, memiliki nomor atom 82 (Cotton dan Wilkinson, 1989). Timbal merupakan suatu logam berat yang lunak berwarna kelabu kebiruan. Pada suhu 550°C-600°C timbal menguap dan bereaksi dengan oksigen dalam udara membentuk timbal oksida. Walaupun bersifat lentur, timbal sangat rapuh dan mengkerut pada pendinginan, sulit larut dalam air dingin, air panas dan air asam. Timbal dapat larut dalam asam nitrit, asam asetat dan asam sulfida pekat (Palar, 2008).

Penyebaran logam timbal di bumi sangat sedikit. Jumlah timbal yang terdapat diseluruh lapisan bumi hanyalah 0,0002 % dari jumlah seluruh kerak bumi. Jumlah ini sangat sedikit jika dibandingkan dengan jumlah kandungan logam berat lainnya yang ada di bumi (Palar, 2008). Selain dalam bentuk logam murni, timbal dapat ditemukan dalam bentuk senyawa inorganik dan organik.

Semua bentuk timbal (Pb) tersebut berpengaruh sama terhadap toksisitas pada manusia (Darmono, 2001).

Sifat-sifat fisika timbal adalah:

- a. Massa jenis : $11.34 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- b. Titik didih : $1740 \text{ }^\circ\text{C}$
- c. Titik leleh : $327,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- d. Kalor peleburan : $4.77 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- e. Kalor penguapan : $179.5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- f. Kapasitas kalor : $26.650 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- g. Berat molekul : $207,19 \text{ g/mol}$.

2. Tembaga (Cu)

Tembaga atau copper (Cu) umumnya berbentuk kristal dan memiliki warna kemerahan. Dalam tabel periodik unsur kimia, tembaga memiliki nomor atom (NA) 29 dan memiliki bobot atau berat atom (BA) 63,546. Keberadaan unsur tembaga dialam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral (Palar, 2008).

Toksitas logam tembaga yang terjadi pada manusia khususnya terjadi pada anak-anak yang biasanya terjadi karena adanya tembaga sulfat, beberapa gejala keracunan tembaga adalah sakit perut, mual, muntah, diare dan beberapa kasus yang parah yang dapat menyebabkan gagal ginjal dan kematian (Darmono, 2001).

Sifat fisik dan kimia tembaga :

- a. Lambang : Cu
- b. No. Atom : 29

- c. Golongan, periode : 14,4
- d. Penampilan : kemerah-merahan
- e. Konfigurasi Elektron : [Ar] 3d104s1
- f. Fase : Padat
- g. Massa Jenis (suhu kamar) : 8.94 g/cm³
- h. Titik Lebur : 1357,77 K, 1084,62 °C, 1984,32°F
- i. Titik Didih : 2835 K, 2562 °C, 1984,32°F
- j. Kapasitas Kalor : 24.44 J mol⁻¹K⁻¹.

3. Seng (Zn)

Seng (Zn) merupakan salah satu unsur dengan simbol Zn berwarna putih kebiru biruan dengan nomor atom 30, berat atom 65,37 g/mol, konfigurasi elektron [Ar]3d104s2 dan terdapat pada golongan IIB unsur transisi di dalam tabel periodik. Seng liat pada suhu 110-150 °C, melebur pada suhu 410 °C, dan mendidih pada suhu 906 °C.

Penyebaran seng dalam lingkungan cukup luas dapat ditemukan dalam air, udara dan organisme hidup. Di alam apabila dalam keadaan terkontaminasi hampir selalu bersama sama dengan kadmium. Perbandingan seng dengan kadmium berperan penting dalam efek seng terhadap organisme.

Metabolisme merupakan faktor utama yang menentukan toksisitas seng. Konsentrasi senyawa seng bebas yang berlebih di dalam tubuh akan bereaksi secara antagonis dengan metallothionein. Reaksi antagonis secara toksikologi akan mengurangi atau bahkan menghilangkan toksisitas suatu zat atau senyawa toksikan atau protoksikan (Palar, 2008).

4. Besi (Fe)

Besi (Fe) adalah logam-logam yang berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. Fe didalam susunan unsur berkala termasuk logam golongan VIII B, dengan berat atom 55,85 g/mol, nomor atom 26, berat jenis $7,86 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ dan umumnya mempunyai valensi 2 dan 3 (selain 1, 4, 6). Besi (Fe) adalah logam yang dihasilkan dari bijih besi, jarang dijumpai dalam keadaan bebas, untuk mendapatkan unsur besi campuran lain harus dipisahkan melalui kimia (Eaton, 2005).

Besi dan unsur keempat banyak dibumi dan merupakan logam yang terpenting dalam industri. Besi murni bersifat agak lunak dan kenyal. Oleh karena itu, dalam industri, besi selalu dipadukan dengan baja. Baja adalah berbagai macam paduan logam yang dibuat dari besi tuang kedalamnya ditambahkan unsur-unsur lain seperti Mn, Ni, V, atau W tergantung keperluannya. Besi tempa adalah besi yang hampir murni dengan kandungan sekitar 0.2% karbon.

Sifat-sifat fisika dan kimia besi :

- a. Lambang : Fe
- b. No. Atom : 26
- c. Golongan, periode : 8,4
- d. Penampilan : Metalik Mengkilap keabu-abuan
- e. Konfigurasi Elektron : [Ar] 3d⁶4s²
- f. Fase : Padat
- g. Massa Jenis (Suhu Kamar) : $7,86 \text{ g}/\text{cm}^3$
- h. Titik Lebur : 1811 °K (1538 °C, 2800 °F)
- i. Titik Didih : 3134 °K (2861 °C, 5182 °F)

j. Kapasitas Kalor : (25 °C) 25,10 J/ (mol.K)

5. Pengaruh Logam Berat Terhadap Sifat Fisis Pemancaran Cahaya Bioluminisensi Kunang-kunang

Keberadaan logam berat di lingkungan dapat terjadi melalui proses alamiah seperti aktivitas vulkanik, pengikisan batuan, hujan, tanah longsor dan bencana alam yang membuat unsur-unsur yang ada di alam seperti Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn terlepas ke lingkungan. Keberadaan logam berat juga akibat dari kegiatan manusia antara lain melalui pembuangan limbah rumah tangga, limbah industri, kegiatan pertanian, transportasi, sarana pariwisata dan sarana rekreasi.

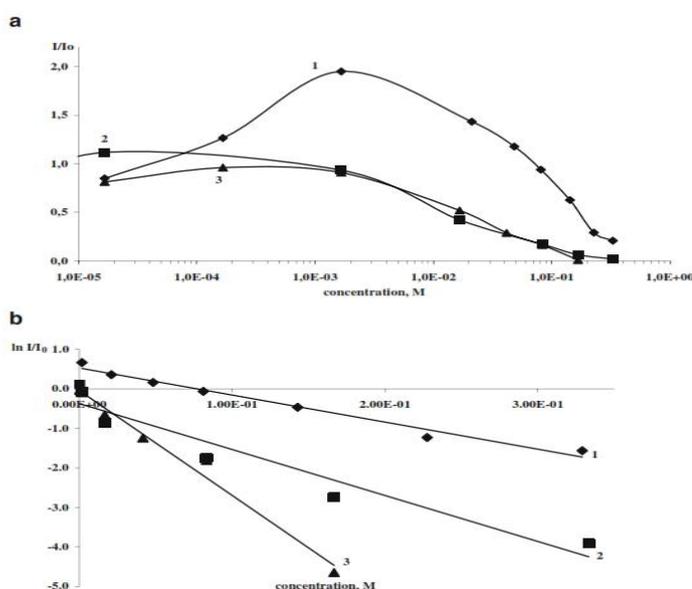
Masuknya logam berat dalam tubuh makhluk hidup dapat terjadi melalui udara, air dan makanan yang dikonsumsi oleh makhluk hidup atau dapat dikatakan bahwa terakumulasi logam berat dalam tubuh makhluk hidup melalui rantai makanan. Logam berat dibutuhkan makhluk hidup sebagai logam esensial dalam proses metabolisme dan juga ko-faktor enzim tetapi dalam jumlah yang sangat kecil. Jika penyerapan logam melebihi batas aman akan berbahaya bagi makhluk hidup tersebut.

Logam berat dapat terakumulasi di dalam tubuh suatu organisme dan tinggal dalam jangka waktu yang lama sebagai racun. Keberadaan suatu zat racun dapat mempengaruhi aktifitas enzim. Logam berat mempunyai kemampuan untuk berikatan dengan enzim, sehingga enzim mudah terhalang dayanya. Senyawa beracun seperti logam berat dapat menyebabkan penurunan intensitas cahaya pada kunang-kunang.

Sifat fisika yang dimiliki oleh masing-masing logam berat seperti berat molekul dapat mempengaruhi penurunan intensitas relatif bioluminisensi.

Intensitas bioluminisensi kunang-kunang semakin menurun apabila berat molekul dari logam berat semakin besar. Konsentrasi logam berat mempengaruhi intensitas relatif. Semakin besar konsentrasi logam berat, intensitas relatif bioluminisensi semakin kecil (Kirillova dan Kudryasheva, 2007).

Kirillova dan Kudryasheva (2007) juga melakukan penelitian tentang pengaruh logam berat pada reaksi bioluminisensi kunang-kunang *Luciola mingrelica*. Logam berat yang digunakan adalah KCl, KBr, dan KI. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. (a) Pengaruh kalium halida pada intensitas bioluminisensi kunang-kunang (b) Pengaruh konsentrasi terhadap $\ln(I/I_0)$ bioluminisensi kunang-kunang:

Dari Gambar 8 a dapat dilihat nilai intensitas (I/I_0) pada berbagai logam berat kalium halida. Nilai intensitas (I/I_0) paling tinggi terjadi pada logam berat KCl, yaitu pada 1.9, pada KBr 1.0 dan KI 1.0. Pada Gambar 8 b, terlihat hubungan $\ln I/I_0$ dengan konsentrasi logam berat, dari ketiga logam berat tersebut $\ln I/I_0$ semakin kecil dengan meningkatnya konsentrasi.

Menurut Ratnawulan (2008), logam berat berpengaruh terhadap penurunan intensitas pemancaran cahaya. Intensitas cahaya dari reaksi bioluminisensi makin menurun jika berat molekul dari logam berat makin besar. Pemberian beberapa jenis logam berat dalam sistem bioluminisensi kunang-kunang tidak mengubah panjang gelombang pada intensitas maksimum. Jenis dan konsentrasi logam berat mempengaruhi intensitas bioluminisensi kunang-kunang (Ratnawulan, 2019).

Aplikasi yang dapat dimanfaatkan dari bioluminisensi yaitu bioluminesensi dapat digunakan sebagai biosensor untuk deteksi pencemaran lingkungan. Dari nilai intensitas yang didapat dari biosensor tersebut, dapat diketahui apakah lingkungan tersebut terdeteksi logam berat atau tidak.

G. Nano Spektrofotometer

Spektrofotometer sesuai dengan namanya adalah alat yang terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrofotometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Jadi spektrofotometer digunakan untuk mengukur energi relatif jika energy tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi panjang gelombang. Kelebihan spektrofotometer dengan fotometer adalah panjang gelombang dari sinar putih dapat lebih di deteksi dan cara ini diperoleh dengan alat pengurai seperti prisma, grating atau celah optis. Pada fotometer filter dari berbagai warna yang mempunyai spesifikasi melewatkan trayek pada panjang gelombang tertentu.

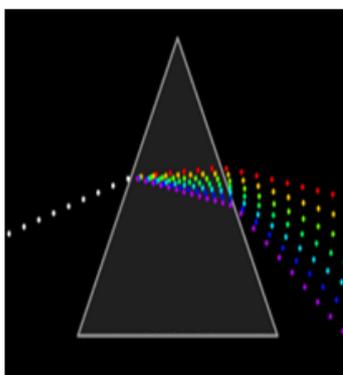
Spektrofotometer merupakan salah satu dari sekian banyak instrumen yang biasa digunakan dalam menganalisa suatu senyawa kimia. Spektrofotometer umum digunakan karena kemampuannya dalam menganalisa begitu banyak

senyawa kimia serta kepraktisannya dalam hal preparasi sampel apabila dibandingkan dengan beberapa metode analisa. Spektrofotometri melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometer lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibanding kualitatif. Gambar 9 merupakan Nano Spektrofotometer series N50.



Gambar 9. Nano Spektrofotometer N50.

Adapun prinsip kerja alat spektrofotometer yaitu sumber radiasi untuk spektroskopi adalah lampu tungsten. Cahaya yang dipancarkan sumber radiasi adalah cahaya polikromatik. Cahaya polikromatik akan melewati monokromator yaitu suatu alat yang paling umum dipakai untuk menghasilkan berkas radiasi dengan satu panjang gelombang (monokromator). Monokromator radiasi, sinar tampak dan infra merah adalah serupa yaitu mempunyai celah (slit), lensa, cermin dan perisai atau grating. Gambar 10 proses cahaya polikromatik menjadi monokromatik.



Gambar 10. Proses cahaya polikromatik menjadi monokromatik

Cahaya yang diserap diukur sebagai absorptansi (A) sedangkan cahaya yang hamburkan diukur sebagai transmitansi (T), dinyatakan dengan hukum lambert-beer atau Hukum Beer, berbunyi:

“Jumlah radiasi cahaya tampak (ultraviolet, inframerah dan sebagainya) yang diserap atau ditransmisikan oleh suatu larutan merupakan suatu fungsi eksponen dari konsentrasi zat dan tebal larutan”. Hukum Lambert Beers menyatakan hubungan tersebut:

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-abc} \quad (20)$$

dengan :

T = Transmittansi

I = Intensitas sinar yang diteruskan

I_0 = Intensitas awal

a = Tetapan absorptivitas

b = Jarak tempuh optik

c = Konsentrasi

persamaan tersebut dapat diturunkan menjadi:

$$\text{Log } T = \log (I) / (I_0) = - abc$$

$$\text{Log } (1/T) = \log (I) / (I_0) = abc = A$$

dengan A = Absorban, sehingga diperoleh persamaan:

$$A = abc \quad (21)$$

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang semakin menurun apabila konsentrasi logam berat semakin besar. Penurunan intensitas paling besar akibat pengaruh keberadaan logam berat terjadi pada timbal (Pb), besi (Fe), tembaga (Cu) dan seng (Zn).
2. Koefisien inhibisi semakin menurun dengan meningkatnya konsentrasi logam berat. Untuk konsentrasi 0,1 mg/l koefisien inhibisi timbal (Pb) sebesar 10,555 K (M⁻¹), besi (Fe) sebesar 3,326 K (M⁻¹), tembaga (Cu) sebesar 2,928 K (M⁻¹) dan seng (Zn) 1,346 K (M⁻¹). Untuk konsentrasi 5 mg/l koefisien inhibisi timbal (Pb) sebesar 0,2418 K (M⁻¹), besi (Fe) sebesar 0,1165 K (M⁻¹), tembaga (Cu) sebesar 0,0894 K (M⁻¹) dan paling kecil seng (Zn) sebesar 0,0483 K (M⁻¹). Untuk konsentrasi 10 mg/l koefisien inhibisi timbal (Pb) sebesar 0,1594 K (M⁻¹), besi (Fe) sebesar 0,0616 K (M⁻¹), tembaga (Cu) sebesar 0,0881 K (M⁻¹) dan seng (Zn) sebesar 0,0375 K (M⁻¹). Koefisien inhibisi paling besar akibat keberadaan logam berat timbal (Pb), kemudian besi (Fe), tembaga (Cu), dan paling kecil adalah seng (Zn).
3. Koefisien inhibisi paling besar pada bioluminisensi kunang-kunang akibat keberadaan logam berat timbal (Pb), kemudian besi (Fe), tembaga (Cu), dan paling kecil adalah seng (Zn). Nilai koefisien inhibisi terbesar juga diikuti dengan besarnya berat molekul logam berat, yaitu timbal nitrat (PbNO₃) memiliki berat molekul paling besar yaitu 269,20 g/mol, kemudian tembaga

sulfat (CuSO_4) yaitu 159,61 g/mol, besi sulfat (FeSO_4) yaitu 151,91 g/mol, dan seng nitrat (ZnNO_3) yaitu 127,38 g/mol.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk melakukan proses isolasi kunang-kunang lebih baik lagi agar nilai intensitas relatif yang didapatkan lebih akurat. Pada saat selesai isolasi sebaiknya ekstrak kunang-kunang langsung diukur menggunakan alat spektrofotometer agar protein yang didapatkan tidak rusak apabila disimpan terlalu lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Barua A. Gohain, S. Hazarika, N. M. Saikia and G. D. Baruah. 2009. *Bioluminescence emissions of the firefly *Luciola praeusta* Kiesenwetter 1874 (Coleoptera : Lampyridae : Luciolinae)*. J. Biosci. Vol 34 : 287–292.
- Bechara, Etelvino. J. H. and Stevani, Cassius V. 2018. *Brazilian Bioluminescent Beetles: Reflection on Catching Glimpses of Light in the Atlantic Forest and Cerrado*. An Acad Bras Cienc. Vol 90: 663-679.
- Beiser, Arthur. 1995. *Konsep Fisika Modern*. Jakarta: Erlangga.
- Booth, David, Alan J. A. Stewart and Daniel Osorio. 2004. *Colour vision in the glow-worm *Lampyris noctiluca* (L.) (Coleoptera: Lampyridae): evidence for a green-blue chromatic mechanism*. The Journal of Experimental Biology. Vol 207 : 2373-2378.
- Cotton, F. Alert dan Wilkinson, G. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Penerjemah Sahati Suharto, Yarti A. Koestoer. Jakarta: UI Press.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta: UI Press
- Day, J.C dan M. J. Bailey. 2003. *Structure And Evolution Of The Luciferin Regenerating Enzyme (LRE) Gene From the Firefly *Photinus Pyralis**. Insect Moleculsr Biology 12 (4).
- De Cock, Raphael. 2004. *Larva and Adult Emission Spectra of Bioluminescence in Three European Firefly species*. Photochemistry and Photobiology. Vol 79(4): 339-342.
- Dreisig, H. 1975. *Environmental Control Of The Daily Onset Of Luminescent Activity In Glowworms And Fireflies (Coleoptera: Lampyridae)*. Oecologia 18: 85-99.
- Eaton, Andrew. 2005. *Standard Metods for Examination of Water and Wastewater. 21st Edition*. Marryland-USA: American Public Health Association.
- Fan, Frank dan Keith V. Wood, 2007. *Bioluminescent Assay for High-Throughput Screening*. ASSAY and Drug Development Technologies. Vol 5(1) : 127-136.
- Finkenthal, Daniel. 1996. *Introduction to the Electromagnetic Spectrum*. General Atomics. <http://FusionEd.gat.com/>.
- Giancoli, Douglas, C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

- Goswami, Angana, Upamanyu Sharma, Mana Mohan Rabha, Subhash Chandra Rajbogshi, and Anurup Gohain Barua. 2015. *Steady-state and time-resolved bioluminescence of the firefly *Asymmetricata circumdata* (Motschulsky)*. Research Communication. Vol 106(10) : 1838-1842.
- Haddock S. H. D., M. A. Moline and J. F. Case. 2010. *Bioluminescence in the Sea*. Annual Review of Marine Science. Vol 2 : 443-493.
- Harjanto, Nur Tri, Suliyanto dan Endang Sukei I. 2011. *Manajemen Bahan Kimia Berbahaya dan Beracun Sebagai Upaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja Serta Perlindungan Lingkungan*. BATAN No.08 Tahun IV.
- Hastings J.W., K. L. Krause. 2004. *Luciferases and light-emitting accessory proteins: structural biology*. In *Nature Encyclopedia of Life Sciences (eLS)*. John Wiley & Sons, Ltd, online
- Holsa, Jorma. 2009. *Persistent Luminisensi Beats the Afterglow : 400 Years of Persistent Luminisensi*. Electrochemical Society Interface. Page 42-45.
- Jia, Kun and Rodica Elena Ionescu. 2016. *Measurement of Bacterial Bioluminescence Intensity and Spectrum: Current Physical Techniques and Principles*. Adv Biochem Eng Biotechnol. 154 : 19-45.
- Kahlke, Tim and Kate, D.L. Umbers. 2016. *Quick guide Bioluminescence: Current Biology*. Vol 26. R307-R318.
- Khalid, Ashiq Hussain dan Kontis, Konstantinos. 2008. *Thermographic Phosphors for High Temperature Measurements: Principles, Current State of the Art and Recent Applications*. Sensors. Vol 8. 5673-5744.
- Kudryasheva N.S., E. V. Nemtseva and T. N. Kirillova. 2004. *Exogenous compounds in studying the mechanisms of electron-excited state formation in bioluminescence*. Biopolymers. Vol 1.74. Page. 100- 104.
- Kirillova, Tamara N dan Kudryasheva, Nadezhada S. 2007. *Effect Of Heavy Atom in Bioluminescent Reactions*. Anal Bioanal Chem (2007) 387:2009–2016.
- Lee, John. 2017. *The Nature of The Light*. The University of Georgia.
- Longkumer, I. Yimjejang, and Ram Kumar. 2018. *Bioluminescence in Insect*. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. Vol 7(3):187-193.
- Muthukumaran, Thuraimony, Nemani V. Krishna Murthy, Negalingnam Sivaprasad, and Thankiah Sudhaharan. 2014. *Isolation and Characterization of Luciferase from Indian Firefly, *Luciola Praeusta**. Luminescence. 29(1): 20-28.

- Palar H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Ramesh, Ch and R. Mohanraju, 2015. *A Review on Bioluminescence and its Application*. International Journal of Luminescence and Applications. Vol 5(1) : 45-46.
- Ratnawulan. 2008. *Fisika Bioluminisensi Studi Kasus pada Bakteri Photobacterium Phosporeum*. Padang:Universitas Negeri Padang Press.
- Ratnawulan R, A Fauzi and A S Arma. 2019. *Effects of Heavy Metal on Intensity and Coefficient of Inhibition of Firefly Bioluminescence*. IOP Conf. Series: Journal of Physics. Conf.
- Saikia, J., R. Changmai, and G.D. Baruah. 2001. *Bioluminescence of firefly and evaluation of firefly pulses in light of oscillatory chemical reaction*. Indian Journal of pure and Applied Physics. Vol 39 : 825-828.
- Sari, Melfita, Ratnawulan dan Gusnedi. 2013. *Karakteristik Fisis Pemancaran Cahaya Kunang-kunang Terbang (Pteroptyx Tener)*. Pillar Of Physics, Vol. 1. April 2014, 113-120.
- Sarvinda, Melly, Ratnawulan dan Gusnedi. 2013. *Pengaruh Logam Berat Terhadap Sifat Fisis Pemancaran Cahaya Dari Bioluminisensi kunang-kunang (Pteroptyx Tener)*. Pillar of Physics, Vol. 2. Oktober 2013, 107-114.
- Tippler, Paul A. 2001. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Edisi ke-3 Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Viviani, Vadim R., T. L. Oehlemeyer, F. G. C. Arnoldi and M. R. Brochetto-Braga. 2005. *A New Firefly Luciferase with Bimodal Spectrum: Identification of Structural Determinants of Spectral pH-Sensitivity in Firefly Luciferased*. Photochemistry and photobiology. 81: 843-848
- Vandergriff, Linda J. 1999. *Fundamentals of Photonics*. Lean: Virginia.
- Vlack, Lawrence H Van. 1995. *Ilmu Dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Erlangga: Jakarta.
- Wilson T and Hastings J. W, *Bioluminescence: Living Lights, Lights for Living*, Harvard University Press.