

**PENGARUH LOGAM BERAT TERHADAP SIFAT FISIS
PEMANCARAN CAHAYA DARI BIOLUMINISENSI
KUNANG-KUNANG (*Pteroptyx tener*)**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada Tim Penguji Jurusan Fisika Sebagai Salah Satu
Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains**



**MELLY SARVIDA
NIM. 01988**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2013**

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Melly Sarvida
NIM : 01988
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

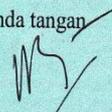
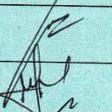
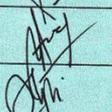
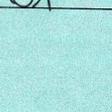
dengan judul

PENGARUH LOGAM BERAT TERHADAP SIFAT FISIS PEMANCARAN CAHAYA DARI BIOLUMINISENSI KUNANG-KUNANG (*Pteroptyx tener*)

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

Padang, 10 Mei 2013

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si.	
Sekretaris	: Drs. Gusnedi, M.Si.	
Anggota	: Dra. Syakbaniah, M.Si.	
Anggota	: Dr. Hamdi, M.Si.	
Anggota	: Dra. Hidayati, M.Si.	

ABSTRAK

Melly Sarvida : “Pengaruh Logam Berat Terhadap Sifat Fisis Pemancaran Cahaya dari Bioluminisensi Kunang-kunang (*Pteroptyx tener*)”

Logam berat merupakan faktor lingkungan yang mempengaruhi intensitas relatif cahaya kunang-kunang dan di duga logam berat yang terakumulasi pada tubuh kunang-kunang dapat menurunkan intensitas cahaya yang dihasilkannya. Penelitian ini akan melihat pengaruh dari logam berat terhadap reaksi bioluminisensi kunang-kunang. Mulai dari pengaruh jenis dan konsentrasi logam berat terhadap intensitas, koefisien inhibisi dan pengaruh berat molekul logam berat dengan koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium Fisika Material dan Biofisika serta laboratorium Kimia FMIPA UNP. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran panjang gelombang dan intensitas cahaya kunang-kunang *Pteroptyx tener* yang diambil dari daerah Sungai Lareh Kecamatan Koto Tangah Kota Padang sebelum dan sesudah diberi perlakuan dengan logam berat menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Variabel-variabel yang ditentukan dalam penelitian ini yaitu variabel bebas terdiri dari logam berat timbal (Pb), tembaga (Cu), besi (Fe) dan seng (Zn) dan konsentrasi logam berat yaitu 0,5 mg/l, 1 mg/l dan 2 mg/l, variabel terikat yaitu intensitas relatif cahaya kunang-kunang dan koefisien inhibisi, dan variabel kontrol adalah jenis dan ukuran kunang-kunang serta media pelarut yang digunakan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang makin menurun jika konsentrasi logam berat makin besar. Penurunan intensitas paling besar akibat keberadaan logam berat timbal (Pb), kemudian seng (Zn), tembaga (Cu), dan paling kecil adalah besi (Fe). Koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang makin menurun dengan meningkatnya konsentrasi logam berat. Untuk konsentrasi 0.5 mg/l koefisien inhibisi timbal (Pb) sebesar $1.8620M^{-1}$, seng (Zn) sebesar $0.6275M^{-1}$, tembaga (Cu) sebesar $0.4260M^{-1}$, dan paling kecil adalah besi (Fe) sebesar $0.2481M^{-1}$. Untuk konsentrasi 1 mg/l koefisien inhibisi timbal (Pb) sebesar $1.1494M^{-1}$, seng (Zn) sebesar $0.4269M^{-1}$, tembaga (Cu) sebesar $0.3385M^{-1}$, dan paling kecil adalah besi (Fe) sebesar $0.2747M^{-1}$. Untuk konsentrasi 2 mg/l koefisien inhibisi timbal (Pb) sebesar $0.8951M^{-1}$, seng (Zn) sebesar $0.3269M^{-1}$, tembaga (Cu) sebesar $0.2998M^{-1}$, dan paling kecil adalah besi (Fe) sebesar $0.2671M^{-1}$. Koefisien inhibisi paling besar pada bioluminisensi kunang-kunang akibat keberadaan logam berat timbal (Pb), kemudian seng (Zn), tembaga (Cu), dan paling kecil adalah besi (Fe). Nilai koefisien inhibisi terbesar juga diikuti dengan besarnya berat molekul logam berat, yaitu timbal nitrat ($PbNO_3$) memiliki berat molekul paling besar yaitu 269.20 g/mol, kemudian seng nitrat ($ZnNO_3$) yaitu 127.38 g/mol, tembaga nitrat ($CuNO_3$) yaitu 125.55 g/mol dan besi nitrat ($FeNO_3$) yaitu 117.86 g/mol.

Kata Kunci: *Bioluminisensi, Logam berat, Intensitas relatif dan Koefisien inhibisi.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta salawat beriring salam kepada Rasulullah SAW sebagai uswatun hasanah bagi kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Logam Berat Terhadap Sifat Fisis Pemancaran Cahaya dari Bioluminisensi Kunang-kunang (*Pteroptyx tener*)”**.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program Strata Satu di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Selama menulis skripsi ini, penulis banyak mendapat bantuan dan bimbingan serta semangat dari semua pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada yang terhormat:

1. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si., selaku pembimbing I sekaligus Penasehat Akademis atas segala bimbingan, dukungan, nasehat dan waktu selama menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Gusnedi, M.Si., selaku pembimbing II atas segala bimbingan, dukungan, nasehat dan waktu selama menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Dra. Syakbaniah, M.Si., Bapak Dr. Hamdi, M.Si. dan Ibu Dra. Hidayati, M.Si., selaku dosen penguji atas semua kritikan, masukan dan sarannya.
4. Bapak Drs. Akmam, M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
5. Bapak dan Ibu Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.

6. Rekan-rekan Fisika 2008 yang selalu memotivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Kedua Orang Tua serta keluarga atas doa dan dorongan yang telah diberikan kepada penulis.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga semua bantuan, bimbingan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis dapat menjadi amal ibadah disisi Allah S.W.T dan mendapat balasan yang setimpal. Amin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya masukan dan saran yang membangun demi kelengkapan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menambah ilmu dan pengetahuan bagi pembaca.

Padang, April 2013

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah	5
D. Pertanyaan Penelitian	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN TEORI	
A. Cahaya dan Intensitas Cahaya	7
B. Bioluminisensi	11
C. Bioluminisensi Kunang-kunang	14
D. Proses Fisis Bioluminisensi	19
E. Pengaruh Logam Berat Terhadap Sifat Fisis Bioluminisensi Kunang-kunang	
1. Logam Berat	23
2. Dampak Pencemaran Logam Berat di Udara	27
3. Pengaruh Logam Berat Terhadap Sifat Fisis Pemancaran Cahaya Bioluminisensi Kunang-kunang	29

F. Spektrofotometer Uv-Vis	34
BAB III METODA PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian	38
B. Tempat Penelitian	38
C. Waktu Penelitian	38
D. Instrumen Penelitian	39
E. Sampel Penelitian	42
F. Variabel Penelitian	42
G. Prosedur Penelitian	43
H. Teknik Pengumpulan Data	46
I. Teknik Pengolahan Data	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Deksripsi Data	48
B. Analisa Data	55
C. Pembahasan	61
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	65
B. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	71

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Panjang Gelombang dan Frekuensi Gelombang Elektromagnetik	8
2. Panjang Gelombang dan Frekuensi Cahaya Tampak.....	9
3. Berbagai Jenis Luminisensi.....	12
4. Berbagai Jenis Organisme Bioluminisensi	13
5. Densitas Beberapa Logam Berat	24
6. Pengaruh Logam Berat Terhadap Intensitas Cahaya Pada Kunang-kunang <i>Luciola mingrelica</i>	34
7. Cara Pembuatan Larutan Logam Berat dengan Variasi Konsentrasi...	45
8. Nilai Inhibisi Intensitas Bioluminisensi Pada Berbagai Jenis dan Konsentrasi Logam Berat	58
9. Nilai Berat Molekul dan Koefisien Inhibisi Intensitas Bioluminisensi Pada Berbagai Jenis dan Konsentrasi Logam Berat ...	59
10. Perbandingan Pengaruh Jenis Logam Berat Terhadap Sifat Fisis Bioluminisensi Kunang-kunang.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Spektrum Gelombang Elektromagnetik	8
2. Spektrum Gelombang pada Cahaya Tampak	9
3. Bagian Abdomen Kunang-kunang <i>Ptroptyx tener</i>	16
4. Tubuh Kunang-kunang <i>Ptroptyx tener</i>	16
5. Kunang-kunang <i>Ptroptyx tener</i> Sungai Lareh Kecamatan Koto Tengah Kota Padang	17
6. Struktur Kimia Luciferin Kunang-Kunang	18
7. Tahapan Reaksi Bioluminisensi Kunang-kunang	18
8. Diagram Jablonski untuk Molekul	21
9. Proses Energi pada Reaksi Kemiluminisensi	22
10. Diagram Berat Molekul dan ln Koefisien Inhibisi (M^{-1}) Bakteri <i>Photobacterium leiognathi</i> dengan Logam Berat	31
11. Nilai K (M^{-1}) Pada Berbagai Jenis Logam Berat Pada Bioluminisensi Kunang-kunang	31
12. Efek Senyawa Logam Berat Pada Bioluminisensi Kunang-kunang ...	32
13. Pancaran Cahaya Bioluminisensi Pada Senyawa Logam Berat KI	33
14. Spektrofotometer Uv-Vis T-70	35
15. Skema Alat Spektrofotometer Uv-Vis	35
16. Peralatan Spektrofotometer Uv Vis	39
17. Timbangan Digital	39
18. Gelas Kimia.....	40

19. Corong Pisah	40
20. Pipet Tetes	40
21. Spatula	40
22. Botol	41
23. Kuvet	41
24. Kunang-kunang	42
25. Bagian Bercahaya Kunang-kunang	42
26. Prosedur Kegiatan Penelitian	43
27. Grafik Intensitas Relatif Cahaya Kunang-kunang Tanpa Logam Berat	48
28. Grafik Intensitas Relatif Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) Pada Konsentrasi Berbeda	49
29. Grafik Intensitas Relatif Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Seng (Zn) Pada Konsentrasi Berbeda	50
30. Grafik Intensitas Relatif Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Tembaga (Cu) Pada Konsentrasi Berbeda	51
31. Grafik Intensitas Relatif Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Besi (Fe) Pada Konsentrasi Berbeda	52
32. Grafik Intensitas Relatif Cahaya Kunang-Kunang dengan Konsentrasi 0.5 mg/l Pada Logam Berat yang Berbeda	53
33. Grafik Intensitas Relatif Cahaya Kunang-Kunang dengan Konsentrasi 1 mg/l Pada Logam Berat yang Berbeda	54
34. Grafik Intensitas Relatif Cahaya Kunang-Kunang dengan Konsentrasi 2 mg/l Pada Logam Berat yang Berbeda	55
35. Diagram Intensitas Relatif Cahaya Kunang-kunang Tanpa dan dengan Logam Berat	56

36. Diagram Koefisien Inhibisi (M^{-1}) Cahaya Kunang-kunang dengan Logam Berat..... 58
37. (a) Diagram Berat Molekul Logam Berat, (b) Diagram Koefisien Inhibisi (M^{-1}) Cahaya Kunang-Kunang dengan Logam Berat dan (c) Diagram $\ln K$ (M^{-1}) Cahaya Kunang-kunang dengan Logam Berat ... 60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif Cahaya Kunang-Kunang Tanpa Logam Berat.....	71
2. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) Konsentrasi 0.5 mg/l.....	71
3. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) Konsentrasi 1 mg/l.....	72
4. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) Konsentrasi 2 mg/l.....	73
5. Perhitungan Rumusan Regresi Intensitas Relatif Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb)	74
6. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Seng (Zn) Konsentrasi 0.5 mg/l.....	76
7. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Seng (Zn) Konsentrasi 1 mg/l.....	77
8. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Seng (Zn) Konsentrasi 2 mg/l.....	78
9. Perhitungan Rumusan Regresi Intensitas Relatif Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Seng (Zn).....	79
10. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Tembaga (Cu) Konsentrasi 0.5 mg/l.....	81
11. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Tembaga (Cu)Konsentrasi 1 mg/l.....	82

12. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Tembaga (Cu) Konsentrasi 2 mg/l.....	83
13. Perhitungan Rumusan Regresi Intensitas Relatif Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Tembaga (Cu).....	84
14. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Besi (Fe) Konsentrasi 0.5 mg/l.....	86
15. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Besi (Fe) Konsentrasi 1 mg/l.....	87
16. Tabel Panjang Gelombang dan Intensitas Relatif serta Koefisien Inhibisi Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Besi (Fe) Konsentrasi 2 mg/l.....	88
17. Perhitungan Rumusan Regresi Intensitas Relatif Cahaya Kunang-kunang dengan Pengaruh Logam Berat Besi (Fe)	89

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Pencemaran lingkungan terus-menerus terjadi, bahkan cenderung meningkat dari waktu ke waktu. Pencemaran dapat terjadi di air, tanah, dan udara. Pencemaran air berasal dari kebiasaan masyarakat membuang limbah domestik, baik limbah cair maupun limbah padat langsung ke perairan. Pencemaran tanah mengakibatkan menurunnya kualitas tanah akibat limbah yang dihasilkan oleh manusia, baik limbah rumah tangga, industri, maupun pertanian. Pencemaran udara berasal dari asap pabrik dari industri ataupun transportasi.

Limbah logam berat merupakan salah satu faktor pencemaran udara. Menurut Wadaningrum (2007) sumber kontaminasi logam berat ada dua, yaitu lewat pencemaran udara dan dari bahan makanan. Sumber kontaminasi logam berat melalui udara karena polusi oleh asap pabrik dan asap buangan kendaraan bermotor telah mencapai tingkat yang sangat tinggi. Logam berat dapat terakumulasi dalam jumlah yang cukup besar pada tanaman seperti sayuran dan padi, sehingga tanaman yang dikonsumsi tersebut membahayakan kesehatan. Akumulasi logam berat di dalam tubuh manusia dalam jangka waktu yang lama dapat mengganggu sistem peredaran darah, urat syaraf dan kerja ginjal.

Logam berat yang ada di udara diduga juga dapat terakumulasi pada hewan, terutama hewan yang hidup bebas di alam seperti kunang-kunang.

Kunang-kunang dapat terakumulasi melalui udara yang dihirup dan juga dapat melekat pada bagian luar tubuh kunang-kunang. Logam berat yang terakumulasi pada tubuh kunang-kunang diduga dapat menghambat cahaya yang dipancarkan oleh kunang-kunang.

Kunang-kunang merupakan salah satu organisme yang mampu menghasilkan cahaya sendiri. Fenomena organisme yang memiliki kemampuan untuk memancarkan cahaya sendiri dikenal dengan istilah bioluminisensi (Day dan Bailey 2003). Organisme yang berbioluminisensi ini telah diamati sepanjang zaman. Penyebab bioluminisensi baru dapat diketahui sejak munculnya mikroskop dan ilmu pengetahuan modern. Di lautan, pelaut sering mengatakan di air ada cahaya menakutkan yang ada disekitar kapal mereka. Christopher Columbus, selama perjalanan bersejarahnya melintasi Atlantik, melihat cahaya luminesensi misterius di perairan sekitar kapalnya (Floyd, 1997, dikutip dari Biron, 2003).

Organisme yang mampu berbioluminisensi tidak hanya hidup di daratan melainkan juga hidup di perairan. Organisme darat yang mampu berbioluminisensi tidak hanya kunang-kunang, namun juga jamur dan bakteri. Contoh bioluminisensi di perairan yaitu ikan *Melanocetus johnsonii* yang menggunakan lenteranya untuk menarik mangsa, ada cumi-cumi *Acanthephyra purpurea* menggunakannya untuk perlindungan dengan memancarkan awan tinta bercahaya yang membingungkan predator (Bay, 2009).

Kunang-kunang mampu memancarkan cahaya sendiri karena disebabkan oleh enzim luciferase yang mengkatalis senyawa luciferin. Dari reaksi tersebut luciferase mengalami eksitasi dan kembali ke keadaan dasar sambil memancarkan cahaya. Pancaran cahaya yang dihasilkan oleh organisme bioluminisensi ini merupakan energi dingin, karena hampir 90% energi yang dihasilkan dari reaksi luminesensi diubah menjadi energi cahaya (Maden, 2001, dikutip dari Maidianti, 2010).

Viza (2007) telah melakukan penelitian pada kunang-kunang merayap secara biologi. Penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisis DNA genom kunang-kunang merayap dan gen penghasil cahaya pada kunang-kunang merayap, namun pada penelitian ini belum ada informasi mengenai pengaruh logam berat terhadap intensitas kunang-kunang merayap. Maidianti (2010) telah meneliti tentang karakteristik fisis bioluminisensi kunang-kunang merayap daerah Surian Kabupaten Solok, dari penelitian tersebut didapatkan absorbansi maksimum dari kunang-kunang merayap pada panjang gelombang 540 nm dengan gelombang cahaya tampak yang dipancarkan adalah warna hijau, nilai *quantum yield* relatif yaitu *153,043 Light Unit* dan foton yang dipancarkan yaitu $7,04 \times 10^{11}$ quanta/detik. Informasi tentang pengaruh logam berat terhadap intensitas cahaya dari kunang-kunang juga belum dikaji pada penelitian tersebut.

Kirillova dan Kudryasheva (2007) telah meneliti tentang pengaruh berat atom pada reaksi bioluminisensi kunang-kunang jenis *Luciola mingrelica*. Disini dilihat bagaimana pengaruh kalium halida (KCl, KBr dan

KI) pada intensitas bioluminisensi kunang-kunang. Hasil penelitian menunjukkan penurunan intensitas cahaya akibat pengaruh kalium halida. Namun pada penelitian ini hanya meneliti pengaruh kalium halida dan belum meneliti tentang pengaruh logam berat terhadap intensitas cahaya reaksi bioluminisensi dan kunang-kunang yang diunakan baru spesies *Luciola mingrelica* yang ada di daerah Rusia.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, peneliti tertarik untuk meneliti lebih lanjut tentang pengaruh logam berat terhadap reaksi bioluminisensi dari kunang-kunang yang berbeda yaitu kunang-kunang jenis *Pteroptyx tener* 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 Logam Berat Terhadap Sifat Fisis Pemancaran Cahaya dari Bioluminisensi Kunang-kunang (Pteroptyx tener)”***.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut dirumuskan suatu permasalahan penelitian yaitu “Bagaimana pengaruh logam berat terhadap sifat fisis pemancaran cahaya dari bioluminisensi kunang-kunang (*Pteroptyx tener*)?”.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sifat fisis pemancaran cahaya dari bioluminisensi kunang-kunang dibatasi pada intensitas relatif dan koefisien inhibisi.
2. Logam Berat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbal (Pb), tembaga (Cu), besi (Fe) dan seng (Zn).
3. Konsentrasi untuk masing-masing logam berat yang digunakan adalah 0,5 mg/l, 1 mg/l dan 2 mg/l.
4. Kunang-kunang (*Pteroptyx tener*) diambil dari daerah Sungai Lareh Kecamatan Koto Tangah Kota Padang.

D. Pertanyaan Penelitian

Untuk menentukan arah penelitian, maka penulis perlu membuat pertanyaan mengenai apa yang akan diteliti. Adapun pertanyaan penelitiannya yaitu:

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

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

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

F. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan nantinya dapat berkontribusi dalam:

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 strata satu fisika di Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang.

BAB II

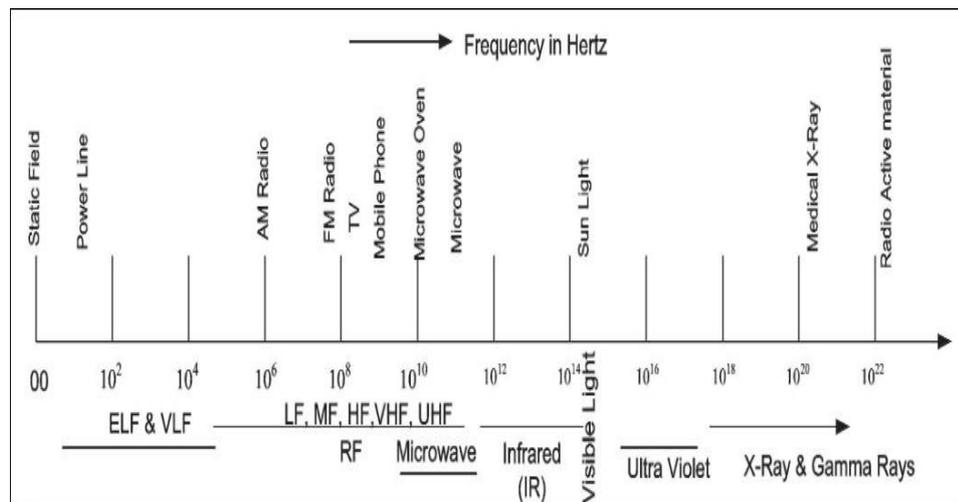
KAJIAN TEORI

A. Cahaya dan Intensitas Cahaya

Cahaya adalah salah satu bentuk gelombang yang dapat merambat di ruang hampa udara. Cahaya termasuk jenis gelombang elektromagnetik. Cahaya dikatakan memiliki dua sifat, yaitu memiliki sifat sebagai gelombang dan sifat sebagai partikel. Dualitas ini berlaku pada keseluruhan spektrum elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik merupakan suatu bentuk energi yang memiliki kecepatan rambat sangat tinggi yang dalam perambatannya jenis gelombang ini tidak memerlukan media.

Ada beberapa contoh gelombang elektromagnetik selain cahaya diantaranya gelombang radio, gelombang mikro, sinar-x, sinar gamma, sinar inframerah dan sinar ultraviolet. Sinar dengan panjang gelombang besar, yaitu gelombang radio dan infra merah, mempunyai frekuensi dan tingkat energi yang lebih rendah. Sinar dengan panjang gelombang kecil, ultra violet, sinar x atau sinar rontgen, dan sinar gamma, mempunyai frekuensi dan tingkat energi yang lebih tinggi.

Berdasarkan perbedaan panjang gelombang dan frekuensinya, gelombang elektromagnetik dapat disusun dalam bentuk spektrum. Gambar 1 memperlihatkan spektrum gelombang elektromagnetik dan Tabel 1 memperlihatkan rentangan panjang gelombang dan frekuensi untuk masing-masing gelombang elektromagnetik.



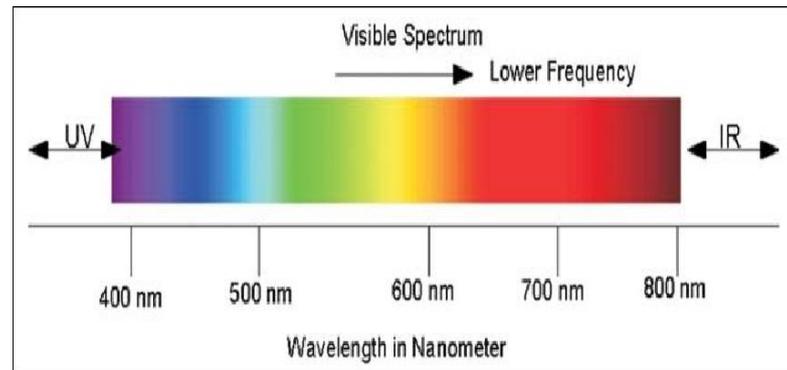
Gambar 1. Spektrum Gelombang Elektromagnetik (Zamanian, 2005).

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).

Dari spektrum elektromagnetik hanya bagian yang sangat kecil yang dapat dideteksi dengan indera penglihatan yang disebut cahaya tampak. Bagian-bagian yang berbeda dari spektrum tampak menimbulkan warna yang berbeda. Sinar tampak terdiri atas tujuh spektrum warna, jika diurutkan dari frekuensi terkecil ke frekuensi terbesar, yaitu merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu. Gambar 2 memperlihatkan spektrum gelombang pada cahaya tampak.



Gambar 2. Spektrum Gelombang pada Cahaya Tampak.
(Zamanian, 2005).

Sinar tampak memiliki jangkauan panjang gelombang yang sempit, panjang gelombang cahaya tampak berkisar dari panjang gelombang 400 nm hingga 750 nm. Panjang gelombang dan frekuensi cahaya tampak dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Panjang Gelombang dan Frekuensi Cahaya Tampak

Cahaya Tampak	Panjang Gelombang (nm)	Frekuensi Gelombang (Hz)
Ungu	400-450	$7,5 \times 10^{14} - 6,7 \times 10^{14}$
Biru	450-495	$6,7 \times 10^{14} - 6 \times 10^{14}$
Hijau	495-570	$6 \times 10^{14} - 5,3 \times 10^{14}$
Kuning	570-590	$5,3 \times 10^{14} - 5,1 \times 10^{14}$
Jingga	590-620	$5,1 \times 10^{14} - 4,8 \times 10^{14}$
Merah	620-750	$4,8 \times 10^{14} - 4 \times 10^{14}$

(Young, 2001).

Hubungan antara kecepatan gelombang v dengan panjang gelombang λ , dan frekuensi f dapat ditulis dalam bentuk persamaan (1) (Giancoli, 2001):

$$v = \lambda f \quad (1)$$

Bila kecepatan rambat udara sama dengan kecepatan cahaya dalam vakum, maka persamaan (1) diubah menjadi persamaan (2) :

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

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 (3) (Beiser, 1995):

$$E = h\nu \quad (3)$$

karena $\nu = \frac{c}{\lambda}$,

maka:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (4)$$

Dengan $E =$ Energi foton (J)

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

$\nu =$ Frekuensi foton (Hz)

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

λ = 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 (5) (Vandergriff, 1999):

$$I = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Daya (P) dapat ditulis dengan Persamaan (6):

$$P = \frac{E}{t} \quad (6)$$

Sehingga,

$$I = \frac{E}{t \cdot A} \quad (7)$$

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/m^2), A adalah area atau luas permukaan (m^2) dan E merupakan energi foton (J).

B. Bioluminisensi

Bioluminisensi berasal dari kata bio yang berarti hidup dan luminisensi yang berarti emisi cahaya. Luminisensi adalah fenomena dimana materi memancarkan cahaya dalam kisaran cahaya tampak (Holsa,2009). 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 3.

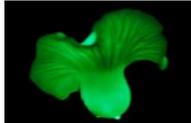
Tabel 3. Berbagai Jenis Luminisensi

Jenis	Penyedia Energi
Kimialuminisensi	Reaksi kimia
Bioluminisensi	Cahaya yang dihasilkan dari organisme hidup melalui reaksi kimia
Elektroluminisensi	Arus listrik
Katodaluminisensi	Berkas elektron
Radioluminisensi	Radiasi nuklir
Mechanoluminisensi	Emisi cahaya yang dihasilkan dari setiap aksi 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 diinduksi fluoresensi

(Khalid, 2008).

Dari beberapa jenis luminisensi pada Tabel 3, fenomena bioluminisensi sangat menarik untuk diteliti. Menurut Day dan Bailey (2003) bioluminisensi adalah suatu proses dimana organisme hidup mengubah energi kimia menjadi cahaya. Hingga saat ini, bioluminisensi telah ditemukan secara alami pada berbagai macam makhluk hidup seperti cendawan, bakteri, kunang-kunang dan organisme di perairan seperti cumi-cumi dan ikan. Bioluminisensi pada beberapa organisme antara lain dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Berbagai Jenis Organisme Bioluminisensi

No	Jenis Organisme	Daerah	Gambar
1	Jamur <i>Omphalotus olivascens</i> (Perry.2007)	San Francisco California	
2	Jamur <i>Omphalotus af Illudent</i> (Van.2006)	VietNam	
3	Ikan <i>Chauliodus sloani</i> (Widder. 2001)	Amerika	
4	Ubur-ubur <i>Atolla Wyvillei</i> (Widder. 2001)	Amerika	
5	Ikan <i>Cyclothone pallida.</i> (Widder. 2001)	Amerika	
6	Ikan <i>Lanternfish</i> (Widder. 2001)	Amerika	
7	Udang <i>Meganyctiphanes norvegica</i> (Widder. 2001)	Amerika	
8	Melanostomias bartonbeani (Widder. 2001)	Amerika	
9	Cacing <i>Phengodidae Phrixotrix</i> (Lee. 2008)	India	
10	Serangga <i>Elateridae Pyrophorus</i> (Lee. 2008)	India	

Pada Tabel 4 terlihat beberapa jenis organisme yang memiliki kemampuan memancarkan cahaya. Setiap organisme memancarkan cahaya dengan warna yang beraneka ragam. Seperti spesies kunang-kunang yang memancarkan cahaya dengan warna kuning dan hijau, sedangkan pada organisme laut memancarkan cahaya dengan warna mendekati violet, biru atau sinar hijau (Maden, 2001, dikutip dari Maidianti, 2010).

C. Bioluminesensi Kunang-kunang

Kunang-kunang adalah salah satu jenis serangga yang dapat mengeluarkan cahaya dan jelas terlihat saat malam hari. Menurut Branchini (1999) 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 dapat ditemukan di tempat-tempat lembab seperti rawa-rawa dan daerah yang dipenuhi pepohonan. Di daerah lembab itulah kunang-kunang menemukan banyak sumber makanan.

Lebih dari 2000 spesies kunang-kunang tersebar di daerah tropis. Jumlah terbesar dan paling tinggi keragamannya ditemukan di Asia Tropical dan Amerika Utara dan Tengah dan sekitar 170 spesies ditemukan di Amerika Serikat. Di Indonesia di sepanjang aliran Sungai Kecil, daerah Lagoi, Kepulauan Riau ditemukan dua jenis kunang-kunang. Salah satu dari spesies tersebut termasuk Genus *Pteroptyx* sedangkan yang lainnya belum

teridentifikasi (Olivier,1902 dikutip dari Rahayu,2007). Salah satu dari spesies tersebut adalah *Ptroptyx tener*.

Menurut Olivier (1902) yang dikutip dari Rahayu (2007), kunang-kunang *Ptroptyx tener* memiliki ciri-ciri: bentuk tubuh oval, gemuk. Panjang tubuh jantan 3,55-5,69 mm ($4,32 \pm 0,57$ mm) dan lebar tubuh 0,94-1,98 mm ($1,45 \pm 0,29$ mm). Perbandingan panjang tubuh dan lebar tubuh jantan 1,99-5,42 ($3,12 \pm 0,97$). Sedangkan panjang tubuh betina 4,56 mm dan lebar tubuh 1,49 mm. Perbandingan panjang tubuh dengan lebar tubuh betina 3,06. Ukuran jantan lebih besar dari ukuran betina. Perbandingan panjang kepala dengan lebar kepala adalah kurang dari 1. Antena 11 ruas, panjangnya tidak mencapai pertengahan prothoraks. Panjang antena pada jantan 0,382,00 mm ($0,86 \pm 0,37$ mm), sedangkan panjang antena pada betina 1,12 mm. Tipe antenna yaitu filiformis. Pronotum berwarna coklat. Panjang elitra jantan 2,96-3,90 mm ($3,52 \pm 0,27$ mm) dan lebar elitra 0,63-1,08 mm ($0,86 \pm 0,15$ mm). Perbandingan panjang elitra dengan lebar elitra jantan 3,51-6,33 ($4,34 \pm 0,82$), sedangkan panjang elitra betina 3,79 mm dan lebar elitra 1,13 mm. Perbandingan panjang elitra dengan lebar elitra betina 3,35 (Lampiran 2.). Pertengahan elitra sampai pangkal sayap berwarna coklat, pertengahan elitra sampai ujung sayap berwarna hitam, permukaan atas elitra ditumbuhi rambut-rambut halus, sedangkan permukaan bawah elitra licin, tidak ditumbuhi rambut. Sayap belakang berwarna hitam lebih pendek dari elitra.

Menurut Chey (2004) organ bioluminisensi yang ada pada kunang-kunang berada pada bagian atas ekor dan sisi yang mengenai sirip perut /

abdomen. Bagian abdomen pada kunang-kunang *Ptroptyx tener* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagian Abdomen Kunang-kunang *Ptroptyx tener* (Branham dan Wenzel, 2003).

Abdomen berwarna coklat, ditumbuhi oleh rambut-rambut halus, memiliki ventrit abdominal 5 ruas, ruas abdomen bercahaya pada jantan yaitu ruas 4 dan 5 sedangkan ruas abdomen bercahaya pada betina yaitu ruas 4 (Olivier,1902 dikutip dari Rahayu,2007). Untuk lebih jelasnya bagian abdomen yang ada pada bagian bawah tubuh dan tubuh bagian atas/punggung kunang-kunang *Ptroptyx tener* dapat dilihat pada Gambar 4.



(a)

(b)

Gambar 4. (a) Bagian Bawah Tubuh Kunang-kunang *Ptroptyx tener*, (b) Bagian Atas/Punggung Tubuh Kunang-kunang *Ptroptyx tener* (Nallakumar, 2002).

Kunang-kunang yang ditemukan di daerah Sungai Lareh Kecamatan Koto Tangah Kota Padang mempunyai cirri-ciri sama seperti kunang-kunang spesies *Ptroptyx tener* yang telah dijelaskan sebelumnya, karena itu saya menyimpulkan bahwa kunang-kunang yang akan saya teliti merupakan spesies *Ptroptyx tener*. Kunang-kunang yang ditemukan di daerah Sungai Lareh Kecamatan Koto Tangah Kota Padang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kunang-kunang *Ptroptyx tener* Sungai Lareh Kecamatan Koto Tangah Kota Padang.

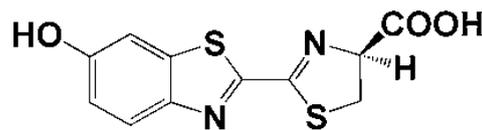
Secara sistematis hewan, kunang-kunang diklasifikasikan sebagai berikut (Sayung, 2005):

Kerajaan : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insecta
Ordo : Coleoptera
Famili : Lampyridae
Genus : Pteroptyx
Species : *Pteroptyx tener*

Pada proses bioluminisensi diperlukan tiga komponen utama, yaitu sebuah molekul organik yang disebut sebagai senyawa luciferin, sumber oksigen (molekul O_2 atau hidrogen peroksida H_2O_2) dan enzim untuk mengkatalis reaksi yang disebut luciferase. Luciferin adalah substrat tahan panas dan menghasilkan cahaya, sedangkan luciferase adalah sebuah enzim

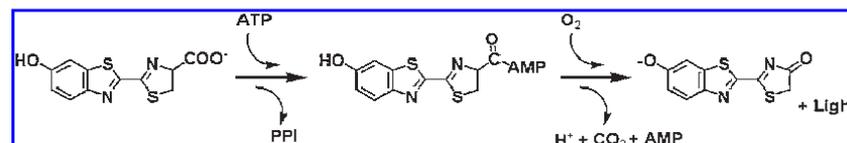
yang memicu terjadinya reaksi kimia pada kunang-kunang dan oksigen sebagai bahan bakar (Gajendra dan Kanan, 2002). Pada enzim luciferase kunang-kunang yang menjadi senyawa organik adalah Mg^{2+} , dimana Mg^{2+} berguna untuk mengaktifkan enzim sedangkan *pyrophosphate* (*PPi*) adalah sebagai senyawa anorganik, dimana (*PPi*) juga berperan pada pancaran cahaya kunang-kunang (McElroy, 1953 dikutip dari McElroy dan Hasting, 1954).

Struktur kimia luciferin kunang-kunang yang terdiri dari H_2O , Sulfur dan Nitrogen terlihat pada Gambar 6.



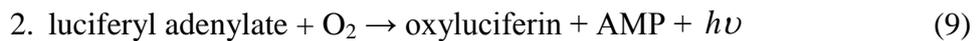
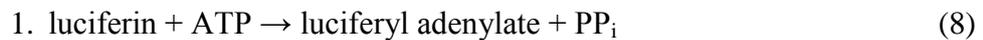
Gambar 6. Struktur Kimia Luciferin Kunang-kunang (Sapsford, 2006).

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 7.



Gambar 7. Tahapan Reaksi Bioluminisensi Kunang-kunang. (Fan, 2007).

Berdasarkan Gambar 5 reaksi bioluminisensi untuk kunang-kunang dapat dikelompokkan dalam 2 tahap yang secara umum dapat ditulis dalam bentuk:



Dari persamaan (8) dan (9) 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.

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 mengalami 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)



Dari persamaan (10) 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:



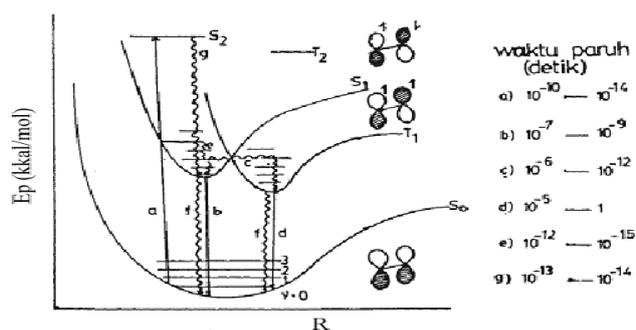
b) Langkah Kemiluminisensi

Kemiluminisensi adalah pemancaran radiasi elektromagnetik sebagai hasil dari reaksi kimia yang menghasilkan molekul tereksitasi secara elektronik yang kembali ke keadaan 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:



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 8.



Gambar 8. 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”.

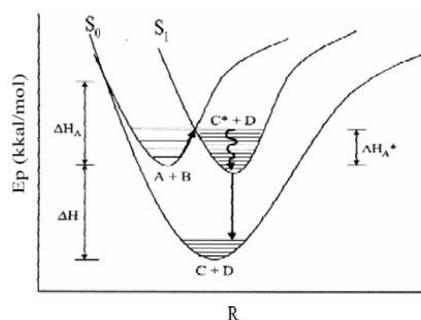
Reaksi kemiluminisensi dihasilkan dari dua mekanisme dasar, yaitu:

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 (13) dan (14), A dan B merupakan reaktan dan C* merupakan produk tereksitasi. Proses energi pada kemiluminisensi langsung dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses Energi Pada Reaksi Kemiluminisensi/ Bioluminisensi untuk Reaksi $A + B \rightarrow C^* + D \rightarrow C + h\nu$ (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 peroksida 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. Pengaruh Logam Berat Terhadap Sifat Fisis Bioluminisensi Kunang-kunang

1. Logam Berat

Logam berat adalah unsur-unsur yang mempunyai densitas lebih dari 5 gr/cm³ dalam bentuk dasarnya, meliputi sekitar 38 unsur (Lia, 2004).

Beberapa jenis logam berat dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Densitas Beberapa Logam Berat.

Logam berat	Lambang	Densitas (g/cm ³)
Seng	Zn	7,14
Khromium	Cr	7,20
Mangan	Mn	7,2
Timah	Sn	7,3
Besi	Fe	7,88
Kobalt	Co	8,9
Nikkel	Ni	8,90
Tembaga	Cu	8,92
Timbal	Pb	11,34
Tungsten	W	19,4
Emas	Au	19,34

(Vlack,1995).

Timbal dalam keseharian lebih dikenal timah hitam, dalam bahasa ilmiahnya dinamakan *plumbum*, dan logam ini disimbolkan dengan Pb. Logam ini termasuk dalam kelompok logam golongan IV-A dan mempunyai nomor atom 82 (Shindu, 2005). Timbal bersifat lunak serta berwarna biru atau silver abu - abu dengan kilau logam. Timbal adalah sebuah unsur yang biasanya ditemukan di dalam batu - batuan, tanah, tumbuhan dan hewan. Timbal 95% bersifat anorganik dan pada umumnya dalam bentuk garam anorganik yang umumnya kurang larut dalam air. Waktu keberadaan timbal dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti arus angin dan curah hujan. Timbal tidak mengalami penguapan namun dapat ditemukan di udara sebagai partikel. Karena timbal merupakan sebuah unsur maka tidak mengalami degradasi (penguraian) dan tidak dapat dihancurkan (Tyas dikutip dari Sudarwin, 2008). Sifat-sifat fisika timbal adalah:

1. Massa jenis $11.34 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
2. Titik lebur 600.61 K $621.43 \text{ }^\circ\text{F}$ $327.46 \text{ }^\circ\text{C}$
3. Titik didih $3180 \text{ }^\circ\text{F}$, $1749 \text{ }^\circ\text{C}$, 2022 K ,
4. Kalor peleburan $4.77 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
5. Kalor penguapan $179.5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
6. Kapasitas kalor $26.650 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
7. Berat molekul $207,19 \text{ g/mol}$.

Seng (zinc) adalah unsur kimia dengan lambang kimia Zn, nomor atom 30 (Kacaribu, 2008). Seng merupakan unsur pertama golongan 12 pada tabel periodik. Beberapa aspek kimiawi seng mirip dengan magnesium. Hal ini dikarenakan ion kedua unsur ini berukuran hampir sama. Selain itu, keduanya juga memiliki keadaan oksidasi +2. Seng merupakan unsur paling melimpah ke-24 di kerak bumi. Sifat-sifat fisika seng adalah :

1. Massa jenis $7.14 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
2. Titik lebur 692.68 K , $787.15 \text{ }^\circ\text{F}$ $419.53 \text{ }^\circ\text{C}$
3. Titik didih $1665 \text{ }^\circ\text{F}$, $907 \text{ }^\circ\text{C}$, 1180 K ,
4. Kalor peleburan $7.32 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
5. Kalor penguapan $123.6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
6. Kapasitas kalor $25.470 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
7. Berat molekul $65,37 \text{ g/mol}$

Tembaga (*Cuprum*) adalah unsur kimia yang dilambangkan dengan Cu memiliki nomor atom 29. Secara alamiah, logam Cu masuk kedalam perairan sebagai akibat peristiwa erosi dan dari udara yang terbawa oleh air hujan.

Sedangkan dari aktivitas manusia berasal dari limbah industri. (Shindu, 2005).

Sifat-sifat fisika tembaga adalah:

1. Dapat ditempa, dibengkokkan dan merupakan penghantar panas dan listrik
2. Titik leleh : 1.083°C
3. Titik didih : 2.301°C
4. Berat jenis tembaga sekitar $8,92 \text{ gr/cm}^3$
5. Berat molekul $63,54 \text{ g/mol}$

Besi adalah unsur kimia yang dilambangkan dengan Fe memiliki nomor atom 26. Besi adalah logam yang dihasilkan dari bijih besi, dan jarang dijumpai dalam keadaan bebas. Untuk mendapatkan unsur besi, campuran lain harus dipisahkan melalui penguraian kimia (Kacaribu, 2008). Sifat-sifat fisika besi adalah:

1. Massa jenis $7.874 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
2. Titik lebur 1811 K , 2800°F , 1538°C
3. Titik didih 5182°F , 2862°C , 3134 K
4. Kalor peleburan $13.81 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
5. Kalor penguapan $340 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
6. Kapasitas kalor $25.10 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
7. Berat molekul $55,85 \text{ g/mol}$.

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme

hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain (Nopriani, 2011). Keempat jenis logam berat diatas yaitu timbal (Pb), tembaga (Cu), besi (Fe) dan seng (Zn) merupakan logam berat yang berbahaya.

2. Dampak Pencemaran Logam Berat di Udara

Peningkatan jumlah populasi manusia dan perkembangan teknologi memunculkan berbagai masalah, salah satunya adalah pencemaran lingkungan. Menurut Adisendjaja (2003) jumlah manusia yang semakin meningkat memicu pemenuhan kebutuhan dengan cara mengeksploitasi sumber daya dengan dibantu kemajuan ilmu dan teknologi. Kemajuan teknologi mendorong dilakukannya industrialisasi yang diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan manusia. Jika industrialisasi tidak dilakukan dengan baik akan memunculkan berbagai masalah seperti jumlah bahan baku dan buangan industri yang meningkat. Hal ini tentunya berdampak pada kerusakan dan pencemaran lingkungan.

Pencemaran udara merupakan salah satu pencemaran lingkungan. Pencemaran udara atau disebut juga dengan polusi udara adalah masuknya atau tercampurnya unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfer yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan dan menurunkan kualitas lingkungan (Satriyo, 2008). Menurut Dahlan (1989) sumber pencemar udara

yang penting adalah industri, kendaraan bermotor, aktifitas rumah tangga, kebakaran hutan serta pembakaran biomasa limbah pertanian. Dari kesemuanya itu, kegiatan transportasi memegang peranan yang paling besar sebagai sumber pencemar udara. Pencemaran udara selain dapat menyebabkan kematian dapat pula menyebabkan beberapa penyakit seperti kanker kulit dan kanker paru-paru. Pencemaran udara tidak hanya mempengaruhi kesehatan manusia saja, namun juga memberi dampak pada makhluk hidup lain yaitu tumbuhan dan hewan.

Pencemaran udara yang diakibatkan oleh dampak buangan industri banyak mengandung logam- logam berat yang dapat membahayakan. Senyawa logam berat sering digunakan dalam industri baik sebagai bahan baku, bahan tambahan maupun katalis. Keberadaan logam berat di lingkungan dalam konsentrasi tinggi merupakan sumber pencemar lingkungan yang dapat menimbulkan permasalahan ekologi yang serius. Pencemaran logam berat ini menimbulkan berbagai permasalahan diantaranya (Nopriani. 2011):

1. berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna dan rasa air)
2. berbahaya bagi kehidupan tanaman dan binatang
3. berbahaya bagi kesehatan manusia
4. menyebabkan kerusakan pada ekosistem

Konsentrasi logam berat di lingkungan tergantung pada tingkat aktivitas manusia, misalnya di daerah industri, di jalan raya, dan tempat pembuangan

sampah memiliki kandungan logam berat lebih besar dibandingkan dengan perumahan penduduk.

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

Proses luminesensi kunang-kunang merupakan serangkaian proses fisiologis, maka dibutuhkan enzim - enzim untuk kelancaran rangkaian - rangkaian reaksi yang dibentuknya. Enzim adalah katalisator, pada umumnya semua reaksi biokimia dikatalisasi oleh enzim. Keberadaan suatu zat racun dapat mempengaruhi aktifitas enzim. Logam berat mempunyai kemampuan untuk berikatan dengan enzim, sehingga enzim mudah terhalang daya kerjanya (Fardiaz dikutip dari Sudarwin, 2008).

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}) dapat dibandingkan dengan nilai intensitas bioluminisensi tanpa senyawa logam berat ($I_{0,max}$). Perbandingan ($I_{max}/ I_{0,max}$) kemudian ditulis sebagai (I/I_0). Pengaruh jenis senyawa logam berat pada sistem bioluminisensi dapat dianalisis menggunakan perbandingan maksimum dari nilai intensitas bioluminisensi dengan dan tanpa kehadiran senyawa logam berat. Parameter inhibisi intensitas bioluminisensi K dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (18) (Kudryasheva, 2006):

$$\ln \frac{I}{I_0} = KC \quad (18)$$

Menurut Trogl (2007) senyawa beracun seperti logam berat dapat menyebabkan penurunan intensitas cahaya. 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. 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.

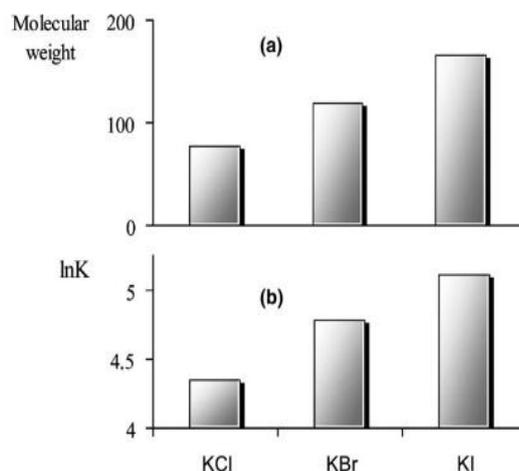
Menurut Kirillova dan Kudryasheva (2007) efek logam berat bisa diamati pada sistem bioluminesensi. Dua mekanisme yang dapat berpengaruh terhadap perubahan intensitas bioluminesensi adalah:

1. Efek physicochemical logam berat eksternal
2. Efek biokimia, yaitu interaksi dengan enzim yang menghasilkan perubahan dalam aktivitas enzymatic.

Interaksi logam berat dengan enzim tidak hanya penting dalam sistem bioluminisensi, tetapi juga dalam semua sistem enzimatik. Reaksi bioluminisensi dapat digunakan dalam menguji kadar logam untuk memonitor enzim larangan di dalam proses metabolisme.

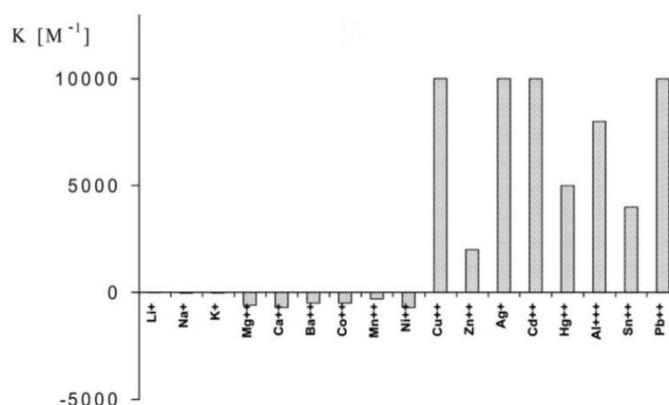
Kudryasheva (2006) telah meneliti tentang pengujian kadar logam pada reaksi bioluminisensi bakteri *Photobacterium leiognathi*. Pada penelitian ini terdapat pengaruh berat molekul senyawa logam berat pada reaksi

bioluminisensi. Senyawa yang digunakan adalah KCl, KBr, dan KI. Hasil studi tersebut dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Berat Molekul Senyawa Logam Berat, (b) Diagram ln Koefisien Inhibisi (M^{-1}) Bakteri *Photobacterium leiognathi* dengan Senyawa Logam Berat (Kudryasheva,2006).

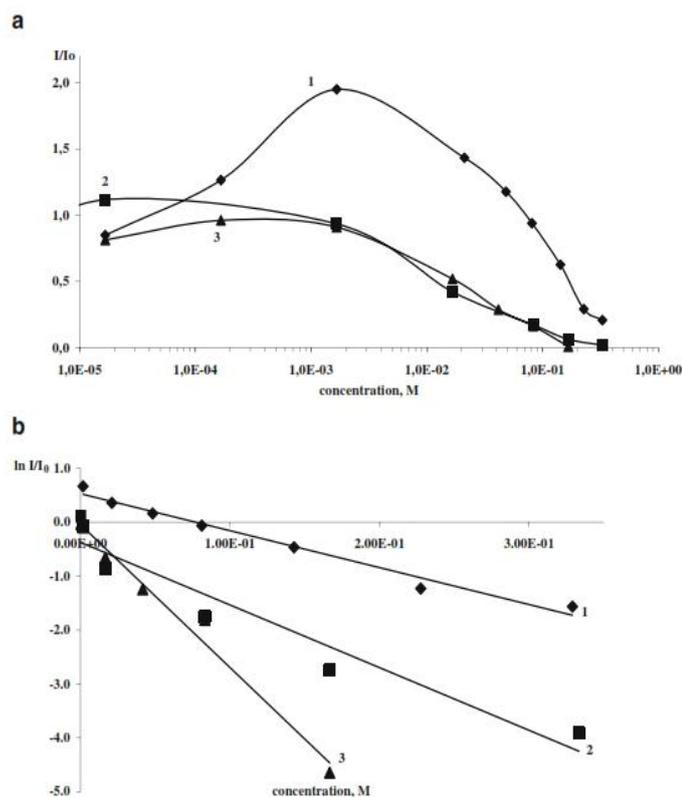
Dari Gambar 10 dapat dilihat hubungan berat molekul senyawa logam berat dengan $\ln K$ (M^{-1}). Semakin besar berat molekul senyawa logam berat, maka nilai $\ln K$ (M^{-1}) juga semakin besar. Untuk jenis logam berat yang lain, Kudryasheva (2004) juga telah melakukan penelitian dengan hasil seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Nilai K (M^{-1}) pada Berbagai Jenis Logam Berat Pada Bioluminisensi Kunang-kunang (Kudryasheva, 2004).

Dari Gambar 11 dapat dilihat nilai koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang pada berbagai jenis logam berat. Nilai koefisien inhibisi paling tinggi akibat pengaruh logam berat Pb, Cd, Ag dan Cu dan nilai koefisien inhibisi paling rendah akibat logam berat Li, Na dan K.

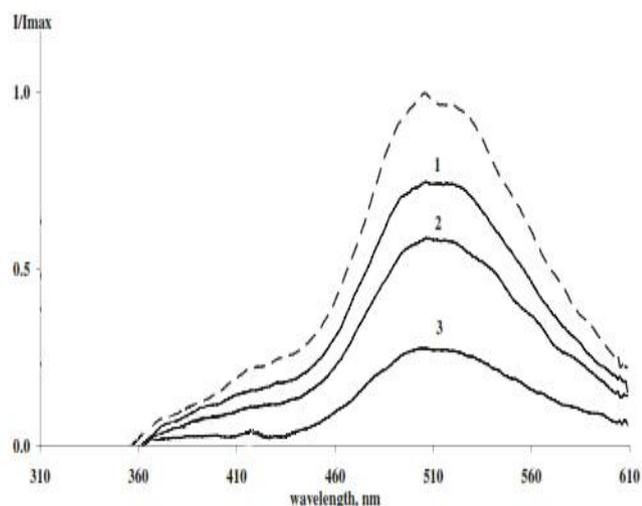
Kirillova dan Kudryasheva (2007) juga melakukan studi tentang pengaruh senyawa logam berat pada reaksi bioluminisensi kunang-kunang *Luciola mingrelica*. Senyawa logam berat yang digunakan adalah kalium halide yaitu KCl, KBr, dan KI. Hasil studi tersebut dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. (a) Efek Kalium Halida Pada Intensitas Bioluminisensi Kunang-kunang: 1, KCL; 2, KBR; 3, KI. (b) Ketergantungan Pada Konsentrasi Kalium Halida $\ln(I/I_0)$ untuk Bioluminisensi Kunang-kunang: 1, KCL; 2, KBR; 3, KI (Kirillova dan Kudryasheva, 2007).

Dari Gambar 12a dapat dilihat nilai intensitas (I/I_0) pada berbagai senyawa logam berat kalium halida. Nilai intensitas (I/I_0) paling tinggi terjadi pada KCl, yaitu pada 1.9, pada KBr 1.0 dan KI 1.0. Pada Gambar 12b, terlihat hubungan $\ln I/I_0$ dengan konsentrasi senyawa logam berat, dari ketiga senyawa logam berat tersebut $\ln I/I_0$ semakin kecil dengan meningkatnya konsentrasi.

Hubungan I/I_{\max} dengan senyawa logam berat KI pada berbagai konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Pancaran Spektrum Ikatan Enzim Coelenteramide Sebelum (garis putus-putus) dan setelah (garis kontiniu) Penambahan Konsentrasi Berbeda dari KI: $1.1 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ (1); $8.7 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ (2); $2.0 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$ (3) (Kirillova dan Kudryasheva, 2007).

Dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa pancaran cahaya bioluminisensi terjadi pada panjang gelombang 510 nm. Nilai I/I_{\max} makin menurun dengan diberi pengaruh senyawa logam berat. Semakin tinggi konsentrasi senyawa logam berat maka nilai I/I_{\max} semakin kecil.

Penurunan intensitas relatif cahaya kunang-kunang juga dipengaruhi oleh sifat fisika yang dimiliki oleh masing-masing logam berat seperti berat molekul. Hasil eksperimen Kirillova dan Kudryasheva (2007) tentang pengaruh senyawa logam berat terhadap intensitas cahaya dari kunang-kunang *Luciola mingrelica* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengaruh Senyawa Logam Berat Terhadap Intensitas Cahaya Pada Kunang-Kunang *Luciola mingrelica*.

Logam Berat	Berat Molekul (g/mol)	Konsentrasi	$(I/I_0)_{\max}$	K (M^{-1})
KCl	74.55	$1.7 \times 10^{-5} - 3.3 \times 10^{-1}$	1.9	(6.8±0.7)
KBr	119	$1.7 \times 10^{-5} - 3.3 \times 10^{-1}$	1.0	(11.6±0.8)
KI	166	$1.7 \times 10^{-5} - 1.7 \times 10^{-1}$	1.0	(26.5±0.9)

Dari Tabel 6 terlihat bahwa intensitas cahaya relatif $(I/I_0)_{\max}$ dari reaksi bioluminisensi kunang-kunang makin menurun jika berat molekul dari senyawa logam berat makin besar. Penurunan intensitas cahaya ini ditandai dengan makin besarnya koefisien inhibisi $\{K (M^{-1})\}$. Senyawa logam berat KCl memiliki berat molekul yang kecil dibandingkan dengan KBr dan KI sehingga KCl memiliki nilai intensitas yang lebih besar.

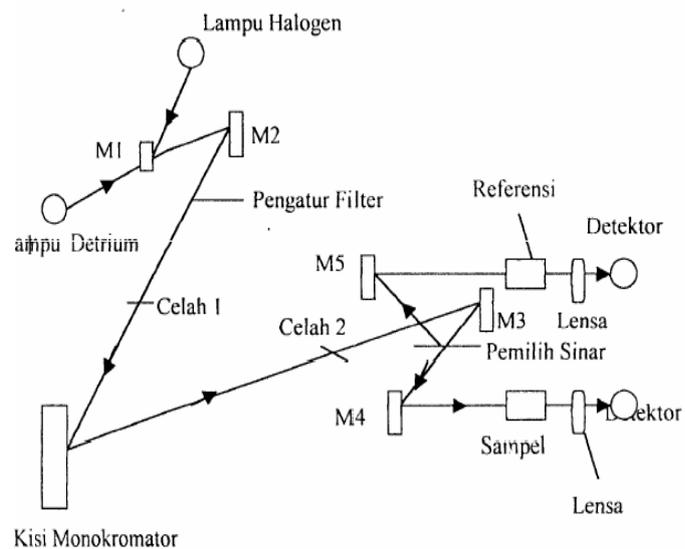
F. Spektrofotometer Uv-Vis

Spektrofotometer adalah sebuah instrumen yang mengukur absorpsi atau penyerapan cahaya dengan energi dan panjang gelombang tertentu oleh suatu atom atau molekul. Spektrofotometer yang digunakan dalam daerah spektrum Uv (ultraviolet) dan visual (sinar tampak) disebut spektrofotometer Uv-Vis. Gambar 14 merupakan Spektrofotometer Uv- Vis dengan seri T-70.



Gambar 14. Spektrofotometer Uv-Vis T-70.

Bagian terpenting dari spektrofotometer Uv-Vis adalah sumber cahaya, sistem optik, monokromator, kuvet dan detektor. Ada dua lampu yang berfungsi sebagai sumber cahaya yaitu lampu detrium dan lampu halogen. Lampu detrium digunakan untuk panjang gelombang di daerah Uv dan lampu halogen digunakan untuk panjang gelombang di daerah sinar tampak. Gambar 15 menjelaskan skema dari Spektrofotometer Uv-Vis.



Gambar 15. Skema Alat Spektrofotometer Uv-Vis

Saat sumber cahaya dihidupkan, cahaya yang berasal dari sumber tersebut akan mengenai monokromator, kemudian cahaya memasuki sampel cell yang didalamnya terdapat sampel dan kemudian sampel akan menyerap cahaya tersebut atau mengalami absorpsi. Dimana energi cahaya yang diserap atom/molekul tersebut digunakan untuk bereksitasi ke tingkat energi elektronik yang lebih tinggi. Kemudian cahaya yang melewati sampel akan sampai di detektor, yang berupa transduser yang mengubah energi cahaya menjadi suatu isyarat listrik, dan kemudian dilanjutkan ke penguat (amplifier), dan rangkaian yang berkaitan membuat isyarat listrik itu memadai untuk dibaca. Dan akhirnya sampai di suatu sistem baca (piranti pembaca) yang memperagakan besarnya isyarat listrik, dinyatakan dalam bentuk % transmittansi (% T), absorptansi (A) ataupun panjang gelombang.

Absorptansi adalah perbandingan intensitas sinar yang diserap dengan intensitas sinar datang. Transmittansi adalah perbandingan intensitas cahaya yang ditransmisikan dengan intensitas cahaya mula-mula. Pada spektrofotometer Uv-Vis, interaksi yang diamati adalah adanya absorptansi pada panjang gelombang tertentu di daerah Uv-Vis. Hukum Lambert Beers menyatakan hubungan tersebut:

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-abc} \quad (19)$$

dengan : T = Transmittansi

I = Intensitas sinar yang diteruskan

I_0 = Intensitas awal

a = Tetapan absorptivitas

b = Jarak tempuh optic

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:

$$A = abc \tag{20}$$

Nilai absorban (A) berbanding lurus terhadap konsentrasi (c), besaran (a) adalah suatu konstanta, sehingga jika (b) dibuat konstan maka nilai absorban (A) hanya bergantung pada (c) (Huda, 2001).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

5. Intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang makin menurun jika konsentrasi logam berat makin besar, Penurunan intensitas paling besar akibat keberadaan logam berat timbal (Pb), kemudian seng (Zn), tembaga (Cu), dan paling kecil adalah besi (Fe).
6. Koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang makin menurun dengan meningkatnya konsentrasi logam berat. Untuk konsentrasi 0.5 mg/l koefisien inhibisi timbal (Pb) sebesar $1.8620M^{-1}$, seng (Zn) sebesar $0.6275M^{-1}$, tembaga (Cu) sebesar $0.4260M^{-1}$, dan paling kecil adalah besi (Fe) sebesar $0.2481M^{-1}$. Untuk konsentrasi 1 mg/l koefisien inhibisi timbal (Pb) sebesar $1.1494M^{-1}$, seng (Zn) sebesar $0.4269M^{-1}$, tembaga (Cu) sebesar $0.3385M^{-1}$, dan paling kecil adalah besi (Fe) sebesar $0.2747M^{-1}$. Untuk konsentrasi 2 mg/l koefisien inhibisi timbal (Pb) sebesar $0.8951M^{-1}$, seng (Zn) sebesar $0.3269M^{-1}$, tembaga (Cu) sebesar $0.2998M^{-1}$, dan paling kecil adalah besi (Fe) sebesar $0.2671M^{-1}$. Koefisien inhibisi paling besar akibat keberadaan logam berat timbal (Pb), kemudian seng (Zn), tembaga (Cu), dan paling kecil adalah besi (Fe).
7. Koefisien inhibisi paling besar pada bioluminisensi kunang-kunang akibat keberadaan logam berat timbal (Pb), kemudian seng (Zn), tembaga (Cu), dan paling kecil adalah besi (Fe). Nilai koefisien inhibisi terbesar juga

diikuti dengan besarnya berat molekul logam berat, yaitu timbal nitrat (PbNO_3) memiliki berat molekul paling besar yaitu 269.20 g/mol, kemudian seng nitrat (ZnNO_3) yaitu 127.38 g/mol, tembaga nitrat (CuNO_3) yaitu 125.55 g/mol dan besi nitrat (FeNO_3) yaitu 117.86 g/mol.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengalaman peneliti, maka peneliti menyarankan agar dilakukan pengukuran intensitas relatif cahaya kunang-kunang dalam bentuk ekstrak yang aktif bercahaya dengan memberi pengaruh lingkungan yang lain seperti temperatur, kadar oksigen dan pH.