

Pengaruh Logam Berat Terhadap Sifat Fisis Pemancaran Cahaya dari Bioluminisensi Kunang-kunang (*Pteroptyx tener*)

Melly Sarvida, Ratnawulan dan Gusnedi

Jurusan Fisika, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka, Kampus FMIPA UNP Air Tawar Barat Padang
email:melly.sarvida@yahoo.com

ABSTRACT

*Heavy metal is environmental factor which influences the relative intensity of firefly light. Heavy metal in firefly body is estimated to be able to decrease the intensity of light produced. This research will discuss the influence of heavy metal toward bioluminescence reaction of firefly. It starts from the influence of heavy metal type and concentration toward intensity, inhibition coefficient and the influence of molecule weight with bioluminescence inhibition coefficient of firefly. This research is an experimental research conducted in Material Physics and Biophysics Laboratory and Chemistry Laboratory of FMIPA UNP. In this research, the measurements of wave length and light intensity are conducted toward firefly of *Pteroptyx tener* taken from Sungai Lareh, a district of Koto Tangah, Padang before and after being given treatment with heavy metal by using UV-Vis spectrophotometer. The Determined variables in this research is independent variables which consist of lead (Pb), copper (Cu), iron (Fe) and zinc (Zn) and heavy metal concentration is 0,5 mg/l, 1 mg/l and 2 mg/l, the dependent variables are relative intensity of firefly light and inhibition coefficient, and the control variable is type and size of firefly and solvent media used. The result of research indicates that bioluminescence relative intensity value of firefly keep declining if heavy metal concentration rises up. The decline of the biggest intensity is caused by the existence of lead (Pb), then zinc (Zn), copper (Cu), and the smallest is iron (Fe). Bioluminescence inhibition coefficient of firefly keeps declining because of the increasing of heavy metal concentration. For concentration of 0.5 mg/l, the coefficient inhibition of lead (Pb) is $1.8620M^{-1}$, zinc (Zn) is $0.6275M^{-1}$, copper (Cu) is $0.4260M^{-1}$, and the smallest is iron (Fe) which is $0.2481M^{-1}$. For concentration of 1 mg/l, the inhibition coefficient of lead (Pb) is $1.1494M^{-1}$, zinc (Zn) is $0.4269M^{-1}$, copper (Cu) is $0.3385M^{-1}$ and the smallest one is iron (Fe) which is $0.2747M^{-1}$. For concentration of 2 mg/l, the inhibition coefficient of lead (Pb) is $0.8951M^{-1}$, zinc (Zn) is $0.3269M^{-1}$, copper (Cu) is $0.2998M^{-1}$, and the smallest one is iron (Fe) which is $0.2671M^{-1}$. The biggest inhibition coefficient from bioluminescence of firefly is caused by the existence of lead (Pb), then zinc (Zn), copper (Cu), and the smallest one is iron (Fe). The biggest Inhibition coefficient value is followed by the large of heavy metal molecule weight, that is nitrate lead ($PbNO_3$) that has the biggest molecule weight which is 269.20 g/mol, then nitrate zinc ($ZnNO_3$) which is 127.38 g/mol, nitrate copper ($CuNO_3$) which is 125.55 g/mol and nitrate iron ($FeNO_3$) which is 117.86 g/mol.*

Keywords: *Bioluminescence, Heavy Metal, Relative Intensity and Inhibition Coefficient.*

PENDAHULUAN

Limbah logam berat merupakan salah satu faktor pencemaran udara. 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^[1]. 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.

Viza 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^[2]. Namun pada penelitian ini belum ada informasi mengenai pengaruh logam berat terhadap intensitas kunang-kunang merayap. Maidianti 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 $153,043 \text{ Light Unit}$ dan foton yang dipancarkan yaitu $7,04 \times 10^{11} \text{ quanta/detik}^{[3]}$. Informasi

tentang pengaruh logam berat terhadap intensitas cahaya dari kunang-kunang juga belum dikaji pada penelitian tersebut.

Kirilova dan Kudryasheva telah meneliti tentang pengaruh berat atom pada reaksi bioluminisensi kunang-kunang jenis *Luciola mingrellica*. 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^[4]. 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 mingrellica* 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.

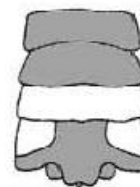
Kunang-kunang merupakan salah satu organisme yang mampu berbioluminisensi. Bioluminisensi berasal dari kata bio yang berarti hidup dan luminisensi yang berarti emisi cahaya. Luminisensi adalah fenomena dimana materi memancarkan cahaya dalam kisaran cahaya tampak^[5]. Dalam fisika luminisensi adalah pemancaran cahaya akibat perpindahan elektron dari keadaan dasar (ground state) ke keadaan tereksitasi^[6]. Setiap makhluk hidup mampu menghasilkan luminisensi untuk tujuan atau fungsi yang berbeda-beda.

Kunang-kunang adalah salah satu jenis serangga yang dapat mengeluarkan cahaya dan jelas terlihat saat malam hari. Kunang-kunang memancarkan berbagai warna cahaya dari hijau dengan panjang gelombang maksimum 530 nm hingga merah dengan panjang gelombang maksimum 635 nm^[7]. Perbedaan warna yang ditimbulkan oleh kunang-kunang juga disebabkan oleh cahaya lingkungan^[8]. 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^[9]. Salah satu dari Genus *Pteroptyx* yang akan dijelaskan adalah *Pteroptyx tener*.

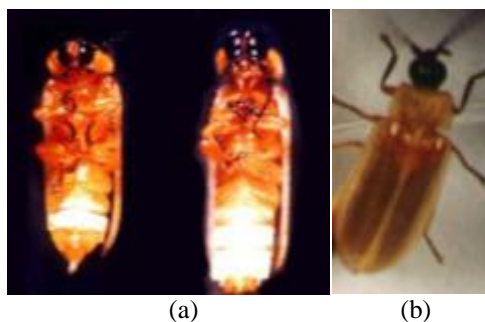
Organ bioluminisensi yang ada pada kunang-kunang berada pada bagian atas ekor dan sisi yang mengenai

sirip perut / abdomen^[10]. Bagian abdomen pada kunang-kunang *Pteroptyx tener* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagian abdomen kunang-kunang *Pteroptyx tener*^[11].

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^[9]. Untuk lebih jelasnya bagian abdomen yang ada pada bagian bawah tubuh dan tubuh bagian atas/punggung kunang-kunang *Pteroptyx tener* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Bagian bawah tubuh kunang-kunang *Pteroptyx tener*, (b) Bagian atas/punggung tubuh kunang-kunang *Pteroptyx tener*^[12].

Kunang-kunang yang ditemukan di daerah Sungai Lareh Kecamatan Koto Tangah Kota Padang mempunyai ciri-ciri sama seperti kunang-kunang spesies *Pteroptyx tener* yang telah dijelaskan sebelumnya, karena itu saya menyimpulkan bahwa kunang-kunang yang akan saya teliti merupakan spesies *Pteroptyx tener*. Kunang-kunang yang ditemukan di daerah Sungai Lareh Kecamatan Koto Tangah Kota Padang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kunang-kunang (*Pteroptyx tener*).

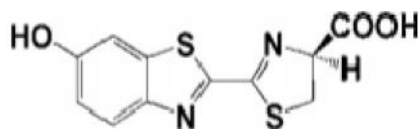
Secara sistematis hewan, kunang-kunang diklasifikasikan sebagai berikut^[13].

Kerajaan : Animalia
Filum : Arthropoda

Kelas : Insecta
 Ordo : Coleoptera
 Famili : Lampyridae
 Genus : Pteroptyx
 Species : *Pteroptyx tener*

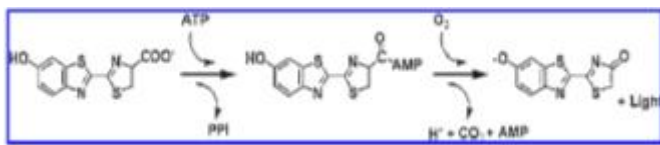
Pada proses bioluminisensi diperlukan tiga komponen utama, yaitu sebuah molekul organik yang disebut sebagai senyawa luciferin, sumber oksigen (molekul O₂ atau hidrogen peroksida H₂O₂) dan enzim untuk mengkatalis reaksi yang disebut luciferase. Luciferin adalah substrat tahan panas dan menghasilkan cahaya, sedangkan luciferase adalah sebuah enzim yang memicu terjadinya reaksi kimia pada kunang-kunang dan oksigen sebagai bahan bakar^[14]. Pada enzim luciferase kunang-kunang yang menjadi senyawa organik adalah Mg²⁺, dimana Mg²⁺ berguna untuk mengaktifkan enzim sedangkan *pyrophosphate* (PPi) adalah sebagai senyawa anorganik, dimana (PPi) juga berperan pada pancaran cahaya kunang-kunang^[15].

Struktur kimia luciferin kunang-kunang yang terdiri dari H₂O, Sulfur dan Nitrogen terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Kimia Luciferin Kunang-kunang^[16].

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^{\wedge}). Tahapan reaksi bioluminisensi pada kunang-kunang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tahapan Reaksi Bioluminisensi Kunang-kunang^[17].

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

1. luciferin + ATP → luciferyl adenylate + PP_i (1)
2. luciferyl adenylate + O₂ → oxyluciferin + AMP + h^{\wedge} (2)

Dari persamaan (1) dan (2) dapat dilihat bahwa luciferin dengan bantuan *adenosine triphosphate* (ATP) menghasilkan *luciferyl adenylate*. Bila *luciferyl adenylate* direaksikan dengan oksigen maka akan menghasilkan *oxyluciferin* dan h^{\wedge} . h^{\wedge} merupakan suatu bentuk energi yang dihasilkan pada reaksi luminisensi.

Proses luminisensi 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^[18].

Logam berat adalah unsur-unsur yang mempunyai densitas lebih dari 5 gr/cm³ dalam bentuk dasarnya, meliputi sekitar 38 unsur^[19]. Beberapa jenis logam berat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Densitas Beberapa Logam Berat^[20].

Logam berat	Lambang	Densitas (g/cm ³)
Seng	Zn	7,14
Khronium	Cr	7,20
Mangan	Mn	7,20
Timah	Sn	7,30
Besi	Fe	7,88
Kobalt	Co	8,90
Nikkel	Ni	8,90
Tembaga	Cu	8,92
Timbal	Pb	11,34
Tungsten	W	19,40
Emas	Au	19,34

Pada penelitian ini ada 4 jenis logam berat yang digunakan, yaitu timbal (Pb), tembaga (Cu), besi (Fe) dan seng (Zn). 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, mempunyai nomor atom 82 dan berat molekul 207,19 g/mol. Tembaga (*Cuprum*) adalah unsur kimia yang dilambangkan dengan Cu memiliki nomor atom 29 dan berat molekul 63,54 g/mol. 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^[21]. Seng (zinc) adalah unsur kimia dengan lambang kimia Zn, nomor atom 30 dan berat molekul 65,37 g/mol. Besi adalah unsur kimia yang dilambangkan dengan Fe memiliki nomor atom 26 dan berat molekul 55,85 g/mol. 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^[22].

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 (3) ^[23].

$$\ln \frac{I}{I_0} = KC \quad (3)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk jenis penelitian eksperimen dengan menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran panjang gelombang dan intensitas relatif cahaya kunang-kunang serta menentukan nilai koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang. Kunang-kunang yang digunakan dalam penelitian ini adalah kunang-kunang spesies *Pteroptyx tener* yang diambil dari daerah Sungai Lareh Kecamatan Koto Tangah Kota Padang. Logam berat yang digunakan adalah timbal (Pb), tembaga (Cu), besi (Fe) dan seng (Zn) dengan konsentrasi masing-masing logam berat yaitu 0,5 mg/l, 1 mg/l dan 2 mg/l.

Prosedur Penelitian

1. Pengukuran Tanpa Logam Berat

Sampel kunang-kunang di ambil dari daerah Sungai Lareh Kecamatan Koto Tangah Kota Padang. Kunang-kunang dikumpulkan dalam botol plastik, dimana botol tersebut diberi lobang untuk pertukaran udara agar kunang-kunang tetap hidup. Bagian kunang-kunang yang akan diukur yaitu pada bagian ekor. Bagian ekor kunang-kunang yang bercahaya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Bagian bercahaya kunang-kunang.

Bagian ekor kunang-kunang ketika bercahaya dipotong, kemudian mengukur panjang gelombang dan intensitas relatif cahaya kunang-kunang.

2. Pengukuran dengan Logam Berat

Untuk pengukuran dengan logam berat, yaitu timbal (Pb), tembaga (Cu), besi (Fe) dan seng (Zn) dengan konsentrasi masing-masing logam berat yaitu 0,5 mg/l, 1 mg/l dan 2 mg/l. Memasukkan bagian bercahaya kunang-kunang kedalam masing-masing jenis dan konsentrasi larutan logam berat, kemudian mengukur panjang gelombang dan intensitas relatif cahaya kunang-kunang menggunakan spektrofotometer Uv-Vis.

Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini data dikumpulkan melalui pengukuran terhadap besaran fisika yang terdapat dalam sistem pengukuran panjang gelombang dan transmitansi (intensitas relatif). Pengukuran dilakukan secara langsung, yaitu pengukuran yang dilakukan tidak bergantung pada besaran-besaran lain. Data yang diperoleh secara langsung dari hasil pengukuran panjang gelombang dan intensitas relatif berdasarkan variasi konsentrasi dan logam berat.

Teknik Pengolahan Data

Untuk mengetahui pengaruh logam berat terhadap sifat fisis pemancaran cahaya dari bioluminisensi kunang-kunang (*Pteroptyx tener*), teknik pengolahan data yang dilakukan adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh jenis dan konsentrasi logam berat terhadap intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang, dilakukan plot data dan analisa hubungan variasi jenis dan konsentrasi logam berat terhadap intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang.
2. Untuk mengetahui pengaruh jenis dan konsentrasi logam berat terhadap koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang, dilakukan plot data dan analisa hubungan variasi jenis dan konsentrasi logam berat terhadap koefisien inhibisi intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang. Untuk menentukan koefisien inhibisi dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\ln \frac{I}{I_0} = KC$$

I=nilai intensitas maksimum bioluminisensi dalam kehadiran senyawa logam berat

I₀=nilai intensitas maksimum bioluminisensi tanpa senyawa logam berat

K=koefisien inhibisi

C=konsentrasi senyawa logam berat

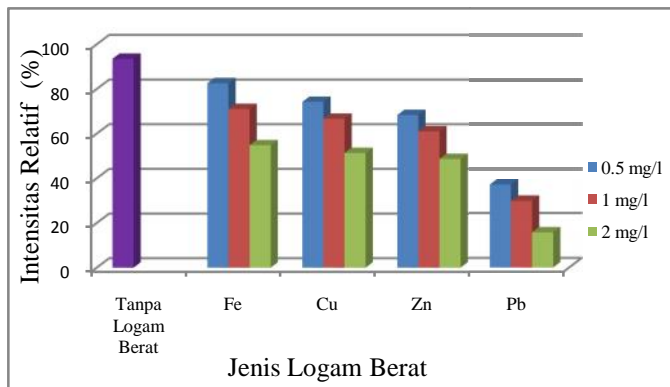
3. Untuk mengetahui pengaruh berat molekul logam berat dengan koefisien inhibisi bioluminisensi kunang-kunang, dilakukan plot data dan analisa hubungan berat molekul logam berat dengan koefisien inhibisi intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang.

HASIL PENELITIAN

Pengaruh jenis dan konsentrasi logam berat terhadap intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang

Intensitas relatif cahaya kunang-kunang didapatkan pada panjang gelombang 540 nm. Panjang gelombang ini tergolong pada gelombang cahaya tampak dengan warna hijau. Intensitas relatif maksimum yang didapat diperoleh rata-rata sebesar 93.54 %.

Berdasarkan nilai intensitas relatif yang didapat dari pengukuran menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada cahaya kunang-kunang tanpa dan dengan logam berat timbal (Pb), seng (Zn), tembaga (Cu) dan besi (Fe) dengan konsentrasi masing-masing 0,5 mg/l, 1 mg/l dan 2 mg/l dapat diplot kedalam diagram pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Intensitas relatif cahaya kunang-kunang tanpa dan dengan logam berat.

Dari Gambar 7 terlihat bahwa intensitas relatif cahaya kunang-kunang tanpa logam berat adalah sebesar 93.54%. Namun setelah diberi logam berat intensitas relatif cahaya kunang-kunang menurun dengan meningkatnya konsentrasi. Penurunan intensitas paling tajam terjadi pada logam berat timbal (Pb). Pada konsentrasi 0,5 mg/l intensitas menurun menjadi 36.92%, konsentrasi 1 mg/l menjadi 29.64% dan pada konsentrasi 2 mg/l menjadi 15.62%. Tembaga (Cu) pada konsentrasi 0,5 mg/l intensitas menurun menjadi 74.25%, konsentrasi 1 mg/l menjadi 66.68% dan pada konsentrasi 2 mg/l menjadi 51.36%. Besi (Fe) pada konsentrasi 0,5 mg/l intensitas menurun menjadi 82.63, konsentrasi 1 mg/l menjadi 71.08% dan pada konsentrasi 2 mg/l menjadi 54.83%. Sedangkan seng (Zn) pada konsentrasi 0,5 mg/l intensitas menurun menjadi 68.35%, konsentrasi 1 mg/l menjadi 61.04% dan pada konsentrasi 2 mg/l menjadi 48.65%.

Pengaruh jenis dan konsentrasi logam berat terhadap koefisien inhibisi intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang

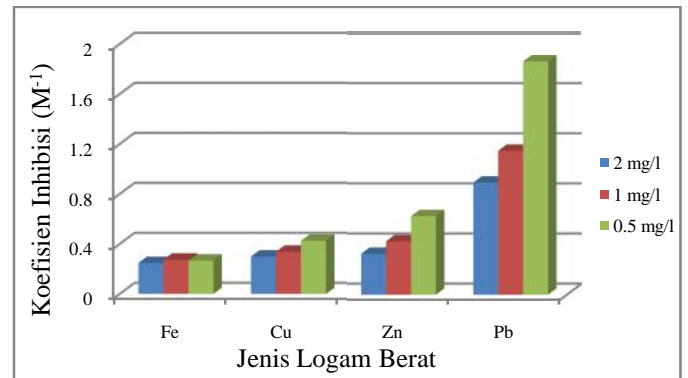
Untuk melihat pengaruh jenis logam berat terhadap penurunan intensitas pemancaran cahaya, maka nilai intensitas maksimum bioluminisensi dalam kehadiran senyawa logam berat dengan konsentrasi tertentu dapat dibandingkan dengan nilai intensitas bioluminisensi tanpa senyawa logam berat. Parameter inhibisi intensitas bioluminisensi dapat dihitung menggunakan persamaan 3. Hasil perhitungan nilai inhibisi intensitas bioluminisensi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai inhibisi intensitas bioluminisensi pada berbagai jenis dan konsentrasi logam berat.

Logam Berat	K (M ⁻¹)		
	Kons. 0,5 mg/l	Kons. 1 mg/l	Kons. 2 mg/l
Timbal (Pb)	1.8620	1.1494	0.8951
Seng (Zn)	0.6275	0.4269	0.3269
Tembaga (Cu)	0.4260	0.3385	0.2998
Besi (Fe)	0.2481	0.2747	0.2671

Dari data yang didapat diplot grafik jenis logam berat timbal (Pb), seng (Zn), tembaga (Cu) dan besi (Fe) pada

konsentrasi 0,5 mg/l, 1 mg/l dan 2 mg/l terhadap nilai koefisien inhibisi (M⁻¹), seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram koefisien inhibisi (M⁻¹) cahaya kunang-kunang dengan konsentrasi logam berat.

Dari Gambar 8 terlihat bahwa koefisien inhibisi (M⁻¹) cahaya kunang-kunang semakin tinggi dengan meningkatnya konsentrasi logam berat. Peningkatan koefisien inhibisi (M⁻¹) paling tajam terjadi pada logam berat timbal (Pb). Pada konsentrasi 0,5 mg/l koefisien inhibisi sebesar 1.8620 M⁻¹, konsentrasi 1 mg/l menjadi 1.1494 M⁻¹ dan pada konsentrasi 2 mg/l menjadi 0.8951 M⁻¹. Seng (Zn) pada konsentrasi 0,5 mg/l koefisien inhibisi sebesar 0.6275 M⁻¹, konsentrasi 1 mg/l menjadi 0.4269 M⁻¹ dan pada konsentrasi 2 mg/l menjadi 0.3269 M⁻¹. Tembaga (Cu) pada konsentrasi 0,5 mg/l koefisien inhibisi sebesar 0.4260 M⁻¹, konsentrasi 1 mg/l menjadi 0.3385 M⁻¹ dan pada konsentrasi 2 mg/l menjadi 0.2998 M⁻¹. Sedangkan besi (Fe) pada konsentrasi 0,5 mg/l koefisien inhibisi sebesar 0.2481 M⁻¹, konsentrasi 1 mg/l menjadi 0.2747 M⁻¹ dan pada konsentrasi 2 mg/l menjadi 0.2671 M⁻¹.

Pengaruh berat molekul logam berat dengan koefisien inhibisi intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang

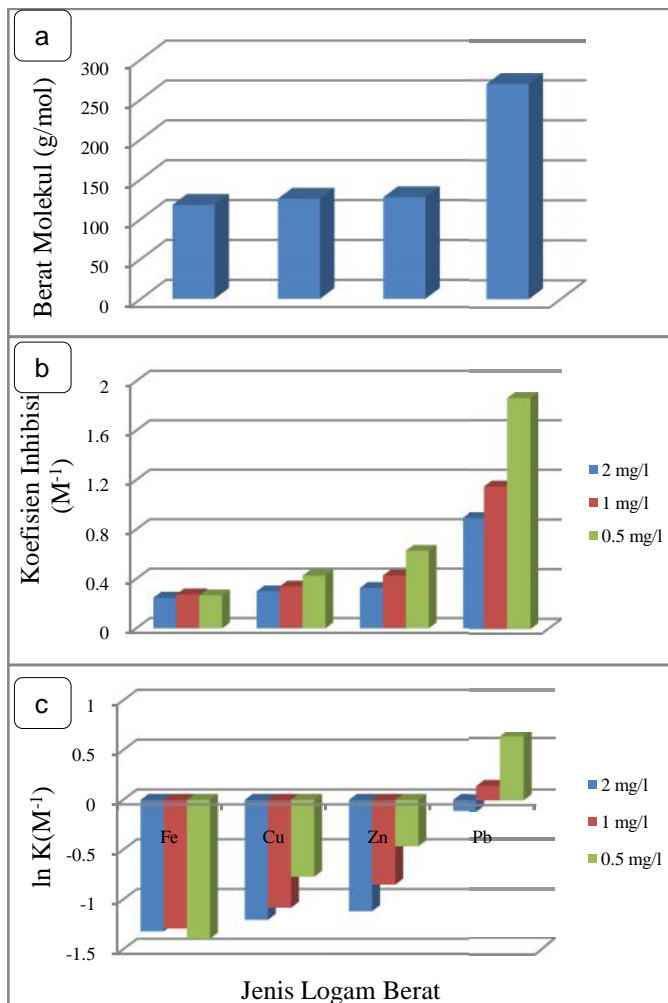
Penurunan intensitas cahaya kunang-kunang juga dapat dilihat dari salah satu sifat fisika yang dimiliki oleh logam berat yaitu berat molekul. Berat molekul dari logam berat timbal (Pb), seng (Zn), tembaga (Cu) dan besi (Fe) dan nilai koefisien inhibisi intensitas relatif bioluminisensi kunang-kunang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai berat molekul dan koefisien inhibisi intensitas bioluminisensi pada berbagai jenis dan konsentrasi logam berat.

Logam Berat	Berat Molekul (g/mol)	K (M ⁻¹)		
		Kons. 0,5 mg/l	Kons. 1 mg/l	Kons. 2 mg/l
(PbNO ₃)	269.20	1.8620	1.1494	0.8951
(ZnNO ₃)	127.38	0.6275	0.4269	0.3269
(CuNO ₃)	125.55	0.4260	0.3385	0.2998
(FeNO ₃)	117.86	0.2481	0.2747	0.2671

Dari data berat molekul dan koefisien inhibisi intensitas bioluminisensi dari logam berat timbal (Pb), seng

(Zn), tembaga (Cu) dan besi (Fe) pada konsentrasi 0,5 mg/l, 1 mg/l dan 2 mg/l dapat diplot grafik pada Gambar 9.



Gambar 9. (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.

Dari Gambar 9(a) dapat dilihat bahwa logam berat timbal nitrat ($PbNO_3$) memiliki berat molekul yang paling tinggi yaitu 269.20g/mol, kemudian seng nitrat ($ZnNO_3$) 127.38 g/mol, tembaga nitrat ($CuNO_3$) 125.55 g/mol dan besi nitrat ($FeNO_3$) 117.86 g/mol. Pada Gambar 9(b) terlihat bahwa logam berat timbal (Pb) memiliki nilai koefisien inhibisi paling besar, kemudian seng (Zn), tembaga (Cu) dan besi (Fe). Gambar 9(c) terlihat bahwa logam berat timbal (Pb) memiliki nilai $\ln K$ paling besar, kemudian seng (Zn), tembaga (Cu) dan besi (Fe). Dari Gambar 32 didapat hubungan berat molekul dengan koefisien inhibisi dan $\ln K$. Semakin besar berat molekul logam berat, maka nilai koefisien inhibisi intensitas dan $\ln K$ bioluminisensi kunang-kunang juga semakin besar.

PEMBAHASAN

Berdasarkan analisa data yang dilakukan telah diperoleh grafik panjang gelombang pada intensitas relatif yang dipancarkan oleh kunang-kunang. Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 24 dapat dilihat bahwa intensitas relatif maksimum cahaya kunang-kunang tanpa pengaruh logam berat dan pada Gambar 25 sampai Gambar 31 dengan pengaruh logam berat terjadi pada panjang gelombang 540 nm. Panjang gelombang pada 540 nm adalah warna hijau^[24]. Nilai panjang gelombang cahaya kunang-kunang yang diperoleh secara pengukuran sesuai dengan rentangan nilai panjang gelombang cahaya tampak yang dapat dilihat secara kasat mata. Kunang-kunang memancarkan berbagai warna cahaya dari hijau dengan panjang gelombang maksimum 530 nm hingga merah dengan panjang gelombang maksimum 635 nm^[7].

Intensitas relatif cahaya kunang-kunang disebabkan oleh senyawa luciferin yang bereaksi dengan energi dan enzim luciferase. Cahaya yang dipancarkan pada kunang-kunang disebabkan karena adanya molekul pada keadaan dasar dengan tingkat vibrasi terendah yang mengalami eksitasi kemudian molekul tersebut kembali lagi kekeadaan dasar sambil memancarkan cahaya^[6]. Pengukuran nilai intensitas relatif maksimum cahaya kunang-kunang pada panjang gelombang 540 nm dengan 5 (lima) kali pengukuran didapatkan rata-rata sebesar 93.54%.

Intensitas relatif cahaya kunang-kunang akan berubah jika diberi pengaruh luar yaitu logam berat. Keberadaan suatu zat racun dapat mempengaruhi aktifitas enzim^[25]. Logam berat mempengaruhi sistem kerja enzim luciferase yang terdapat pada kunang-kunang. Semakin banyak konsentrasi logam berat yang terakumulasi pada tubuh kunang-kunang maka intensitas relatif cahayanya akan menurun. Dari pengukuran keempat jenis logam berat, terlihat bahwa timbal (Pb) memiliki penurunan intensitas yang sangat jauh, kemudian seng (Zn), tembaga (Cu) dan besi (Fe).

Nilai koefisien inhibisi yang didapat diperoleh dari penurunan intensitas pemancaran cahaya, yaitu nilai intensitas maksimum bioluminisensi dalam kehadiran senyawa logam berat dengan konsentrasi tertentu dapat dibandingkan dengan nilai intensitas bioluminisensi tanpa senyawa logam berat. Dari nilai koefisien inhibisi keempat jenis logam berat yang didapat, terlihat bahwa timbal (Pb) memiliki nilai koefisien inhibisi paling besar kemudian seng (Zn), tembaga (Cu) dan besi (Fe).

Penurunan intensitas relatif cahaya kunang-kunang juga dipengaruhi oleh sifat fisika yang dimiliki oleh masing-masing logam berat seperti berat molekul.

Intensitas cahaya relatif dari reaksi bioluminisensi kunang-kunang makin menurun jika berat molekul dari logam berat makin besar. Penurunan intensitas cahaya ini ditandai dengan makin besarnya koefisien inhibisi $\{K (M^{-1})\}$ ^[6]. Logam berat timbal dalam senyawa $PbNO_3$ memiliki berat molekul yang besar dibandingkan dengan tembaga, besi ataupun seng. Selain berat molekul, peningkatan konsentrasi logam berat juga mempengaruhi intensitas cahaya yang dihasilkan kunang-kunang, semakin tinggi konsentrasi logam berat maka

intensitas cahaya yang dihasilkan kunang-kunang semakin menurun.

KESIMPULAN

1. 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).
2. 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).
3. 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.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Widaningrum, dkk. 2007. *Bahaya Kontaminasi Logam Berat Dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya*. Vol 3.
- [2] Viza, Rivo Yulse. 2007. *Isolasi DNA Genom dan Amplifikasi Gen Penghasil Cahaya Lamprophorus sp*. Padang: Skripsi Universitas Negeri Padang.
- [3] Maidianti, Rahma. 2010. *Kajian Karakteristik Fisis Bioluminisensi dari Kunang-kunang Merayap (Lamprophorus Sp) Daerah Surian Kabupaten Solok*. Padang: Skripsi Universitas Negeri Padang.
- [4] Kirillova, Tamara N dan Kudryasheva, Nadezhada S. 2007. *Effect Of Heavy Atom in Bioluminescent Reactions*. Anal Bioanal Chem (2007) 387:2009–2016.
- [5] Holsa, Jorma. 2009. *Persistent Luminescence Beats the Afterglow: 400 Years of Persistent Luminescence*. Electrochemical Society Interface, 42–45.
- [6] Ratnawulan. 2008. *Fisika Bioluminisensi Studi Kasus pada Bakteri Photobacterium Phosporeum*. Padang: Universitas Negeri Padang Press.
- [7] Branchini, Bruce R, dkk. 1999. *Site-Directed Mutagenesis of Firefly Luciferase Active Site Amino Acids: A Proposed Model for Bioluminescence Color*. Biochemistry, 38, 13223-13230.
- [8] Dreisig, H. 1975. *Environmental Control Of The Daily Onset Of Luminescent Activity In Glowworms And Fireflies (Coleoptera: Lampyridae)*. Oecologia 18: 85-99.
- [9] Rahayu, Resti. 2007. *Mengenal Kunang-kunang Melalui Habitat dan Ciri-ciri Morfologi*. Draft artikel ilmiah Dosen Muda 2007 UNIVERSITAS ANDALAS.
- [10] Chey, Vun Khen. 2004. *Fireflies of Sungai Klias and Their Display Trees*. Sepilok Bulletin 1: 67-69
- [11] Branham, Marc A dan Wenzel, John W. 2003. *The Origin of Photic Behavior and the Evolution of Sexual Communication in Fireflies (Coleoptera: Lampyridae)*. Cladistics 19 (2003) 1–22.
- [12] Nallakumar, Kumari. 2002. *The Fireflies Of Peninsular Malaysia*. ASEAN Review of Biodiversity and Environmental Conservation (ARBEC) <http://www.pteroptyx.php.htm>. Diakses 27 mei 2013.
- [13] Sayung, Koh. 2005. *Pemerhatian Awal Ekologi dan Taburan Kerlap-kerlip (Coleoptera: Lampyridae) di Kinabatangan*. Malaysia: Skripsi Universitas Malaysia Sabah.
- [14] Gajendra, Babu dan Kannan, M. 2002. *Lightning Bugs*. India: Tamil Nadu Agricultural University Coimbatore.
- [15] McElroy dan Hasting. 1954. *Biochemistry of Firefly Luminescence*. 161-198.
- [16] Sapsford, Kim E. 2006. *Materials for Fluorescence Resonance Energy Transfer Analysis: Beyond Traditional Donor–Acceptor Combinations*. Chem 45,4562 – 4588.
- [17] Fan, Frank dan Wood, Keith V. 2007. *Technology Review, Bioluminescent Assays for High-Throughput Screening*. Vol 5. No1.
- [18] Sudarwin. 2008. *Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang*. Semarang: Tesis. Universitas Diponegoro Semarang.
- [19] Lia, Ade. 2004. *Evaluasi Kadar Ambien Logam Berat Nikel (Ni) dan Timbal (Pb) Dalam Tanah sebagai Dasar Penyempurnaan Kriteria Baku Mutu Tanah di Indonesia*. Bogor: Skripsi Institute Pertanian Bogor.
- [20] Vlack, Lawrence H Van. 1995. *Ilmu Dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Erlangga: Jakarta.
- [21] Shindu, Shita Femala. 2005. *Kandungan Logam Berat Cu, Zn, Dan Pb dalam Air, Ikan Nila (Oreochromis Niloticus) dan Ikan Mas (Cyprinus Carpio) dalam*

- Keramba Jaring Apung, Waduk Saguling*. Bogor: Skripsi Institut Pertanian Bogor.
- [22] Kacaribu, Kumpulan. 2008. *Kandungan Kadar Seng (Zn) Dan Besi (Fe) Dalam Air Minum Dari Depot Air Minum Isi Ulang Air Pegunungan Sibolangit Kota Medan*. Medan: Tesis Universitas Sumatera Utara.
- [23] Kudryasheva, Nadezhda S. 2006. *Bioluminescence And Exogenous Compounds: Physico-Chemical Basis For Bioluminescent Assay*. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 83 (2006) 77–86.
- [24] Young dan Freedman. 2001. *Fisika Universitas Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- [25] Sudarwin. 2008. *Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang*. Semarang: Tesis. Universitas Diponegoro Semarang.