

**KARAKTERISTIK FISIS PEMANCARAN CAHAYA
KUNANG-KUNANG TERBANG (*Pteroptyx tener*)**

SKRIPSI

*Diajukan Kepada tim Penguji Skripsi Jurusan Fisika Sebagai Salah Satu
Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains*



Oleh

**MELFITA SARI
NIM. 01987/2008**

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

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Melfita Sari
NIM : 01987
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan judul

KARAKTERISTIK FISIS PEMANCARAN CAHAYA KUNANG-KUNANG TERBANG (*Pteroptyx tener*)

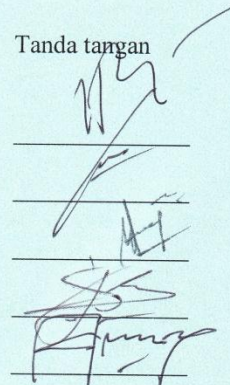
Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 26 April 2013

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si
Sekretaris	: Drs. Gusnedi, M.Si
Anggota	: Dr. Hamdi, M.Si
Anggota	: Dra. Yenni Darvina, M.Si
Anggota	: Drs. H. Asrizal, M.Si

Tanda tangan



ABSTRAK

MELFITA SARI : Karakteristik Fisis Pemancaran Cahaya Kunang-kunang Terbang (*Pteroptyx tener*)

Di daerah Sungai Lareh kota Padang ditemukan kunang-kunang terbang spesies *Pteroptyx tener*. Pada kunang-kunang tersebut informasi mengenai karakteristik fisis pemancaran cahaya spesies belum diketahui. Informasi ini penting untuk berbagai aplikasi terutama di bidang bioluminisensi. Oleh karena itu dilakukan penelitian dengan tujuan mengkaji karakteristik fisis pemancaran cahaya dari kunang-kunang terbang, meliputi panjang gelombang cahaya yang dipancarkan pada Intensitas maksimum, konstanta peluruhan, nilai *quantum yield*, jumlah foton dipancarkan setiap detik dan energi aktivasi.

Penelitian ini jenisnya *expost facto* yaitu mengungkap karakteristik fisis dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang dan tidak ada perlakuan pada objek yang diteliti. Untuk mendapatkan data pada penelitian ini menggunakan alat ukur Intensitas pemancaran cahaya yaitu: Spektrofotometer UV-VIS. Kunang-kunang yang digunakan diambil dari daerah Sungai Lareh Kecamatan koto Tangah Kota Padang.

Hasil yang diperoleh adalah nilai panjang gelombang pada intensitas relatif maksimum adalah 540 nm. Nilai ini berada pada panjang gelombang cahaya tampak dengan warna kuning kehijauan. Hasil ini sesuai dengan pengamatan dimana warna cahaya yang dipancarkan oleh kunang-kunang terbang yaitu warna kuning kehijauan. Konsatanta peluruhan yang dihasilkan dari kunang-kunang diperoleh sebesar 0,0046 quanta per detik, dan jumlah foton yang dipancarkan setiap detik oleh kunang-kunang terbang (*Pteroptyx tenner*) yaitu sebesar $9,93209 \times 10^{11}$ quanta/detik. Dari nilai foton ini dapat diperoleh *quantum yield* yaitu 0.56819.

Kata Kunci: *Bioluminisensi, kunang-kunang, panjang gelombang pada intensitas maksimum, quantum yield dan energi aktivasi.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Karakteristik Fisis Pemancaran Cahaya Kunang-kunang Terbang (*Pteroptyx tener*)**.

Adapun penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar sarjana sains pada Program Studi Fisika, Jurusan Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulis mendapatkan bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak selama penyelesaian skripsi ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Ibu Dr. Hj Ratnawulan, M.Si., sebagai pembimbing I atas segala bantuannya yang telah tulus dan ikhlas memberikan arahan, membaca, memeriksa, mengoreksi dan memberikan saran-saran untuk perbaikan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Gusnedi, M.Si., sebagai pembimbing II atas segala bantuannya yang telah tulus dan ikhlas memberikan arahan, membaca, memeriksa, mengoreksi dan memberikan saran-saran untuk perbaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Hamdi, M.Si., selaku Penasehat Akademis sekaligus dosen penguji
4. Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si., dan Bapak Drs. H. Asrizal, M.Si., selaku tim penguji yang telah memberikan masukan yang berarti demi kesempurnaan skripsi ini.
5. Bapak Drs. Akmam, M.Si., sebagai ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematikadan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

6. Ibu Dra. Hidayati, M.Si., sebagai Ketua Prodi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Bapak dan Ibu staf Pengajar Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
8. Bapak Drs. Iswendi, M.Si., sebagai Kepala Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
9. Bapak Hamid sebagai laboran yang telah membantu memberi pengarahan selama penelitian di Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan hati yang telah mereka berikan kepada penulis. Penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu fisika khususnya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi kelengkapan skripsi ini. Semoga semua bantuan, kritik dan saran yang telah diberikan menjadi masukan positif bagi penulis.

Padang , Mei 2013

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Batasan Masalah	6
D. Pertanyaan Penelitian	6
E. Tujuan Penelitian	7
F. Manfaat Penelitian	7
 BAB II KAJIAN TEORI	
A. Kunang-kunang	9
B. Luminisensi.....	14
C. Proses Fisis Luminisensi	16
D. Bioluminisensi	18
E. Cahaya Kunang-kunang.....	22
F. Cahaya	27
G. Proses Fisis Luminisensi.....	30
H. Spektrofotometer UV-VIS	35

I. Karakteristik Fisis dari Pemancaran Cahaya Kunang-kunang Terbang	37
BAB III METODA PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian	43
B. Tempat dan Waktu Penelitian	43
C. Instrumen Penelitian	44
D. Sampel Penelitian	45
E. Variabel Penelitian	46
F. Prosedur Penelitian	46
G. Teknik Penumpulan Data	47
H. Teknik Pengolahan Data	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Deksripsi Data	50
B. Analisa Data	54
C. Pembahasan	59
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	63
B. Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi hewan Kunang-kunang	9
2. Klasifikasi hewan kunang-kunang terbang (<i>Pteroptyx tener</i>).....	11
3. Perbedaan cahaya kunang-kunang jantan dan kunang betina dilihat dari sinyal yang dihasilkan	24
4. Spesies dari beberapa kunang-kunang dan panjang gelombang pada Intensitas maksimum (puncak panjang gelombang)	25
5. Panjang dan Frekuensi Gelombang Elektromagnetik	28
6. Panjang Gelombang dan Frekuensi Cahaya Tampak.....	29
7. Perbandingan karakteristik fisis pemancaran cahaya pada beberapa kunang-kunang.....	42
8. Hubungan Intensitas relatif dengan variasi waktu pada panjang gelombang 540 nm.....	55
9. Hubungan variasi waktu dengan rata- rata Intensitas relatif.....	55
10. Perbandingan karakteristik fisis pemancaran cahaya pada kunang-kunang terbang <i>Pteroptyx tener</i> dengan kunang-kunang lainnya	61
11. Pemancaran cahaya kunang-kunang pada waktu 1 detik.....	68
12. Pemancaran cahaya kunang-kunang pada waktu 5 detik.....	68
13. Pemancaran cahaya kunang-kunang pada waktu 10 detik.....	69
14. Pemancaran cahaya kunang-kunang pada waktu 15 detik.....	69
15. Pemancaran cahaya kunang-kunang pada waktu 20 detik.....	70
16. Pemancaran cahaya kunang-kunang pada waktu 21 detik.....	70
17. Hubungan Intensitas relatif dengan variasi waktu pada panjang gelombang 540 nm.....	71
18. Hubungan variasi waktu dengan rata- rata Intensitas relatif.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Perbedaan kunang-kunang <i>Pteroptyx tener</i> jantan dan betina dari kedua gambar kunang-kunang betina disebelah kiri dan kunang-kunang jantan disebelah kanan dilihat dari posisi depan.....	13
2. Foto Kunang-kunang yang digunakan dalam penelitian dilihat dari posisi belakang, terlihat sayap kunang- kunang terbang <i>Pteroptyx tener</i> berwarna emas dan pada kedua sayap tersebut terdapat garis hitam vertikal yang melengkung sesuai susunan sayapnya	14
3. Diagram Jablonski untuk Molekul	18
4. Struktur Kimia <i>Luciferin. Firefly luciferin</i>	20
5. Tahapan Reaksi Bioluminisensi <i>Firefly</i>	21
6. Spektrum emisi dari Kunang-kunang <i>Luciola praeusta</i> . Panjang gelombang mencapai puncak tampak pada 562 nm dan lebar semi punya satu nilai dari 55 nm.....	25
7. Grafik Puncak gelombang emisi pada 155 pada organ punggung cahaya yang bercahaya dan 35 Organ punggung yang bercahaya dari kunang-kunang <i>Pyrophorus plagiophthalmus</i>	26
8. Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	27
9. Konfigurasi Elektron (a) pada Fluoresensi (b) pada Fosforesensi (c) pada Bioluminisensi Langsung (d) pada Bioluminisensi Tak Langsung	30
10. Proses Energi pada Reaksi Kemiluminisensi atau Bioluminisensi untuk reaksi $A + B \rightarrow C^* + D \rightarrow C + h\nu$	35
11. Spektrofotometer Uv- Vis	36
12. Spektrofotometer Uv- Vis	44
13. Sampel Kunang-kunang terbang <i>Pteroptyx tener</i>	45

14. Cahaya kunang-kunang terbang <i>Pteroptyx tener</i> pada malam hari	45
15. Skema Prosedur penelitian yang akan dilakukan.....	46
16. Grafik hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya kunang-kunang dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 1 detik	50
17. Grafik hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya kunang-kunang dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 5 detik	51
18. Grafik hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya kunang-kunang dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 10 detik	52
19. Grafik hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya kunang-kunang dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 15 detik	52
20. Grafik hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya kunang-kunang dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 20 detik	53
21. Grafik hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya kunang-kunang dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 25 detik	54
22. Grafik hubungan Intensitas terhadap waktu peluruhan t dengan panjang gelombang 540	56
23. Hubungan variasi waktu terhadap <i>quantum yield</i> pemancaran cahaya kunang-kunang.....	58
24. Hubungan variasi waktu dengan jumlah foton (N) pemancaran cahaya kunang-kunang.....	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Pemancaran cahaya kunang-kunang dengan variasi waktu	68
2. Hubungan Intensitas relatif dengan variasi waktu pada panjang gelombang 540 nm dan dengan rata- rata Intensitas relatif	71
3. Perhitungan Intensitas , Konstanta Peluruhan, Quantum Yield, Jumlah Foton dan Energi Aktivasi.....	72

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Banyak organisme di alam yang mempunyai kemampuan memancarkan cahaya, seperti: bakteri, fungi, kunang-kunang dan ikan. Fenomena pancaran cahaya tersebut sebagai hasil dari reaksi kimia disebut kemiluminesensi. Ketika hal tersebut terjadi pada makhluk hidup maka itu yang dinamakan bioluminisensi (Liu & Fang, 2007). Bioluminisensi adalah sebuah proses yang menarik pada makhluk hidup yang merubah energi kimia menjadi energi cahaya (Gohain dkk, 2009).

Organisme bioluminisensi mampu memancarkan cahaya sendiri karena disebabkan oleh enzim luciferase yang mengkatalis senyawa luciferin. Reaksi kimia pada bioluminisensi melibatkan tiga komponen utama, yakni *luciferin* (substrat), *luciferase* (enzim) dan molekul oksigen. *Luciferin* merupakan substrat yang melawan suhu panas dan menghasilkan cahaya dan *luciferase* merupakan sebuah enzim yang mengkatalis dan oksigen sebagai bahan bakar (Gajendra-Kannan, 2002). Dari reaksi tersebut *luciferase* mengalami eksitasi dan kembali ke keadaan dasar sambil memancarkan cahaya. Keadaan ini merupakan proses fisika yang terjadi dalam organisme yang melibatkan transport elektron dimana elektron pindah dari keadaan dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi dan kemudian kembali ke keadaan dasar yang disertai pancaran cahaya. Pancaran cahaya yang dihasilkan oleh organisme bioluminisensi ini merupakan energi dingin, karena

hampir 90% energi yang dihasilkan dari reaksi luminisensi diubah menjadi energi cahaya (Maden, 2001).

Beberapa jenis organisme yang memiliki kemampuan bioluminisensi banyak terdapat pada serangga dan yang paling terkenal adalah pada kunang-kunang (Gajendra-Kannan, 2002). Kunang-kunang merupakan serangga yang unik, karena kemampuannya untuk menghasilkan cahaya yang berwarna-warni tergantung habitatnya. Di Indonesia ditemukan dua jenis kunang-kunang. Salah satu dari spesies tersebut termasuk *Genus Pteroptyx* sedangkan yang lainnya belum teridentifikasi (Rahayu dan Siong, 2003 dikutip dari Resti, 2007).

Populasi kunang-kunang semakin hari semakin berkurang jumlahnya. Beberapa waktu yang lalu kunang-kunang sangat mudah ditemukan terutama di desa-desa tetapi sekarang sangat jarang dapat dilihat. Untuk beberapa tempat, menurut laporan dari penduduk desa telah terjadi penurunan populasi kunang-kunang yang sangat tajam, bahkan tidak pernah lagi terlihat keberadaanya. Kemungkinan kehadirannya sudah terancam karena pembukaaan lahan dan hutan (Resti, 2007).

Penelitian Wan dkk (2010) tentang populasi dari ekologi kunang-kunang *Pteroptyx* di Peninsular Malaysia menunjukan bahwa diperlukan perlindungan pada beberapa spesis tanaman yang digunakan kunang-kunang, karena perbedaan tanaman dapat membedakan siklus hidup kunang-kunang. Hal tersebut merupakan suatu alasan yang menyebabkan populasi kunang-kunang turun naik pada waktu

yang lama. Informasi fisis tentang kunang-kunang jenis *Pteroptyx* ini belum diketahui.

Bioluminisensi dari kunang-kunang banyak dimanfaatkan dalam teknologi , salah satunya dibidang elektronik seperti: OLED (*Organic Light-Emitting Device*) yang telah didesain dan digunakan untuk meningkatkan kualitas gambar. Adapun aplikasi lain sebagai biosensor seperti memonitor radiasi pada tubuh manusia (Li, 1999). Pada bidang medis, *luciferin* dan *luciferase* pada kunang-kunang digunakan untuk membedakan sel yang normal dengan sel yang terkena kanker. (Gajendra-Kannan, 2002).

Penelitian mengenai pengukuran bioluminisensi kunang-kunang ini telah dimulai semenjak tahun 1964 oleh Seliger dan McElroy pada 20 spesis kunang-kunang, 16 spesies di Jamaika dan 4 spesies di Amerika. Dari penelitian tersebut diperoleh panjang gelombang pada intensitas maksimum, seperti pada kunang-kunang *Photuris pennsylvanica* yang menghasilkan panjang gelombang puncak sebesar 552,4 nm dan kunang-kunang *Photinus pyralis* 562,1 nm. Hal tersebut menunjukan perbedaan spesies kunang-kunang menghasilkan perbedaan pancaran warna bioluminisensi, mulai dari hijau sampai kuning terang.

Johain dkk (2009) telah menyelidiki spektrum emisi kunang-kunang *Luciola Praeusta* di India yang diuji secara *in vivo* memperlihatkan bahwa kunang-kunang spesies ini mempunyai panjang gelombang optimum pada 562 nm. Untuk kunang-kunang dari daerah Sumatera Barat telah ada beberapa penelitian yang dilakukan yaitu: Viza (2007) menganalisis DNA genom kunang-kunang *Lamprophorus sp*,

Rahma (2010) melanjutkan penelitian dari Viza yang meneliti tentang Karakteristik Fisis Bioluminisensi Kunang-kunang Merayap (*Lamprophorus* sp) Daerah Surian Kabupaten Solok dan menemukan bahwa nilai *quantum yield* relatif dari kunang-kunang merayap yaitu 153,043 *Light Unit* dan foton yang dipancarkan yaitu $7,04 \times 10^{11}$ quanta/detik.

Di daerah Sungai Kecamatan Koto Tangah Kota Padang ditemukan kunang-kunang spesies kunang-kunang terbang (*Pteroptyx tener*). Informasi fisis tentang kunang-kunang spesies ini belum ada yang mengungkap. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki karakteristik fisis pemancaran cahaya kunang-kunang ini. Meskipun sudah banyak penelitian tentang kunang-kunang secara internasional maupun nasional, tetapi karakteristik fisis pemancaran cahaya kunang-kunang daerah Sungai Lareh belum ada. Selain itu dari hasil penelitian yang dilaporkan dapat disimpulkan perbedaan tempat akan menghasilkan karakteristik fisis pemancaran cahaya kunang-kunang yang berbeda.

Fenomena bioluminisensi ini sangat menarik untuk diteliti, karena setiap organisme tersebut memancarkan cahaya dengan warna yang beraneka ragam, sehingga peneliti ingin mengetahui bagaimana pula karakteristik sifat fisis dari kunang-kunang terbang spesies. Peneliti berharap akan dilakukan suatu penelitian lanjutan yang dapat dimanfaatkan untuk kemajuan bioteknologi terutama dibidang bioluminisensi.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, dapat dirumuskan masalah dari penelitian ini yaitu “Bagaimana Karakteristik fisis Pemancaran cahaya pada Kunang-kunang Terbang (*Pteroptyx tener*).

C. Batasan Masalah

Karakteristik fisis pemancaran cahaya kunang-kunang terbang (*Pteroptyx tener*) yang dimaksud adalah:

1. Panjang gelombang pada Intensitas relatif maksimum dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang.
2. Konstanta peluruhan dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang.
3. Jumlah foton pada pemancaran cahaya pada kunang-kunang terbang.
4. Nilai *quantum yield* pada pemancaran cahaya pada kunang-kunang terbang
5. Energi aktivasi yang dihasilkan pada pemancaran cahaya kunang-kunang terbang.

Kunang-kunang spesis ini diambil dari daerah Sungai Lareh Kecamatan Koto Tangah Kota Padang tepatnya dikawasan perbukitan.

D. Pertanyaan Penelitian

Adapun yang menjadi pertanyaan dalam penelitian mengenai karakteristik fisis dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang (*Pteroptyx tener*) ini adalah:

1. Berapa panjang gelombang pada Intensitas relatif maksimum pada pemancaran cahaya kunang-kunang terbang ?

2. Berapa konstanta peluruhan dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang?
3. Berapa jumlah foton dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang?
4. Berapa nilai *quantum yield* dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang?
5. Berapa Energi aktivasi pada pancaran cahaya kunang-kunang terbang?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan penelitian mengenai karakteristik fisis dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang (*Pteroptyx tener*) ini adalah :

1. Mengetahui panjang gelombang dari pemancaran cahaya yang dihasilkan pada Intensitas relatif maksimum pada kunang-kunang terbang
2. Mengetahui nilai konstanta peluruhan dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang.
3. Mengetahui jumlah foton dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang
4. Mengetahui nilai *quantum yield* dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang.
5. Mengetahui Energi aktivasi pada pemancaran cahaya kunang-kunang terbang.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan nantinya dapat berkontribusi dalam:

1. Peningkatan pemahaman dalam ilmu fisika material dan Biofisika yang berkaitan dengan melihat sifat fisis dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang

2. Memberikan informasi mengenai karakteristik fisis kunang-kunang dengan melihat nilai jumlah foton, nilai konstanta peluruhan dan nilai *quantum yield* dari pancaran cahayanya.
3. Sebagai salah satu syarat bagi peneliti menyelesaikan strata satu di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang
4. Sebagai Penelitian lanjutan yang dapat dimanfaatkan untuk kemajuan bioteknologi terutama dibidang bioluminisensi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kunang-kunang

Kunang-kunang adalah nama umum untuk serangga yang bercahaya dan termasuk ke dalam famili Lampyridae, aktif pada malam hari (*Nocturnal*). Kunang-kunang juga dikenal dengan *firefly*, *lightning bugs*, *glowworms*. Kunang-kunang memiliki organ dan sel khusus (*Photocytes*) yang mampu menghasilkan cahaya, terdapat pada segmen pertama atau kedua terakhir dari abdomen (Resti, 2007)

Kunang-kunang dewasa, secara umum ditemui pada habitat yang sama dengan larva. Pada kunang-kunang betina akan meletakkan telur sekitar seratus butir atau lebih di tanah dan ada juga didasar pohon. Telur akan menetas dalam 2-4 minggu. Kebanyakan larva kunang-kunang ditemukan di kayu-kayu yang telah membusuk atau serasah hutan atau di daerah lembab ditepi sungai dan kolam pada malam hari. (Fu et. al., 2005).

Kebanyakan spesies kunang-kunang ditemukan di daerah dengan kelembaban tinggi dan hangat seperti kolam, sungai, payau, lembah, parit dan padang rumput. Hal ini mungkin disebabkan kelembaban di daerah tersebut lebih lama dibanding daerah sekitarnya. Meskipun demikian beberapa spesies ditemukan di daerah yang sangat gersang dan kering. Di daerah gersang ini kunang-kunang dewasa dan larva dapat dengan mudah atau cepat ditemukan setelah hujan .

Kunang-kunang dewasa memiliki waktu hidup yang pendek. Informasi tentang jenis makanan kunang-kunang ini belum jelas. Sebagian informasi mengatakan bahwa kunang-kunang memakan serbuk sari (nektar) dan hanya makan sedikit atau tidak makan. Di daerah empat musim, selama musim panas kunang-kunang akan beristirahat di atas pohon atau ranting di tempat yang sejuk dan lembab sepanjang hari dan akan aktif pada senja hingga tengah malam (Resti, 2007).

Kunang-kunang menghasilkan cahaya dengan beberapa alasan, diantaranya: untuk mencari pasangannya/kawin, sebagai tanda untuk memperingatkan ada bahaya kepada yang lain dan melindungi diri dari predator. Masing-masing spesies kunang-kunang memiliki cahaya yang berbeda, yang membedakan mereka berkomunikasi dengan yang lainnya. Warna yang dihasilkan kehijauan, kuning atau orange tergantung spesies.

Secara ilmiah hewan kunang-kunang memiliki klasifikasi seperti yang terlihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Klasifikasi hewan Kunang-kunang

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

(Viza, 2007)

Lebih dari 2000 spesies kunang-kunang tersebar di daerah tropis. Ada sekitar 170 spesies ditemukan di Amerika Serikat. Jumlah terbesar dan paling tinggi keragamannya ditemukan di Asia Tropical dan Amerika Utara dan Tengah. Penelitian yang dilakukan di Brazil ditemukan sebanyak 26 spesies kunang-kunang. Dua puluh enam spesies itu termasuk ke dalam genus *Cratomorphus*, *Aspisoma*, *Photinus*, *Macrolampis*, *Bicellonychia*, *Pyrogaster*, *Photuris*, *Amydetes*, *Lamprocera* dan *Lucidota* yang ditemui di bagian timur daerah Sao Paulo State. Spesies-spesies ini teradaptasi di daerah hutan tropis mesofil, berpayau dan areal terbuka. Seperti *Photurinae* menyukai habitat berpayau dan lingkungan lembab.

Di Malaysia ada empat kelompok besar dari kunang-kunang ditemukan di negara ini yaitu *Pteroptyx*, *Luciola*, *Colophotia* dan *Lychnuris* (Nallakumar, 2002, dikutip dari Resti, 2007). Di Indonesia tepatnya Sungai Kecil, Kepulauan Riau ditemukan dua jenis kunang-kunang. Salah satu dari spesies tersebut termasuk Genus *Pteroptyx* sedangkan yang lainnya belum teridentifikasi (Rahayu dan Siong, 2003).

Kunang-kunang Genus *Pteroptyx* pada dasarnya berkumpul pada pohon bakau dan tingkatan masing-masing spesies mempunyai siklus hidup yang berbeda dari ekosistem pohon bakau (Nallakumar, 2002 dikutip dari Wan dkk, 2010). Kunang-kunang dewasa genus ini berkumpul pada pohon bakau untuk perkawinan dan bertelur ditanah yang basah. Larva kunang-kunang memakan siput di sungai secara khas dapat ditemukan 4-30 meter dari area pohon palm sago (Nada dkk., 2008 dikutip dari Wan dkk, 2010). Karena Larva bersifat

karnifora, memakan serangga lain, siput dan “slug”. Seperti hal larva aquatik dari spesies *Cratomorphus sp2* dan *Aspisoma sp2* merupakan pemangsa siput *Biomphalaria tenagophila* dan *Stenophisa colummella* (Viviani, 2003 dikutip dari Resti, 2007).

Penelitian Wan dkk (2010) tentang populasi dari ekologi kunang-kunang *Pteroptyx* di Peninsular Malaysia menunjukkan bahwa diperlukan perlindungan pada beberapa spesis tanaman yang digunakan kunang-kunang. Perbedaan tanaman dapat membedakan siklus hidup kunang-kunang. Hal tersebut adalah suatu alasan yang menyebabkan populasi kunang-kunang turun naik pada waktu yang lama.

1. Kunang-kunang Terbang (*Pteroptyx tener*)

Kunang-kunang spesies *Pteroptyx tener* ditemukan di daerah Sungai Lareh Kota Padang. Secara taksonomi hewan Kunang-kunang terbang (*Pteroptyx tener*) dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 2

Tabel 2. Klasifikasi hewan kunang-kunang terbang (*Pteroptyx tener*)

Filum	Arthropoda
Kelas	Insecta
Infrakelas	Neoptera
Ordo	Coleoptera
Famili	Lampyridae
Genus	<i>Pteroptyx</i>
Spesies	<i>Pteroptyx tener</i>

(Koh, 2005)

Di Asia tenggara, terdapat lebih kurang 20 spesies kunang-kunang yang berasal dari genus *Pteroptyx*. Salah satu dari genus *Pteroptyx* terdapat di Indonesia dan Malaysia yaitu spesies *Pteroptyx tener*. Di Indonesia spesies ini banyak ditemukan di daerah Sumatera. Adapun makanan pada kunang-kunang dewasa *Pteroptyx tener* berbeda diantara spesies yang lainnya. Kunang-kunang tersebut tidak memakan sembarang makanan, walaupun mulut pada kunang-kunang ini digunakan untuk menghisap cecair seperti air dan nektar (Koh, 2005).

Pola perilaku kunang-kunang spesies ini dan ekologi mangrove di Kampung Kuantan Malaysia telah dipelajari dan didokumentasikan oleh banyak peneliti baik dari lembaga lokal dan internasional. Studi ini telah menunjukkan bahwa kunang-kunang ini hidup dalam koloni besar dan setiap koloni menghuni pohon-pohon pada daun muda di area intervensi manusia (Hamzah dan Mokheri, 2004).

Kunang-kunang terbang jantan berbeda dengan kunang-kunang terbang betina dari ukuran tubuhnya yang lebih kecil. Mata majemuk kunang-kunang jantan lebih besar yang berperan penting dalam melihat cahaya kunang-kunang betina. Seperti semua kumbang-kumbangan, kunang-kunang memiliki pasangan sayap depan keras yang berperan melindungi sayap belakangnya yang tipis dan transparan. Perbedaan kunang-kunang betina dan jantan ini dapat dilihat pada Gambar 1.



a. Kunang-kunang betina b. Kunang-kunang jantan

Gambar 1. Perbedaan kunang-kunang *Pteroptyx tener* jantan dan betina dari kedua gambar kunang-kunang betina disebelah kiri dan kunang-kunang jantan disebelah kanan dilihat dari posisi depan. (Nallakumar, 2002)

Pada Gambar 1 dapat dilihat perbedaan lain yang mendasar, yaitu terlihat dari bagian tubuh kunang-kunang yang berbuku-buku, dimana pada kunang-kunang betina terdapat satu ruas buku yang berwarna putih sedangkan pada kunang-kunang jantan terdapat dua ruas buku yang berwarna putih. Cahaya kunang-kunang dapat dilihat dari ruas ini.

Aktivitas kunang-kunang terbang ini dilakukan oleh pasangan sayap belakang. Sayap kunang-kunang *Pteroptyx tener* berwarna emas dan pada kedua sayap tersebut terdapat garis hitam vertikal yang melengkung sesuai sayapnya seperti yang terlihat pada Gambar 2 . Kunang-kunang ini memiliki sepasang sayap, tetapi kunang-kunang ini bukanlah penerbang cepat seperti capung atau penerbang lemah gemulai seperti kupu-kupu. Oleh sebab itu kunang-kunang merupakan penerbang yang kaku dan lamban.



Gambar 2. Foto Kunang-kunang yang digunakan dalam penelitian dilihat dari posisi belakang, terlihat sayap kunang-kunang terbang *Pteroptyx tener* berwarna emas dan pada kedua sayap tersebut terdapat garis hitam vertikal yang melengkung sesuai susunan sayapnya.

Fenomena fisis yang menjadi ciri khas dari kunang-kunang terbang yaitu cahaya yang dipancarkan oleh kunang-kunang terbang. Dari fenomena fisis tersebut dapat diteliti karakteristik fisis bioluminisensi kunang-kunang terbang. Karakteristik fisis cahaya kunang-kunang terbang yang diteliti meliputi penentuan panjang gelombang cahaya, nilai *quantum yield* relatif kunang-kunang terbang dan jumlah foton yang dipancarkan setiap detik oleh kunang-kunang terbang.

B. Luminisensi

Luminisensi adalah pancaran cahaya dari suatu bahan hidup maupun mati. Peristiwa ini terjadi karena adanya elektron-elektron yang menyerap energi radiasi dan berpindah ke orbit yang lebih tinggi, sehingga bahan berada dalam keadaan tereksitasi. Ada dua peristiwa luminisensi, yaitu *fluoresensi* dan *fosforesensi*.

a. Fluoresensi

Fluoresensi adalah emisi cahaya oleh suatu zat yang telah menyerap cahaya atau radiasi elektromagnetik lain dari panjang gelombang yang berbeda. Dalam beberapa kasus, emisi cahaya memiliki panjang gelombang yang lebih panjang, oleh karena itu energinya lebih rendah, dibandingkan dengan radiasi yang diserap. Namun, ketika radiasi elektromagnetik yang diserap sangat ketat, sangat mungkin bagi satu elektron untuk menyerap dua foton, penyerapan dua foton ini dapat mengakibatkan emisi radiasi memiliki panjang gelombang yang lebih pendek daripada serapan radiasi. Contoh yang paling mengesankan dari fluoresensi muncul ketika radiasi diserap di wilayah spektrum ultraviolet, dan ini tidak tampak, dan emisi cahaya ada di wilayah tampak (visibel). Fluoresensi memiliki aplikasi praktis, termasuk dalam mineralogi, gemologi, sensor kimia (Fluoresensi spektroskopi), pelabelan neon, pewarna, detektor biologis, dan yang paling umum lampu neon.

Fluoresensi adalah terpancarnya sinar oleh suatu zat yang telah menyerap sinar atau radiasi elektromagnetik lain. Fluoresensi adalah bentuk dari luminesensi. Dalam beberapa hal, sinar yang dipancarkan memiliki gelombang lebih panjang dan energi lebih rendah daripada radiasi yang diserap. Meski begitu, ketika radiasi elektromagnetik yang diserap begitu banyak, bisa saja satu elektron menyerap dua foton;

penyerapan dua foton ini dapat mendorong pemancaran radiasi dengan gelombang yang lebih pendek daripada radiasi yang diserap.

b. Phosporesensi

Phosporesensi adalah jenis spesifik fotoluminesensi yang berkaitan dengan fluoresensi. Tidak seperti fluoresensi, material phosporesensi tidak akan segera kembali memancarkan radiasi yang diserap. Skala waktu lebih lambat dari emisi-ulang berkaitan dengan keadaan "terlarang" transisi energi dalam mekanika kuantum. Seperti halnya transisi terjadi sangat lambat dalam materi tertentu, radiasi yang terserap dapat kembali dipancarkan pada intensitas rendah sampai beberapa jam setelah eksitasi awal. Phosporesensi adalah sebuah proses di mana energi yang diserap oleh suatu zat yang relatif lambat dilepaskan dalam bentuk cahaya. Hal ini dalam beberapa kasus, seperti mekanisme digunakan untuk "glow-in-the-dark" bahan yang dikenakan oleh paparan cahaya.

C. Proses Fisis Luminisensi

Suatu molekul terdiri dari sekumpulan inti yang bergerak relatif lambat dan sebuah elektron yang berada pada orbitnya mengelilingi inti. Setiap orbital diisi maksimum oleh dua elektron. Distribusi dari elektron yang menempati orbital tertentu, memiliki energi tertentu yang disebut dengan keadaan elektronik. Sesuai dengan kaidah kuantum, energi keadaan elektronik yang stabil hanya dapat memiliki energi diskrit tertentu.

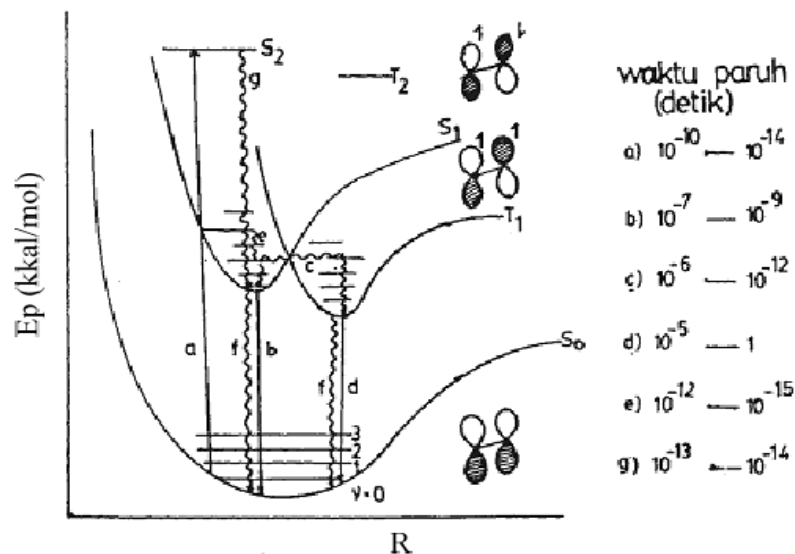
Ketika suatu molekul yang berada pada keadaan dasar pindah ke keadaan tereksitasi, maka molekul tersebut akan menyerap energi (absorpsi). Eksitasi ini dapat ditimbulkan oleh absorpsi gelombang elektromagnetik, absorpsi thermal atau reaksi kimia seperti reaksi bioluminisensi. Proses absorpsi untuk berbagai peristiwa terjadi dalam waktu sekitar 10^{-18} detik atau kurang. Dalam selang waktu tersebut, atom tidak mengalami gerakan. Kenyataan ini merupakan dasar prinsip Frank-Condon yang menyatakan bahwa molekul-molekul umumnya memasuki keadaan tereksitasi setelah adanya penyerapan elektronik.

Molekul organik mempunyai tingkat dasar tunggal (singlet), kecuali radikal-radikal bebas yang dinyatakan dengan S, keadaan tunggal tereksitasi yang dinyatakan sebagai S_1 , S_2 dan seterusnya berdasarkan tingkat kenaikan energi dan keadaan triganda (triplet) yang dinyatakan dengan T_1 , T_2 dan seterusnya. Biasanya molekul organik yang telah menyerap energi cenderung menempati keadaan tereksitasi singlet daripada keadaan triplet karena peralihan $S_0 \rightarrow T_1$. Hal ini menyangkut perubahan kelipat gandaan spin yang terlarang keras.

Adanya dua keadaan singlet dan triplet yang disebabkan elektron-elektron yang berpasangan pada keadaan dasar S_0 yakni sepasang untuk tiap orbital. Pada saat tereksitasi, salah satu elektron pindah kepada orbital yang mempunyai energi yang lebih tinggi. Kedua spin pada salah satu elektron dalam keadaan tereksitasi dapat sama yakni keduanya $+1/2$ atau $-1/2$, atau kedua elektron itu mempunyai spin yang berlawanan yakni $+1/2$ dan $-1/2$.

Kelipatgandaan suatu keadaan adalah sama dengan $2|S| + 1$ dimana S adalah jumlah bilangan spin, baik $+1/2$ maupun $-1/2$. Bila kedua elektron mempunyai spin yang sama maka $S = 1$ dan $2|S| + 1 = 3$ sehingga diperoleh keadaan triplet. Bila elektron-elektron mempunyai spin berlawanan maka $S = 0$ dan $2|S| + 1 = 1$ sehingga diperoleh keadaan singlet.

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 seperti pada diagram Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Jablonski untuk Molekul.

D. Bioluminesensi

Bioluminesensi adalah emisi cahaya yang dihasilkan oleh makhluk hidup karena adanya reaksi kimia tertentu diubah dalam bentuk pancaran cahaya.

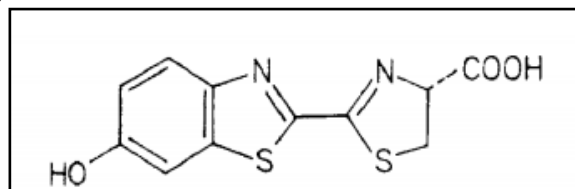
Pada proses bioluminisensi diperlukan tiga komponen utama, yaitu sebuah molekul organik yang disebut sebagai senyawa luciferin, sumber oksigen (molekul O_2 atau hidrogen peroksida H_2O_2) dan enzim untuk mengkatalis reaksi yang disebut luciferase. Ketiga komponen ini membentuk suatu hubungan yang kompleks yang disebut fotoprotein.

Kata luciferin berasal dari bahasa latin yaitu *lucifer*. Secara harfiah *lucifer* berarti “penghasil cahaya”. Semua organisme bioluminisensi memiliki senyawa luciferin yang berbeda-beda pada masing hewan. Berdasarkan tempat luciferin ditemukan, maka luciferin dapat dikelompokkan dalam lima kelompok yaitu *Bacterial luciferin*, *Coelenterazine luciferin*, *Dinoflagellata luciferin*, *Vergulin luciferin* dan *Firefly luciferin*.

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 (Babu dan Kanan, 2002). Enzim merupakan senyawa penting dalam proses biokimia didalam tubuh. Enzim disebut juga biokatalis, sebab berfungsi sebagai katalis pada reaksi-reaksi biokimia didalam tubuh makhluk hidup. Enzim tersusun dari beberapa senyawa yang terdiri atas *apoenzim* dan *kofaktor*. Apoenzim ini merupakan senyawa protein, sedangkan kofaktor merupakan senyawa nonprotein dan kofaktor juga merupakan senyawa organik yang disebut koenzim, misalnya ion-ion logam (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mg^{2+}) dan vitamin. Enzim tidak mempunyai keaktifan enzimatis apabila tidak bersama kofaktor atau koenzim (Unggul, 2006).

Enzim juga merupakan sebuah katalis yang khas. Beberapa sifat enzim yang berkaitan dengan bentuk dan cara kerja enzim adalah: pertama enzim bekerja pada lingkungan yang baik bila syarat-syarat berikut terpenuhi, antara lain: ada koenzim atau kofaktor yang mendukung, enzim bekerja pada suhu optimum (bila suhu terlalu tinggi ada kemungkinan enzim akan rusak), dan enzim dapat bekerja dengan baik pada pH lingkungan optimum. Kedua enzim ini dapat dihambat apabila terdapat senyawa yang mirip substrat atau senyawa lain yang mirip enzim, dan ketiga adalah kerja enzim dipengaruhi konsentrasi substrat. (Unggul, 2006).

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. Perbedaan foton pada pasangan luciferin-luciferase ditinjau dari perbedaan panjang gelombang dan penghasil cahaya dengan perbedaan warna (Li, 2009). Struktur kimia *Firefly* luciferin yang terdiri dari H_2O , *Sulfur* dan *Nitrogen* seperti yang terlihat pada Gambar 4.



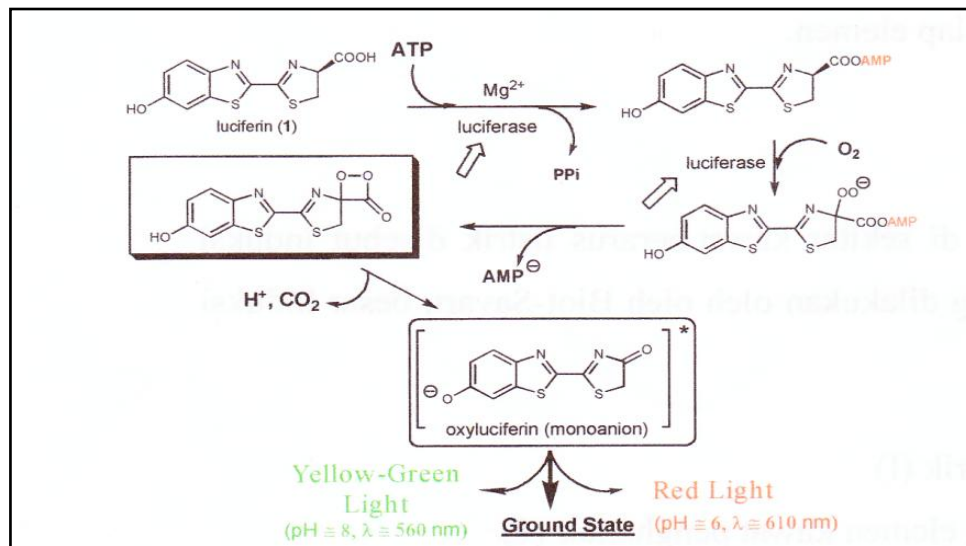
Gambar 4. Struktur Kimia *Luciferin. Firefly luciferin.*
(Maki, 2006).

Setiap jenis luciferin memiliki struktur kimia yang berbeda dan memancarkan cahaya tampak dengan panjang gelombang yang berbeda, sehingga perbedaan luciferin menyebabkan perbedaan warna dari cahaya yang

dipancarkan oleh setiap jenis organisme bioluminisensi. *Firefly* luciferin ditemukan pada spesies kunang-kunang atau Lampyridae.

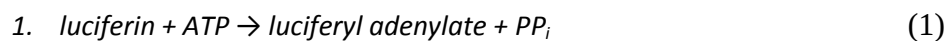
Kerlipan cahaya kunang-kunang merupakan hasil reaksi kimia yang melibatkan zat kimia bernama luciferin yang dihasilkan sel-sel penghasil cahaya. Melalui serangkaian tahapan reaksi kimia, luciferin dengan bantuan enzim luciferase dan beberapa zat tertentu bereaksi membentuk sejumlah zat kimia yang dibutuhkan oleh organisme tersebut dan cahaya ($h\nu$). Cahaya yang dihasilkan memiliki panjang gelombang antara 510 sampai 670 nanometer dengan warna pucat kekuningan sampai hijau kemerahan.

Tahapan reaksi bioluminisensi *firefly* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tahapan Reaksi Bioluminisensi *Firefly*.
(Maki, 2006).

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





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 $h\nu$. $h\nu$ 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. Bioluminisensi pada serangga ini tidak akan mengalami panas seperti hal yang terjadi pada lampu listrik buatan manusia yang hanya 10% dari energi yang dihasilkan yang dimanfaatkan untuk menghasilkan energi cahaya, sedangkan 90% dari energi yang dihasilkan dikeluarkan sebagai energi panas. Reaksi diatas mempunyai efisiensi energi sangat ekstrim dan kunang-kunang hampir tidak menghasilkan energi panas. Hal ini sangat bagus bagi kunang-kunang, karena dengan hal tersebut kunang tidak dapat bertahan hidup pada kenaikan suhu yang drastis (Johana, 2009).

E. Cahaya Kunang-kunang

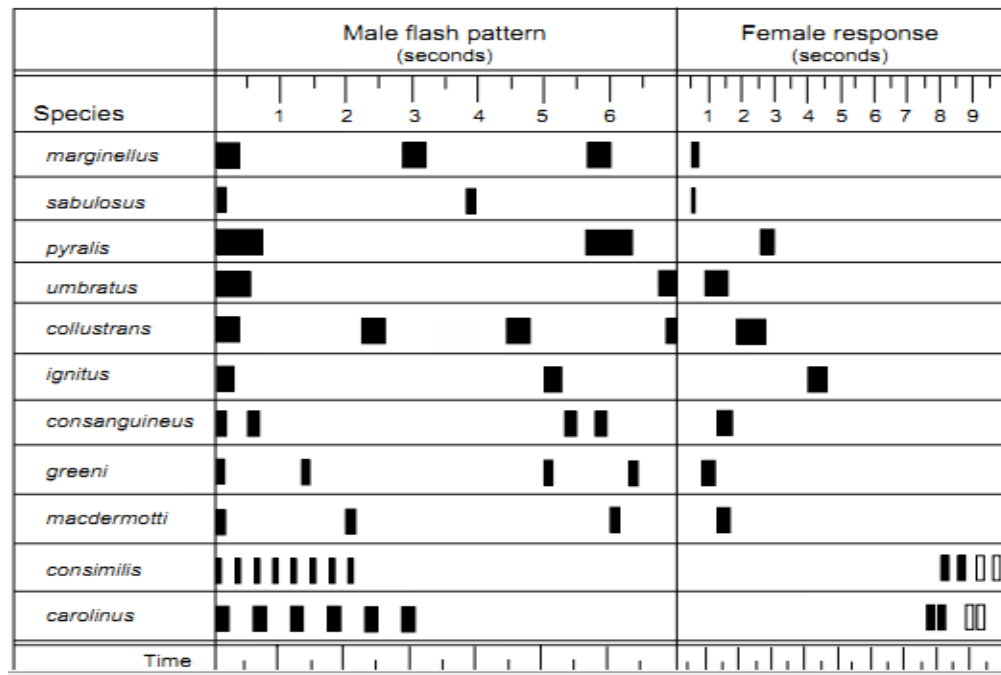
Cahaya kunang-kunang dihasilkan oleh organ penghasil cahaya, yaitu sisi bawah ruas khusus yang terletak pada bagian ujung perut. Organ cahaya umumnya berwarna kuning cerah dengan jumlah satu atau beberapa ruas. Pembentukan cahaya kunang-kunang melibatkan zat luciferin dan enzim

luciferase yang dihasilkan oleh sel-sel yang menyusun organ cahaya. Cahaya kunang-kunang mungkin kuning kehijauan, hijau kebiruan atau merah jingga (tergantung jenisnya) dengan kekuatan sekitar 1/40 kandela.

Setiap spesies kunang-kunang mempunyai pola kerlap-kerlip yang khas dalam hal waktu nyala cahaya, jarak antar kerlip, jumlah kerlap-kerlip dalam satu kali rangkaian nyala cahaya, dan warna cahaya. Namun pada jenis *Photinus pyralis* betina, kedipan cahaya terjadi setiap selang 2 detik sedangkan pada yang jantan setiap 5 detik. Kerlap-kerlip (Sistem on-off) pada kunang-kunang diatur oleh senyawa *Nitrium Oksida (NO)* yang berfungsi sebagai saklar. *Luciferase* menghasilkan cahaya dengan cara mengoksidasi luciferin dan pada umumnya bersifat ATP-dependent.

Cahaya kunang-kunang betina dengan cahaya kunang-kunang jantan yang sangat berbeda ini terlihat dari pancaran sinar yang dihasilkan antara kunang betina pada saat kunang-kunang jantan memberi sinyal pada kunang-kunang betina. Hal ini terlihat pada Tabel 3 yang telah dicobakan pada beberapa kunang-kunang. Pada Tabel 3 cahaya kunang-kunang jantan lebih sering memancarkan cahaya daripada kunang-kunang betina.

Tabel 3. Perbedaan cahaya kunang-kunang jantan dan kunang betina dilihat dari sinyal yang dihasilkan.



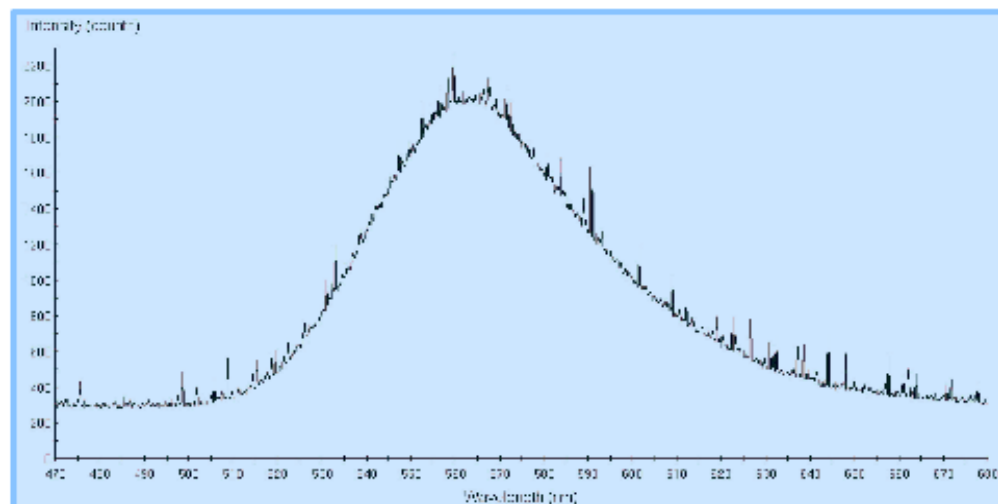
(Sara: Cristopher: Kristian, 2004)

Perbedaan jenis spesies menyebabkan perbedaan warna cahaya yang dipancarkan oleh setiap spesies. Pada spesies kunang-kunang, warna cahaya yang dipancarkan berkisar antara 530 nm hingga 590 nm. Perbedaan spesies kunang-kunang menghasilkan perbedaan pancaran warna bioluminisensi, mulai dari hijau samapai kuning terang. Pengukuran spektrum emisi pada intensitas maksimum menghasilkan panjang gelombang puncak, seperti pengukuran spektrum emisi secara *in vivo* yang dilakukan pada 20 spesies kunang-kunang, 16 spesies di Jamaika dan 4 spesies asli Amerika. Hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesies dari beberapa kunang-kunang dan panjang gelombang pada Intensitas maksimum (puncak panjang gelombang).

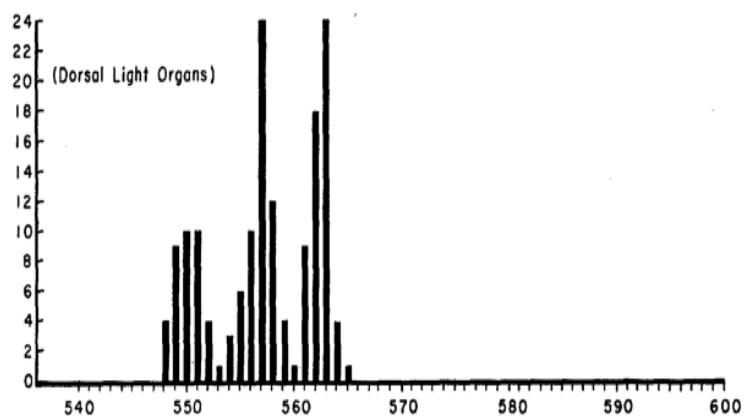
Spesies	Puncak gelombang
<i>Photuris pennsylvanica</i>	552,4 nm
<i>Phyrophorus plagiophthalmus (dorsal organ)</i>	543 nm
<i>Diphotus sp.</i>	555 nm
<i>Photuris jamaicensis</i>	555 nm
<i>Photinus pardalus</i>	560 nm
<i>Photinus pyralis</i>	562,1 nm
<i>Photinus commissus</i>	564 nm
<i>Photinus marginelus</i>	564,6 nm
<i>Photinus pallens</i>	565 nm
<i>Photinus xanthoptus</i>	567 nm
<i>Photinus leocopyge</i>	569 nm
<i>Leoconica sp</i>	570 nm
<i>Photinus lobatus</i>	570 nm
<i>Photinus evanescens</i>	570 nm
<i>Photinus melanurus</i>	570 nm
<i>Photinus nothus</i>	570 nm
<i>Photinus (new species)</i>	570 nm
<i>Photinus marbosus-ceratus</i>	571 nm
<i>Photinus acintillans</i>	575,1 nm
<i>Phyphorus plagiophthalmus (ventral organ)</i>	582 nm

(Seliger dan McElroy, 1964)



Gambar 6. Spektrum emisi dari Kunang-kunang *Luciola praeusta* . Panjang gelombang mencapai puncak tampak pada 562 nm dan lebar semi punya satu nilai dari 55 nm. (Johain dkk, 2009).

Spektrum emisi dari kunang-kunang *Luciola praeust* panjang gelombang mencapai puncak tampak pada 562 nm dan lebar semi punya satu nilai dari 55 nm. Pada Gambar 6 menunjukkan hasil spektrum emisi kunang-kunang *Luciola praeusta* yang diuji secara *in vivo*. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa kunang-kunang *Luciola praeusta* mempunyai panjang gelombang optimum pada 562 nm.



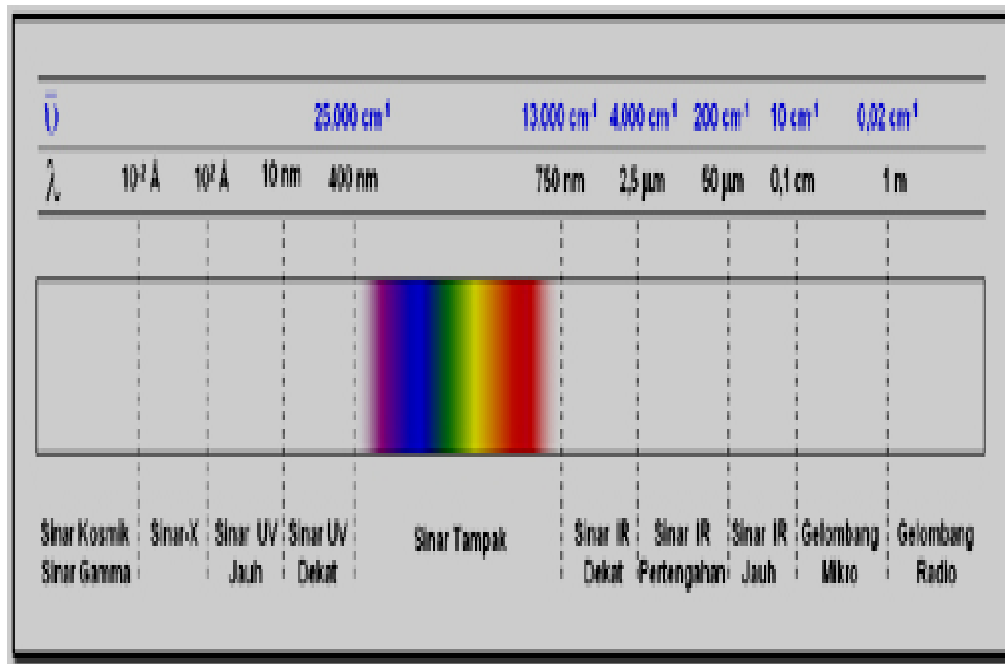
Gambar 7. Grafik Puncak gelombang emisi pada 155 pada organ punggung cahaya yang bercahaya dan 35 Organ punggung yang bercahaya dari kunang-kunang *Pyrophorus plagiophthalmus*.

Penggunaan luciferase sebagai *reporter gen* memiliki keunggulan di antaranya luciferin (substrat) yang dipakai bersifat *water soluble* (larut dalam air) sehingga dapat dengan mudah masuk ke dalam sel. Selain itu, luciferase bisa melangsungkan reaksinya di dalam sel hidup karena produk reaksinya tidak bersifat *toxic* (beracun) bagi makhluk hidup. Akan tetapi, meskipun kunang-kunang menghasilkan cahaya hampir 20 kali lebih besar dari bola lampu, suhu kunang-kunang tidak naik karena cahaya mereka bersifat dingin. Manusia hanya mampu membuat cahaya dingin di laboratorium setelah melakukan serangkaian reaksi kimia.

Kunang-kunang dapat mengendalikan sepenuhnya pencahayaan, ia dapat menghidupkan atau mematikan cahaya kapanpun ia mau. Sifat pancaran cahaya tersebut berbeda-beda sesuai keadaan, sehingga kedipan cahaya tertentu menandakan bahaya sedangkan kedipan lain merupakan upaya menarik perhatian lawan jenis. Cahaya kunang-kunang berperan pula sebagai tanda peringatan, untuk memperingatkan antar-sesama jenisnya tentang ancaman bahaya, maupun peringatan bagi serangga dan burung pemangsa agar tidak memakannya. Sebab, zat pemicu pembentukan cahaya kunang-kunang berasa pahit. Kalaupun ada serangga pemangsa yang nekad, mereka biasanya memakan tubuh kunang-kunang dari bagian kepala, terus hingga ke bagian belakang, kecuali bagian perut yang tidak dimakannya.

F. Cahaya

Cahaya merupakan salah satu contoh radiasi gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang dalam perambatannya tidak memerlukan medium. Contoh lain dari gelombang elektromagnetik yaitu gelombang radio, gelombang mikro, sinar inframerah, sinar ultraviolet, sinar-x, dan sinar gamma. Pembagian gelombang elektromagnetik berdasarkan perbedaan panjang gelombang dan perbedaan frekuensinya yang dapat disusun dalam bentuk spektrum. Gambar 8 dan Tabel 5 memperlihatkan spektrum gelombang elektromagnetik dan rentangan panjang gelombang dan frekwensi untuk masing-masing gelombang elektromagnetik.



Gambar 8. Spektrum Gelombang Elektromagnetik (Giwankara, 2007).

Tabel 5. Panjang dan Frekuensi Gelombang Elektromagnetik

Gelombang Elektromagnetik	Panjang Gelombang (nm)	Frekuensi (Hz)
Sinar – γ	Kecil dari 0,1	Diatas $3 \cdot 10^{20}$
Sinar – X	$1 \cdot 10^{-3} - 10$	$3 \cdot 10^{20} - 3 \cdot 10^{16}$
Ultra Ungu	10 – 400	$3 \cdot 10^{16} - 7,5 \cdot 10^{14}$
Cahaya tampak	400 – 750	$7,5 \cdot 10^{14} - 4 \cdot 10^{14}$
Inframerah Dekat	$7,5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{11}$
Gelombang MIkro	$1 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^8$
Gelombang Radio	$1 \cdot 10^9 - 1 \cdot 10^{12}$	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^5$

(Giwankara, 2007).

Dari Gambar 8 dan Tabel 5 dinyatakan panjang gelombang cahaya tampak berkisar dari panjang gelombang 400 nm hingga 750 nm. Cahaya

tampak dengan panjang gelombang yang berbeda memiliki warna yang berbeda. Spektrum dari cahaya tampak dapat dilihat pada Tabel 6 .

Tabel 6. Panjang Gelombang dan Frekuensi Cahaya Tampak

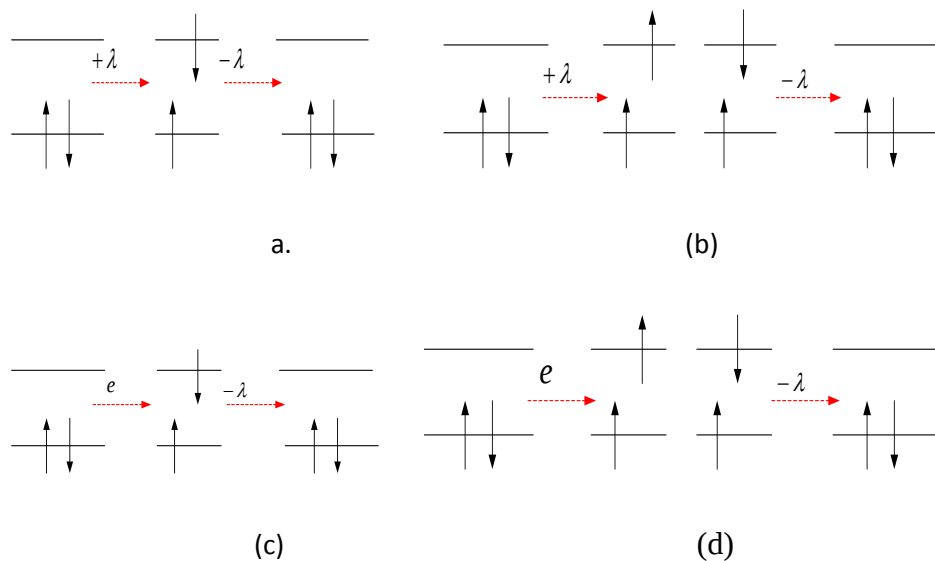
Cahaya Tampak	Panjang Gelombang (nm)	Frekuensi Gelombang
Ungu	400-450	$7,5 \cdot 10^{14} - 6,7 \cdot 10^{14}$
Biru	450-495	$6,7 \cdot 10^{14} - 6 \cdot 10^{14}$
Hijau	495-570	$6 \cdot 10^{14} - 5,3 \cdot 10^{14}$
Kuning	570-590	$5,3 \cdot 10^{14} - 5,1 \cdot 10^{14}$
Jingga	590-620	$5,1 \cdot 10^{14}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

(Young , 2001)

Cahaya adalah energi berbentuk gelombang elektromagnetik yang kasat mata dengan panjang gelombang sekitar 380–750 nm. Pada bidang fisika, cahaya adalah radiasi elektromagnetik, baik dengan panjang gelombang kasat mata maupun yang tidak. Cahaya adalah paket partikel yang disebut foton. Kedua definisi di atas adalah sifat yang ditunjukkan cahaya secara bersamaan sehingga disebut "dualisme gelombang-partikel".

G. Proses Fisis Bioluminisensi

Proses fisis pada bioluminisensi digambarkan pada Gambar 9. Pada Gambar 9 ada kemungkinan pertama yaitu diagram yang ditunjukkan dengan huruf “a” pada Gambar 9. Pada keadaan ini terjadi selisih energi antara dua keadaan yang melakukan absorpsi energi. Bila molekul mengabsorpsi energi hanya pada panjang gelombang tunggal maka spektrum akan terdiri dari garis-garis tunggal seperti pada spektrum emisi atom-atom. Biasanya molekul-molekul tidak hanya memiliki energi elektronik E_T tetapi juga energi vibrasi E_V dan energi rotasi E_R . Setiap peralihan elektronik akan memberikan banyak garis (pita) dan jumlah energi yang dipindahkan sebanding dengan jumlah irisan semua garis tersebut.



Gambar 9. Konfigurasi Elektron (a) pada Fluoresensi (b) pada Fosforesensi (c) pada Bioluminisensi Langsung (d) pada Bioluminisensi Tak Langsung

Kemungkinan yang kedua digambarkan oleh huruf “b” pada Gambar 10. Pada keadaan ini terjadi emisi radiasi yang menghasilkan peralihan molekul dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar tanpa mengalami perubahan dalam kelipatgandaan yang disebut dengan fluoresensi. Berdasarkan konfigurasi elektron, keadaan fluoresensi dapat dilukiskan oleh Gambar 9 (a). Fluoresensi terjadi khas dengan waktu paruh sekitar 10^{-9} sampai dengan 10^{-7} detik. Karena itu fluoresensi praktis selalu terjadi dari keadaan tereksitasi terendah kelipatgandaan singlet sebab inilah satu-satunya kelipatgandaan dengan waktu paruh yang lebih lama daripada waktu yang diperlukan untuk berbagai tumbukan. Konfigurasi elektron yang terjadi pada fluoresensi mirip dengan konfigurasi elektron pada bioluminisensi langsung, seperti yang terlihat pada Gambar 9 (c).

Kemungkinan yang ketiga yaitu keadaan yang ditandai dengan huruf “c” pada Gambar 9. Pada keadaan ini proses transisi yang terlarang yang disebut dengan persilangan antar sistem yang menyangkut perubahan spin. Proses ini terjadi melalui kopling orbit spin dalam hal ini keadaan dengan momen sudut spin yang berbeda dan momen sudut orbital yang sedikit bercampur, karena mempunyai momen sudut total yang sama. Berdasarkan konfigurasi elektron, keadaan ini dilukiskan pada Gambar 9(b).

Kemungkinan keempat dilukiskan oleh grafik yang ditandai oleh huruf “d” pada Gambar 9. Pada keadaan ini terjadi persilangan antar sistem dari singlet tereksitasi terendah ke triplet terendah. Keadaan ini merupakan keadaan fotokimia yang penting, karena keadaan ini memiliki waktu hidup yang

panjang. Kehilangan energi yang terjadi akibat dari proses perpindahan triplet tereksitasi ke keadaan dasar disebut dengan fosforesensi. Berdasarkan konfigurasi elektron, keadaan fosforesensi, dapat dilukiskan seperti Gambar 9 (b) Spektrum fosforesensi timbul pada panjang gelombang yang lebih besar dari pada spektrum fluoresensi. Konfigurasi elektron yang terjadi pada fosforesensi mirip dengan konfigurasi elektron pada bioluminisensi tak langsung, seperti yang terlihat pada Gambar 9 (d).

Reaksi bioluminisensi terjadi ketika sebagian besar energi kimia yang eksoterm ΔH diubah menjadi energi eksitasi elektronik ΔH^* yang meluruh ke keadaan dasar yang disertai dengan pancaran cahaya tampak ($h\nu$). Dalam konfigurasi elektron bioluminisensi dapat dilukiskan seperti Gambar 9(c). Reaksi bioluminisensi dapat ditulis dalam bentuk: (Ratnawulan, 2008)



Dari persamaan (3) reaksi bioluminisensi dapat dibagi kedalam dua langkah utama yaitu

a. Langkah Kemi eksitasi

Langkah kemi eksitasi merupakan proses pembentukan eksitasi. Langkah kemi eksitasi menghasilkan molekul tereksitasi. Langkah kemi eksitasi 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. 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.

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, seperti yang tergambar pada konfigurasi elektron pada Gambar 9(c). Dari persamaan diatas A dan B merupakan reaktan dan C* merupakan produk tereksitasi. Proses energi pada kemiluminesensi langsung dapat dilihat pada Gambar 10. 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 kemiluminesensi dapat terjadi jika $\Delta H_A^* < \Delta H_A$, karena pada proses kemiluminesensi menyaratkan energi yang terlibat harus eksotermik maka reaksi terbatas hanya pada reaksi redoks yang menggunakan oksigen dan hidrogen peroksida atau oksidan potensial lainnya.

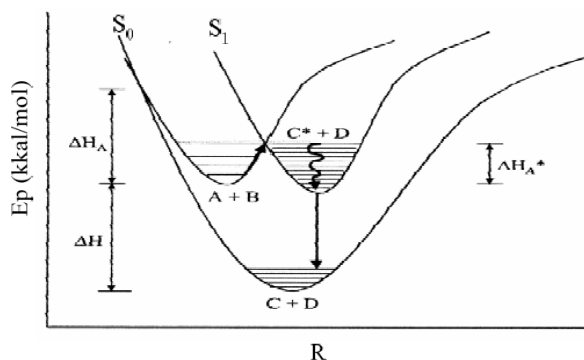
b. Reaksi tidak langsung

Persamaan untuk reaksi tidak langsung yaitu:



Reaksi kemiluminesensi tidak langsung terjadi pada bioluminesensi tidak langsung. Berdasarkan transfer energi dari molekul tereksitasi ke molekul lain untuk memancarkan cahaya. Dalam persamaan (8), intermediat keadaan eksitasi dibentuk oleh reaksi kimia. Selanjutnya energi kimia dalam intermediat kemudian ditransfer untuk mengeksitasi molekul lain F sesuai

persamaan (9). Akhirnya kemiluminisensi terjadi ketika molekul tereksitasi mengalami relaksasi kembali ke keadaan dasar dengan memancarkan cahaya.



Gambar 10. Proses Energi pada Reaksi Kemiluminisensi atau Bioluminisensi untuk Reaksi $A + B \rightarrow C^* + D \rightarrow C + h\nu$

H. Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah pengukuran panjang gelombang dan intensitas sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Sinar ultraviolet dan cahaya tampak memiliki energi yang cukup untuk mempromosikan elektron pada kulit terluar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Berkas radiasi dikenakan pada cuplikan dan intensitas radiasi yang ditransmisikan diukur. Radiasi yang diserap oleh cuplikan ditentukan dengan membandingkan intensitas dari berkas radiasi yang ditransmisikan bila spesies penyerap tidak ada dengan intensitas yang ditransmisikan bila spesies penyerap ada.



Gambar 11. Spektrofotometer Uv- Vis

Kekuatan radiasi dari berkas cahaya sebanding dengan jumlah foton per detik yang melalui satu satuan luas penampang. Jika foton yang mengenai cuplikan tenaga yang sama dengan yang dibutuhkan untuk menyebabkan terjadinya perubahan tenaga, maka serapan dapat terjadi.

Absorbansi merupakan banyaknya cahaya atau energi yang diserap oleh partikel-partikel dalam larutan, sedangkan transmitansi merupakan bagian dari cahaya yang diteruskan melalui larutan. Hubungan absorbansi dengan transmitansi dapat dinyatakan sebagai berikut:

Transmitansi:

$$T: I/I_0 \quad (11)$$

Dimana : I adalah Intensitas cahaya setelah melewati sampel

I_0 adalah Intensitas cahaya awal

Hubungan Absorpsi dengan %T:

$$A = -\log T = -\log \frac{I}{I_0} \quad (12)$$

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-A} \quad (13)$$

$$\%T = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (14)$$

$$A = -\log T = \log\left(\frac{1}{T}\right) \quad (15)$$

Absorbansi terjadi pada saat foton masuk bertumbukan langsung dengan atom-atom material dan menyerahkan energinya pada elektron atom. Foton mengalami perlambatan dan akhirnya berhenti, sehingga pancaran sinar yang keluar dari material berkurang dibanding saat masuk ke material. Absorbansi dari energi cahaya dapat menyebabkan elektron tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi apabila energi yang diabsorpsi tersebut lebih besar dari tingkat energi elektron tersebut. Absorbansi merupakan logaritma kebalikan dari transmitansi.

I. Karakteristik Fisis dari Pemancaran Cahaya Kunang-kunang Terbang

a. Panjang Gelombang pada Intensitas Maksimum

Intensitas gelombang elektromagnetik merupakan laju rata-rata energi yang dipindahkan melalui gelombang elektromagnetik setiap satuan waktu. Secara umum persamaan intensitas dapat ditulis dalam bentuk (Ratnawulan, 2008):

$$I = -\frac{d(E_x)}{dt} = k(E_x) \quad (16)$$

dan

$$\frac{dI}{dt} = -kI \quad (17)$$

Dengan mendifferensialkan persamaan (17) akan diperoleh persamaan:

$$I = I_0 e^{-kt} \quad (18)$$

b. Konstanta Peluruhan

Konstanta peluruhan adalah konstanta yang menyatakan cahaya meluruh sampai cahaya habis. Persamaan (18) dapat juga dinyatakan dalam bentuk persamaan (19), sehingga dapat dicari konstanta peluruhan:

$$\log I = \log I_0 - \frac{k}{2,303} t \quad (19)$$

dengan I_0 adalah intensitas awal cahaya

I adalah intensitas akhir cahaya

k adalah konstanta peluruhan

t adalah waktu peluruhan

c. Jumlah Foton

Cahaya adalah bentuk dari radiasi elektromagnetik, seperti radio atau microwaves. Beberapa aspek dari cahaya, seperti frekuensi (warna) yang berdasarkan panjang gelombangnya. Cahaya dapat juga dianggap sebagai aliran dari partikel yang disebut foton, yang masing –masing mengisi energi. Konsep ini disebut teori kuantum. Ada dua dua cara menyatakan berapa banyak cahaya yang dipancarkan. Pertama

berdasarkan energi (dalam satuan watt, joule, atau kalori), dan yang kedua berdasarkan jumlah foton. Contohnya, panjang gelombang cahaya yang berwarna hijau kurang dari 1.000.000 inch dan energi dari satu foton cahaya berwarna hijau sama dengan 1000.000.000.000.000 kalori. Jadi kesimpulanya foton itu adalah partikel, atau foton adalah partikel energi dan foton ini berbeda pada partikel dalam sel seperti dalam molekul (Li, 1999). Energi foton ini dapat dihitung dengan menggunakan

rumus :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (20)$$

Dimana : E adalah energi

H adalah konstanta planck (6.63×10^{-34} Js)

λ adalah panjang gelombang

d. Quantum Yield

Quantum yield didefinisikan sebagai jumlah quanta yang dipancarkan permolekul substrat atau jumlah foton yang dipancarkan per molekul reaksi. Jumlah quanta total yang dipancarkan (N) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$N = cq = \int_0^{\infty} I dt \quad (21)$$

Dimana q adalah *quantum yield* dan c adalah jumlah molekul dari intermediat yang terbentuk dalam reaksi. Dimana dengan mensubsitusikan rumus dari

$$\log I = -k/2,03t + \log I_0 \quad (22)$$

Maka didapatkan

$$cq = I_0/k \quad (23)$$

Perhitungan nilai *quantum yield* relatif menggunakan konstanta peluruhan (k). Dimana (k) konstanta peluruhan bergantung pada temperatur sesuai dengan persamaan Arrhenius yaitu;

$$A = Ae^{-E_a/RgT} \quad (24)$$

e. Energi Aktivasi

Energi aktivasi adalah sejumlah energi minimum yang diperlukan oleh suatu zat untuk dapat bereaksi hingga terbentuk zat baru. Reaksi kimia dapat berlangsung endoterm maupun eksoterm. Reaksi endoterm spontan, apabila energi yang diperlukan cukup diambil dari lingkungan saja. Namun banyak reaksi yang harus dipanaskan agar dapat bereaksi. Semua reaksi pembakaran eksoterm, namun memerlukan energi ambang untuk memulai reaksi, karena tak cukup hanya mengambil dari lingkungan saja. Semua energi untuk bereaksi ini adalah energi aktivasi. Setiap zat memiliki sejumlah energi dalam, yaitu energi potensial. Energi ini terdapat pada setiap benda yang diam. Benda yang diam, tanpa kelihatan adanya gerakan, di dalamnya terdiri atas partikel-partikel yang sangat kecil, dinamakan atom. Setiap atom ini terdapat elektron yang terus bergerak tanpa henti, mengelilingi intinya. Setiap zat yang tampak diam, di dalamnya selalu ada gerakan dan gerakan

ini memerlukan energi. Setiap saat sejumlah energi potensialnya dapat berubah menjadi energi kinetik.

Salah satu aspek yang paling menarik untuk diteliti pada pancaran cahaya kunang-kunang adalah keaslian dari aneka warna bioluminisensi. Meskipun terdapat kesamaan struktur produk-substrat diantara semua jenis serangga bioluminisensi. Energi yang dihasilkan pada pancaran cahaya dari 6 buah kunang-kunang di Amerika selatan yaitu *Luciola cruciata*, *Luciola laterali*, *Luciola mingrelica*, *Phrixotrix hirtus*, *Lampyris noctiluca*, dan *Lampyris turkestanicus* ini dari 2.00 eV sampai 2.34 eV (Luis dan Joaquim, 2011).

$$E_a = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \frac{1}{1,6 \frac{10^{-19} j}{eV}} \quad (25)$$

Hasil–hasil penelitian tentang karakteristik fisis kunang-kunang seperti: panjang gelombang (λ_{emisi}), konstanta peluruhan (k), quantum yield (q) dan jumlah foton (N) dari pemancaran cahaya pada beberapa kunang-kunang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Karakteristik fisis pemancaran cahaya pada beberapa kunang-kunang.

Kunang-kunang	λ_{emisi} (nm)	K	Q	N (quanta/detik)	Ea (eV)
Kunang-kunang (Li. 1999)	560	-	0,88	-	2,219
Kunang-kunang <i>Photinus pyralis</i> (Norman dan Theodore . 1999)	562	-	0,8822	-	2,211
Kunang-kunang (Ludov. 2009)	-	-	0,9	-	-
Kunang-kunang merayap (Rahma. 2010)	540	0,0023	0,3	$7,04 \times 10^{11}$.	2,302

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa

1. Intensitas maksimum dari kunang-kunang terbang pada panjang gelombang 540 nm. Hal ini berarti kunang-kunang terbang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 540 nm. Panjang gelombang 540 nm tergolong pada panjang gelombang cahaya tampak yang dipancarkan oleh kunang-kunang terbang *Pteroptyx tener* dengan warna kunig kehijauaun. Panjang gelombang yang diperoleh sesuai dengan teori yaitu panjang gelombang pada spesies *firefly* berkisar antara 440 nm hingga 640 nm. Nilai panjang gelombang cahaya yang di pancarkan oleh kunang-kunang terbang memiliki panjang gelombang paling rendah dibandingkan panjang gelombang yang dipancarkan spesies *firefly* pada Tabel 2.
2. Konstanta peluruhan dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang *Pteroptyx tener* adalah 0,0046.
3. Nilai *quantum yield* dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang *Pteroptyx tener* adalah 0,568.
4. Foton yang dipancarkan oleh kunang-kunang terbang *Pteroptyx tener* yaitu $9,93209 \times 10^{11}$ quanta/detik.
5. Energi aktivasi yang dihasilkan pada pancaran cahaya kunang-kunang terbang *Pteroptyx tener* adalah 2,302 eV.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang peneliti lakukan, peneliti menemukan beberapa kekurangan yang diperbaiki oleh peneliti berikutnya yaitu;

1. Usahakan penelitian selanjutnya mengidentifikasi luciferin dari kunang-kunang dengan menggunakan ATP murni, NaOH, dan methanol sebagai pelarut.
2. Memberikan pengaruh kepada kunang-kunang terbang, seperti memberikan pengaruh perubahan pH dan menghitung energi kinetik dari cahaya kunang-kunang terbang.