

**KARAKTERISTIK FISI BIOLUMINISENSI JAMUR
(*Mycena noctilucens*) DARI LUBUK LABU
DHAMASRAYA, SUMATERA BARAT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains



**FAJMI MARLINA ZAHRA
NIM. 15034046/2015**

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

PERSETUJUAN SKRIPSI

**KARAKTERISTIK FISIS BIOLUMINISENSI JAMUR
(*Mycena noctilucens*) DARI LUBUAK LABU,
DHAMASRAYA, SUMATERA BARAT**

Nama : Fajmi Marlina Zahra
NIM : 15034046
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2019

Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika


Dr. Ratnawulan, M.Si.
NIP. 196901201993032002

Disetujui Oleh :
Pembimbing


Dr. Ratnawulan, M.Si.
NIP. 196901201993032002

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

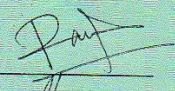
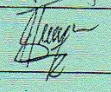
Nama : Fajmi Marlina Zahra
NIM : 15034046
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

KARAKTERISTIK FISIS BIOLUMINISENSI JAMUR (*Mycena noctilucens*) DARI LUBUAK LABU, DHAMASRAYA, SUMATERA BARAT

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

Padang, Agustus 2019

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Dr. Ratnawulan, M.Si	
Anggota	: Dr. Ramli, M.Si	
Anggota	: Dr. Desnita, M.Si	

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Karakteristik Fisis Bioluminisensi Jamur (*Mycena noctilucens*) Dari Lubuak Labu, Dhamasraya, Sumatera Barat” adalah asli dari karya saya sendiri;
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing;
3. Didalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada perpustakaan;
4. Pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, Agustus 2019
saya membuat pernyataan



rajmi Marlina Zahra
Nim: 15034046

Karakteristik Fisis Bioluminisensi Jamur (*Mycena noctilucens*) Dari Lubuak Labu, Dhamasraya, Sumatera Barat

Fajmi Marlina Zahra

ABSTRAK

Salah satu jenis organisme bioluminisensi adalah jamur bercahaya. Jamur bercahaya dengan spesies *Mycena noctilucens* ditemukan di Daerah Lubuak Labu, Dhamasraya, Sumatera Barat. Informasi mengenai karakteristik fisis bioluminisensi jamur spesies tersebut belum diketahui. Informasi tentang karakteristik fisis bioluminisensi pada jamur ini penting diketahui untuk di aplikasikan di berbagai bidang. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisis bioluminisensi, yang meliputi panjang gelombang cahaya yang dipancarkan pada Intensitas maksimum, konstanta peluruhan, nilai quantum yield, jumlah foton yang dipancarkan tiap variasi waktu dan energi aktivasi.

Penelitian ini berjenis penelitian deskriptif yaitu memberikan informasi karakteristik fisis bioluminisensi jamur bercahaya dengan melakukan isolasi pada jamur bercahaya tersebut. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material dan Biofisika dan Laboratorium Genetika FMIPA UNP. Alat ukur yang digunakan untuk memperoleh data pada penelitian ini adalah Nanofotometer. Sampel jamur bercahaya yang diukur diambil dari Daerah Lubuak Labu, Dhamasraya, Sumatera Barat.

Dari hasil pengukuran diperoleh nilai panjang gelombang pada intensitas relatif maksimum adalah 510 nm. Pada panjang gelombang 510 nm dihasilkan cahaya tampak dengan warna hijau. Hasil tersebut sesuai dengan pengamatan, karena cahaya yang dipancarkan oleh jamur bercahaya tersebut berwarna hijau. Konstanta peluruhan yang dihasilkan dari jamur bercahaya diperoleh adalah 0,0048/detik. Jumlah foton yang dipancarkan tiap variasi waktu oleh jamur bercahaya (*Mycena noctilucens*) sebesar 9,0528 quanta/detik, quantum yield yang dihasilkan yaitu 0,51791 dan energi aktivasi yang dihasilkan adalah 2,4375 eV

Kata Kunci: Bioluminisensi, jamur bercahaya, panjang gelombang, konstanta peluruhan, jumlah foton, *quantum yield* dan energi aktivasi.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Karakteristik Fisis Bioluminisensi Jamur (*Mycena noctilucens*) dari Lubuak Labu, Dhamasraya, Sumatera Barat**”. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah SAW yang telah memberikan contoh tauladan yang baik bagi kita semua.

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

1. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika dan Pembimbing Skripsi yang telah melungkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam penulisan Skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ramli, M.Si selaku Penguji yang telah memberikan masukan kepada penulis.
3. Ibu Dr. Desnita, M.Si selaku Penguji yang telah memberikan masukan kepada penulis.
4. Ibu Syafriani, Ph.D selaku Ketua Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

5. Bapak Yohandri, Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang sekaligus Pembimbing Akademik.
6. Bapak dan Ibu Staf Pengajar serta Staf Administrasi dan Laboran Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Bang David Yuliandi yang telah membantu dalam proses mencari sampel penelitian.
8. Satria Hadi Salam yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman seperjuangan Indah Tri Handini, Endah Pertiwi, Erni Septika Arma, Zelbia Jasri Lesa, Ratih Vidila Putri, Rudi Fernanda, Aan Putra Buana, Ilham Akbar yang telah memnerikan semangat dan dukungan.
10. Sahabat Nova Trilyani, Ulfa Fajrina, Selvy Irwanti Ramadhani yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam menyelesaikan penelitian.
11. Rekan-rekan seperjuangan penelitian yang telah banyak membantu serta memberikan semangat selama penelitian.
12. Rekan-rekan Fisika angkatan 2015 yang telah banyak membantu.

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

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

Padang, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI	6
A. Cahaya dan Intensitas Cahaya	6
B. Bioluminisensi	8
C. Proses Fisis Bioluminisensi.....	15
D. Jamur Bioluminisensi	22
E. Karakteristik Fisis dari Bioluminisensi Jamur Bercahaya	27
F. Nano Spektrofotometer	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
A. Jenis Penelitian.....	33
B. Tempat Penelitian dan Waktu Penelitian.....	33
C. Variabel Penelitian	33
D. Prosedur Penelitian.....	34
E. Teknik Pengumpulan Data	41
F. Teknik Pengolahan Data	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
A. Deskripsi Data.....	43
B. Analisis Data	47
C. Pembahasan.....	50
BAB V PENUTUP	54

A. Kesimpulan	54
B. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Panjang dan Frekuensi Gelombang Elektromagnetik.	7
2. Panjang Gelombang dan Frekuensi Cahaya Tampak.....	8
3. Berbagai jenis Luminisensi	14

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Spektrum Gelombang pada Cahaya Tampak.	7
2. Struktur kimia <i>Bacterial</i> luciferin.	9
3. Struktur kimia luciferin <i>Coelenterazine</i>	9
4. Struktur kimia <i>Dinoflagellata</i> luciferin.	10
5. Struktur kimia <i>Vergulin</i> luciferin.	10
6. Struktur kimia <i>Firefly</i> luciferin.	11
7. Struktur kimia <i>Ostracod</i> luciferin.	11
8. Diagram Jablonski untuk Molekul.	17
9. Tingkat energi bioluminisensi.	21
10. Proses Energi pada Reaksi Kemiluminisensi/Bioluminisensi untuk Reaksi $A + B \rightarrow C^* + D \rightarrow C + hv$	21
11. Mekanisme kimia bioluminisensi jamur	23
12. Reaksi kimia jamur bioluminisensi	24
13. Struktur kimia Luciferin jamur.	24
14. Jamur <i>Mycena lucentipes</i>	25
15. Jamur <i>Omphalotus nidiformis</i>	26
16. Jamur <i>Omphalotus nidiformis</i> saat memancarkan cahaya.	26
17. Jamur <i>Neonothopanus gardneri</i>	27
18. Jamur <i>Neonothopanus gardneri</i> saat memancarkan cahaya	27
19. Hubungan antara panjang gelombang dan intensitas cahaya	28
20. Nanofotometer.	31
21. Nanofotometer.	34
22. Timbangan digital	35
23. Gelas kimia.	35
24. Lumpang dan Alu.	35
25. Tabung falkon	36
26. Sentrifugasi	36
27. Eppendorf.	37
28. <i>Mycena Noctilucens</i> dari Lubuak Labu, Dhamasraya, Sumatera Barat	37
29. Diagram alir prosedur isolasi jamur yang akan dilakukan.	40

30. Diagram alir pengukuran sampel yang akan dilakukan.	40
31. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 1 detik	43
32. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 5 detik.....	44
33. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 10 detik.....	44
34. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 15 detik.....	45
35. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur bercahaya dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 20 detik.	45
36. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur bioluminisensi dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 25 detik.....	46
37. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur bioluminisensi dengan Intensitas relatif (%) pada waktu 1 detik sampai 25 detik.....	47
38. Hubungan Log Intensitas relatif terhadap waktu peluruhan (t) dengan panjang gelombang 510 nm.	47
39. Hubungan variasi waktu dengan Intensitas Awal (I_0) pemancaran cahaya pada jamur bercahaya.	48
40. Hubungan variasi waktu terhadap quantum yield pemancaran cahaya bercahaya.....	49
41. Hubungan variasi waktu dengan jumlah foton (N) pemancaran cahaya jamur bercahaya.	49
42. Hubungan intensitas awal, jumlah foton dan quantum yield terhadap waktu.....	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Pemancaran Cahaya Kunang-kunang dengan Variasi Waktu.....	59
2. Hubungan Intensitas relatif dengan waktu pada Panjang gelombang 510 nm.....	60
3. Perhitungan Intensitas , Konstanta Peluruhan, Quantum Yield, Jumlah Foton dan Energi Aktivasi.....	60
4. Variasi waktu terhadap Intensitas awal, <i>Quantum yield</i> relatif dan Jumlah foton (N) dengan Konstanta peluruhan 0,0048/detik dan Energi aktivasi (Ea) 2,4375 eV	67

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 (Yajun, 2007). Bioluminisensi adalah proses biologis di mana cahaya dihasilkan dan dipancarkan oleh organisme hidup yang dihasilkan dari reaksi kimia yang terjadi di dalam tubuh suatu organisme (Weitz, 2004).

Hingga saat ini, bioluminisensi telah ditemukan secara alami pada berbagai macam makhluk hidup, seperti jamur, bakteri, dan organisme perairan, namun tidak pada tanaman berbunga, hewan vertebrata terrestrial, amfibi, dan mamalia (Vincent, 2006). Peningkatan jumlah studi pada jamur bercahaya telah diamati beberapa tahun terakhir karena penggunaannya pada bioluminisensi. Jamur bercahaya telah ditemukan di Amerika Utara dan Selatan, Eropa, Asia, Australia dan Afrika sehingga daftar ini terus meningkat karena semakin banyak spesies baru yang ditemukan baik di zona subtropis dan tropis di dunia di mana kondisi alam paling menguntungkan untuk tempat tinggal mereka (Vladimir, 2012).

Bioluminisensi digunakan untuk pengaplikasian biosensor, jamur digunakan sebagai indikator untuk memantau pencemaran lingkungan. Karena penggunaan biosensor dengan jamur bioluminisensi pencemaran lingkungan dapat

diketahui lebih cepat berdasarkan penurunan cahayanya. Pada biomedis jamur bioluminisensi digunakan sebagai pengobatan untuk penyakit kanker (Ilundu, 2016).

Saat ini terdapat 83 spesies jamur bercahaya yang diketahui, sementara hanya tujuh belas spesies bakteri yang dikenal (Dunlap, 2006). Pada tahun 382 SM, Aristoteles mencatat untuk pertama kalinya jamur bioluminisensi memancarkan cahaya kehijauan pada tahap tertentu dalam siklus hidup mereka dan cahaya ini memiliki kisaran panjang gelombang maksimum 520-530 nm (Ilundu, 2016). Tahun 1993 Shimomura meneliti jamur bioluminisensi (*Panellus stipticus*), panjang gelombang yang dimiliki jamur tersebut adalah 485 nm – 585 nm. Pada tahun 2005, Desjardin melakukan penelitian pada jamur bioluminisensi (*Mycena chlorophos*). Cahaya yang dipancarkan jamur tersebut memiliki panjang gelombang maksimum 522 nm.

Kemudian Capelari pada tahun 2011 melakukan penelitian pada jamur bioluminisensi (*Neonothopanus gardeni*), penelitian yang dilakukan oleh Capelari adalah mengamati fungsi bioluminisensi pada jamur. Tahun 2015, Minhail melakukan penelitian pada jamur bioluminisensi (*Armillaria sp*), penelitian yang dilakukan oleh Minhail adalah mengetahui bagian-bagian pada jamur yang memancarkan cahaya bioluminisensi. Bechara pada tahun 2015 melakukan penelitian pada jamur bioluminisensi (*Mycena lucentipes*) yang ditemukan di Brazil, cahaya yang dipancarkan jamur tersebut memiliki panjang gelombang maksimum 530 nm. Penelitian yang dilakukan oleh Weinstein tahun 2016 pada jamur bioluminisensi (*Omphalotus nidiformis*), Weinstein meneliti lama

pemancaran cahaya pada jamur bioluminisensi tersebut dan panjang gelombang yang didapat 300 nm – 650 nm.

Dari penelitian yang dilakukan oleh peneliti tersebut, dapat disimpulkan bahwa karakteristik bioluminisensi pada jamur berbeda-beda satu sama lain tergantung pada kondisi lingkungan jamur tersebut berada. Karakteristik fisis jamur bercahaya dapat diketahui dari panjang gelombang, konstanta peluruhan, jumlah foton, quantum yield dan energi aktivasi. Panjang gelombang pada jamur bercahaya dapat menggambarkan warna cahaya yang dipancarkan. Panjang gelombang dipengaruhi oleh pH, suhu, dan kelembaban dari habitat organisme bioluminisensi tersebut. Konstanta peluruhan adalah ketetapan dari peristiwa penyusutan jumlah molekul dari tidak stabil hingga menjadi stabil. Jumlah foton adalah banyak cahaya yang dipancarkan oleh organisme bioluminisensi. Quantum yield adalah jumlah foton yang dipancarkan per molekul reaksi. Energi aktivasi adalah energi minimum yang dibutuhkan pada proses bioluminisensi. Informasi karakteristik fisis bioluminisensi ini penting untuk mengetahui kondisi optimum pemancaran dari organisme bioluminisensi.

Berdasarkan uraian tersebut, peneliti tertarik untuk meneliti karakteristik fisis bioluminisensi jamur (*Mycena Noctilucens*) dari Lubuak labu, Dhamasraya, Sumatera Barat. Meskipun sudah banyak penelitian tentang jamur, tetapi karakteristik fisis bioluminisensi jamur (*Mycena Noctilucens*) dari Lubuak Labu, Dhamasraya, Sumatera Barat belum ada yang meneliti, sehingga peneliti tertarik untuk meneliti karakteristik fisis bioluminisensi jamur ini. Maka judul penelitian ini adalah “Karakteristik Fisis Bioluminisensi Jamur (*Mycena Noctilucens*) dari Lubuak Labu, Dhamasraya, Sumatera Barat.”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan permasalahan yaitu :

1. Berapa panjang gelombang yang dihasilkan pada intensitas relatif maksimum pada pancaran cahaya jamur bercahaya?
2. Berapa konstanta peluruhan yang dihasilkan dari cahaya pada jamur bercahaya?
3. Berapa nilai quantum yield dari pancaran cahaya pada jamur bercahaya?
4. Berapa jumlah foton yang dihasilkan dari pancaran cahaya pada jamur bercahaya?
5. Berapa energi aktivasi yang dihasilkan pada pancaran cahaya jamur bercahaya?

C. Batasan Masalah

Karakteristik fisis bioluminisensi jamur bercahaya (*Mycena noctilucens*) yang dimaksud adalah :

1. Panjang gelombang pada intensitas relatif maksimum dari pancaran cahaya pada jamur bercahaya.
2. Konstanta peluruhan dari pancaran cahaya pada jamur bercahaya.
3. Nilai *quantum yield* pada pancaran cahaya pada jamur bercahaya.
4. Jumlah foton pada pancaran cahaya pada jamur bercahaya.
5. Energi aktivasi yang dihasilkan pada pancaran cahaya jamur bercahaya.

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini :

1. Mengetahui panjang gelombang dari pancaran cahaya yang dihasilkan pada intensitas relatif maksimum pada jamur bercahaya.

2. Mengetahui nilai konstanta peluruhan dari pancaran jamur dari pancaran cahaya jamur bercahaya.
3. Mengetahui nilai quantum yield dari pancaran cahaya pada jamur bercahaya.
4. Mengetahui jumlah foton yang dihasilkan dari cahaya pada jamur bercahaya.
5. Mengetahui energi aktivasi yang dihasilkan pada pancaran cahaya pada jamur bercahaya.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Peningkatan pemahaman dalam ilmu fisika material dan Biofisika yang berkaitan dengan melihat sifat fisis dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya.
2. Memberikan informasi mengenai karakteristik fisis jamur 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

KAJIAN TEORI

A. Cahaya dan Intensitas Cahaya

Cahaya adalah salah satu bentuk gelombang yang dapat merambat di ruang hampa udara (Sarvida dan Ratnawulan, 2013). Gelombang elektromagnetik meliputi cahaya, gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, ultraviolet, sinar X dan sinar gamma (Tipler, 2001). Berbagai jenis gelombang elektromagnetik tersebut hanya berbeda dalam panjang gelombang dan frekuensinya, yang dihubungkan dengan persamaan:

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

dimana, f = frekuensi (Hz)

c = kecepatan cahaya (m/s)

λ = panjang gelombang (m)

Cahaya merupakan sebagian dari gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat mata dengan komponennya yaitu cahaya merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu. Panjang gelombang cahaya berada pada kisaran antara 0,2 μm sampai dengan 0,5 μm , yang bersesuaian dengan frekuensi antara 6×10^{15} Hz hingga 20×10^{15} Hz (Ekajati, 2010). Dua properti cahaya yang paling jelas dapat langsung dideskripsikan dengan teori gelombang untuk cahaya adalah intensitas (atau kecerahan) dan warna. Intensitas cahaya merupakan energi yang dibawanya persatuan waktu dan sebanding dengan kuadrat amplitudo gelombang. Warna cahaya berhubungan dengan panjang gelombang atau frekuensi cahaya tersebut. Cahaya tampak yaitu cahaya yang sensitif pada mata kita jatuh pada kisaran 400 nm sampai 750 nm. Kisaran ini dikenal sebagai spektrum tampak, dan terdapat

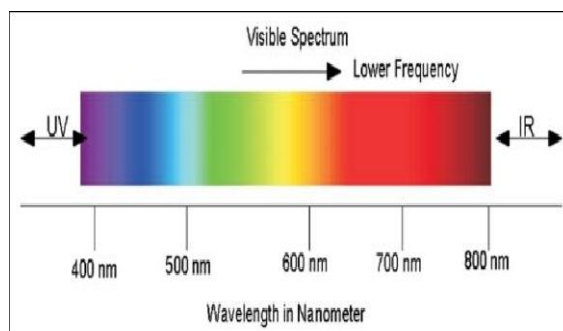
warna ungu sampai merah di dalamnya (Giancoli, 2001). Panjang dan frekuensi gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Panjang dan Frekuensi Gelombang Elektromagnetik.

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

(Finkenthal, 1996)

Dari spektrum elektromagnetik hanya bagian yang sangat kecil yang dapat dideteksi dengan indera penglihatan yang disebut cahaya tampak. Bagian-bagian yang berbeda dari spektrum tampak menimbulkan warna yang berbeda. Spektrum cahaya yang memiliki panjang gelombang pendek memiliki daya tembus yang lebih dalam dibandingkan gelombang panjang. Pada air jernih gelombang yang sedikit diserap adalah gelombang pendek (Sunarto, 2008). Sinar tampak terdiri atas tujuh spektrum warna, jika diurutkan dari frekuensi terkecil ke frekuensi terbesar, yaitu merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu. Gambar 1. memperlihatkan spektrum gelombang pada cahaya tampak (Zamanian, 2005). Dan panjang gelombang dan frekuensi cahaya tampak dapat dilihat pada Tabel 2. (Young, 2001).



Gambar 1. Spektrum Gelombang pada Cahaya Tampak (Zamanian, 2005).

Tabel 2. Panjang Gelombang dan Frekuensi Cahaya Tampak

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

(Young, 2001)

Cahaya mempunyai dua sifat yaitu sifat gelombang dan sifat partikel. Sifat partikel cahaya umumnya dinyatakan dalam foton atau kuantum, yaitu suatu paket energi yang mempunyai ciri tersendiri, yang masing-masing foton mempunyai panjang gelombang tertentu. Energi dalam tiap foton berbanding terbalik dengan panjang gelombang. Jadi panjang gelombang ungu dan biru mempunyai energi foton yang lebih tinggi daripada cahaya jingga (orange) dan merah (Pramesti, 2007).

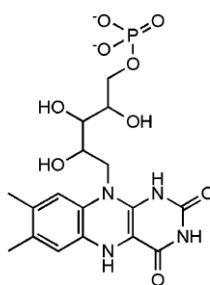
B. Bioluminisensi

Bioluminisensi telah diketahui sejak zaman dahulu dengan jamur bioluminisensi yang di dokumentasikan oleh Aristoteles (384 – 322 SM) yang memancarkan cahaya dengan warna berbeda (Weinstein, 2016). Bioluminisensi berasal dari kata bio yang berarti hidup dan luminisensi yang berarti emisi cahaya (Holsa, 2009). Bioluminisensi adalah proses biologis dimana cahaya diproduksi dan dipancarkan oleh organisme hidup yang dihasilkan dari reaksi kimia dalam tubuh organisme (Ilondu, 2016). Selain itu, prinsip-prinsip bioluminesensi telah diterapkan di banyak bidang ilmiah seperti pertanian, biologi, ekologi, dan kedokteran (Oba, 2014). Organisme bioluminisensi menggunakan cahayanya, yang memiliki berbagai warna, pola periodik, dan intensitas, untuk pertahanan diri

melawan pemangsa, kamuflase, komunikasi intra spesifik, atau menarik pasangan atau mangsa (Esimbekova, 2014). 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.

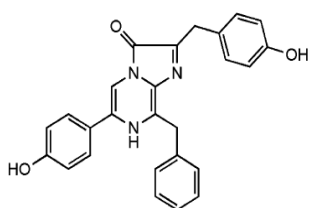
Kata luciferin berasal dari bahasa latin yaitu *lucifer*. Secara harfiah *lucifer* berarti penghasil cahaya. Semua organisme bioluminisensi memiliki senyawa luciferin yang berbeda-beda. Meskipun luciferin-luciferase bioluminisensi ditemukan di banyak filum, ada lima luciferin-luciferase dasar system yaitu. *Bakteri luciferin*, *Dinoflagellate luciferin*, *Vargula luciferin*, *Coelenterazine* dan luciferin *Firefly* yang ada telah ditemukan mirip dengan luciferin yang diisolasi dari *Mycena* (Desjardin. 2008).

Struktur kimia *Bacterial luciferin* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur kimia *Bacterial luciferin* (Desjardin. 2008).

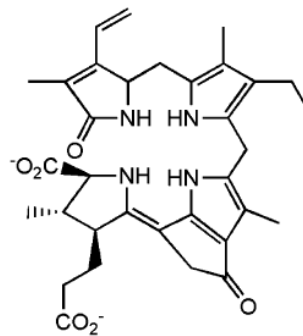
Struktur kimia *Coelenterazine luciferin* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur kimia luciferin *Coelenterazine* (Desjardin. 2008).

Coelenterate adalah jenis luciferin dengan struktur imidazopyrazinone yang sangat banyak ditemukan pada makhluk hidup, terutama di lingkungan perairan. Telah diketahui bahwa ada 6 filum makhluk hidup yang menggunakan lusiferin jenis ini, antaranya adalah kopepoda, radiolaria, ctenophore, cnidarian, cumi-cumi, serta jenis ikan dan udang. Selain luciferase, luciferin jenis ini memiliki fotoprotein yang disebut aequorin untuk membantu penghasilan emisi cahaya (Steven. 2010).

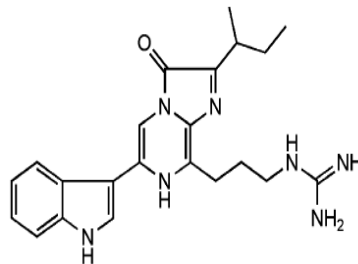
Struktur kimia *Dinoflagellata* luciferin dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur kimia *Dinoflagellata* luciferin (Desjardin. 2008).

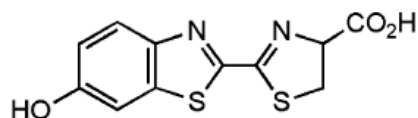
Pada dinoflagelata, substrat luciferin yang berperan adalah tetrapireol yang mirip dengan klorofil namun berbeda pada ion metalnya (Frank, 1984). Organisme ini menggunakan berbagai bagian tubuh untuk memancarkan cahaya dalam berbagai warna dan untuk tujuan yang berbeda (Lee, 2008).

Struktur kimia *Vergulin* luciferin dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur kimia *Vergulin* luciferin (Desjardin. 2008).

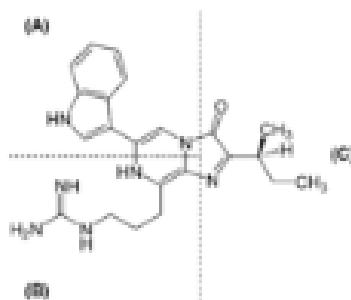
Struktur kimia *Firefly* luciferin dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur kimia *Firefly* luciferin (Desjardin. 2008).

Kunang-kunang (Photuris) menggunakan substrat berupa D-luciferin untuk menghasilkan pendaran. D-luciferin akan mengalami dekarboksilasi oksidatif dengan bantuan energi dari ATP sehingga dihasilkan emisi cahaya. Kunang-kunang juga memiliki enzim khusus yang dapat meregenerasi oksilusiferin menjadi D-luciferin yang dapat digunakan kembali sebagai substrat (Keiko, 2001). Selain D-luciferin, senyawa L-luciferin diketahui juga dapat menjadi substrat bagi kunang-kunang untuk menghasilkan pendaran (Lembert, 1996).

Struktur kimia *Ostracod* luciferin dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur kimia *Ostracod* luciferin (Steven. 2010).

Substrat luciferin pada ostracod (sejenis udang-udangan) berhasil dikristalisasi dan dikarakterisasi pertama kali pada tahun 1957. Luciferin jenis ini banyak terdapat pada genus Cypridina dan Vargula, serta beberapa jenis ikan. Para peneliti menyatakan bahwa luciferin ostracod disintesis dari asam amino triptofan, arginine, dan isoleusin namun jalur metabolisme pembuatannya masih belum diketahui (Steven. 2010). Diperkirakan bahwa mekanisme reaksi luminesensi pada beberapa ikan tergantung dari makanannya (John, 1985).

Luciferin adalah substrat tahan panas dan menghasilkan cahaya, sedangkan luciferase adalah sebuah enzim yang memicu terjadinya reaksi kimia (Gajendra, 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 (Sudarmo, 2006).

Selama reaksi luciferic-luciferase, zat antara kimia yang tidak stabil diproduksi. Ketika zat-zat antara ini terurai, energi berlebih dilepaskan sebagai emisi cahaya, menyebabkan jaringan-jaringan tempat reaksi ini bercahaya (Perry, 2007). Reaksi tersebut melibatkan unsur-unsur berikut :

1. Enzim (luciferase) adalah katalis biologis yang mempercepat dan mengendalikan laju reaksi kimia dalam sel.
2. Foton adalah paket energi cahaya.
3. NADPH yaitu Nikotinamida Adenin Dinukleotida, molekul penyimpan energi dari semua organisme hidup.
4. Substrat (luciferin) yaitu molekul spesifik yang mengalami perubahan kimia ketika ditempelkan oleh enzim.
5. Oksigen sebagai katalis.

Formula yang disederhanakan untuk reaksi bioluminisensi adalah :
 $\text{NADPH (energi)} + \text{luciferin (substrat)} + \text{luciferase (enzim)} + \text{O}_2 \text{ (pengoksidasi)} =$
 cahaya (foton) (Ilondu, 2016).

Reaksi bioluminisensi terjadi dalam dua tahap yaitu, reaksi melibatkan substrat (D - luciferin), bergabung dengan substrat dan oksigen, yang dikendalikan oleh enzim (luciferase), dan energi kimia pada tahap satu pada molekul tertentu (molekul luminisen : penggabungan luciferase dan luciferin). Energi dalam foton dapat bervariasi dengan frekuensi (warna) cahaya. Berbagai jenis substrat (luciferin) dalam organisme menghasilkan warna yang berbeda. Oleh karena itu, berbagai organisme bercahaya memiliki warna yang berbeda. Jamur memancarkan cahaya kebiruan kehijauan, organisme laut memancarkan cahaya biru, dan kunang-kunang memancarkan kuning kehijauan dan sebagainya (Ilondu, 2016).

Menurut Day dan Bailey (2003) hingga saat ini, bioluminisensi telah ditemukan secara alami pada berbagai macam makhluk hidup seperti jamur, bakteri, kunang-kunang dan organisme di perairan seperti cumi-cumi dan ikan.

Luminisensi adalah pancaran cahaya dari suatu bahan hidup maupun mati. Menurut Holsa (2009) luminisensi adalah fenomena dimana materi memancarkan cahaya dalam kisaran cahaya tampak. Luminisensi adalah pemancaran cahaya akibat perpindahan elektron dari keadaan dasar (ground state) ke keadaan tereksitasi (Ratnawulan, 2008).

Setiap makhluk hidup mampu menghasilkan luminisensi untuk tujuan atau fungsi yang berbeda-beda. Sebagian makhluk hidup memanfaatkannya untuk

pertahanan diri, untuk memburu mangsa (predasi) ataupun sebagai sinyal kawin. Ada beberapa jenis luminisensi yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Berbagai jenis Luminisensi

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

(Khalid, 2008)

Dari beberapa jenis luminisensi pada Tabel 3, fenomena bioluminisensi sangat menarik untuk diteliti. Baru-baru ini, perkembangan teknik molekular telah memungkinkan para ilmuwan untuk mengidentifikasi kimia dasar dari substansi luminisensi dalam jamur. Secara umum, sebagian besar spesies mendapat cahaya dengan panjang gelombang maksimum sekitar 530 nm saat siang dan malam dari tubuh buah dan miselium atau keduanya. Para ilmuwan telah melaporkan bahwa sistem bioluminisensi dari luminensi jamur menunjukkan reaksi tipe luciferin-luciferase pada NADH. Namun, isolasi luciferin dari fungi belum tercapai. Jamur bioluminisensi didistribusikan secara luas di dunia, dan sebagian besar spesies termasuk kelas Basidiomycetes (Mori, 2011).

C. Proses Fisis Bioluminisensi

Menurut Ratnawulan (2008), 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 ($h\nu$). Reaksi bioluminisensi dapat ditulis dalam bentuk:



Dari persamaan (2) reaksi bioluminisensi dapat dibagi kedalam dua langkah utama, yaitu :

1. Langkah Kemieksitasi

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



2. 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 (Ratnawulan, 2008).

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

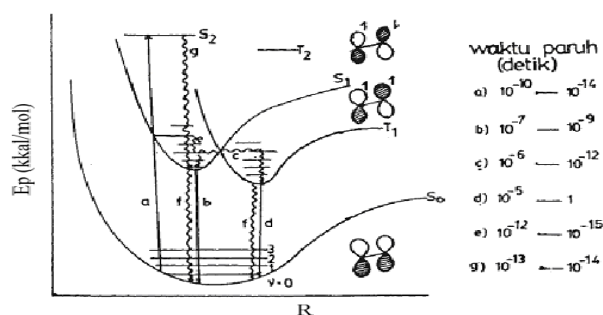
keadaan tereksitasi singlet daripada keadaan triplet karena peralihan $S_0 \rightarrow T_1$.

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 $-1/2$.

Kelipat gandaan 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 Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Jablonski untuk Molekul (Ratnawulan, 2008).

Suatu transisi spektrum yaitu suatu garis absorpsi yang ditandai dengan huruf *a*, merupakan selisih energi antara 2 keadaan molekul yang melakukan absorpsi energi. Bila molekul mengabsorpsi energi hanya pada panjang gelombang tunggal maka spektrum akan terdiri dari garis-garis tunggal. Emisi radiasi yang menghasilkan peralihan molekul dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar tanpa mengalami perubahan dalam kelipatgandaan dinamakan fluoresensi yang ditandai dengan huruf *b*.

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

Diagram Jablonski menggambarkan berbagai mekanisme eksitasi, relaksasi, dan rekombinasi dalam molekul setelah penyerapan radiasi elektromagnetik dan eksitasi elektron ke keadaan tereksitasi tunggal, misalnya, naik di level S_2 . Proses radiasi dikenal sebagai fluoresensi. Transisi tanpa radiasi termasuk relaksasi getaran, yang menyebabkan elektron menempati keadaan getaran dasar dari keadaan elektron, konversi internal dan persimpangan antar sistem. Kelebihan energi elektron ditransformasikan dalam beberapa kasus menjadi energi panas kristal. Setiap keadaan elektronik (S_0 , S_2 , T_1 , dll) memiliki

tingkat getaran yang ditetapkan sendiri. Status elektronik dan keadaan vibrasi sangat kuat. Jika status elektronik diubah, itu berarti perubahan ke mode getaran. Jumlah keadaan getaran dan elektronik disebut vibronik.

Jika elektron tereksitasi dari S_2 ke S_1 maka konversi internal terjadi. Tidak ada energi dipancarkan dalam konversi ini. Jika elektron sekarang menempati tingkat vibrasi S_1 , maka mengendur lebih jauh ke tingkat getaran S_1 dan akhirnya kembali ke keadaan elektron tanah S_0 dengan memancarkan foton. Energi foton yang dipancarkan sama dengan energi S_0 perbedaan energi yang merupakan celah energi. Transisi dari keadaan tunggal S_1 tereksitasi ke triplet T_1 adalah sebuah proses di mana spin-flip terjadi dan dikenal sebagai persilangan lintas sistem. Penyeberangan antar sistem dimungkinkan untuk molekul yang mengandung atom berat yang memperkenalkan interaksi spin orbit yang kuat dan pencampuran singlet dan triplet. Setelah populasi T_1 , elektron dapat berpartisipasi dalam radiasi proses ke keadaan dasar keadaan tunggal dengan putaran lain dari putarannya, proses yang dikenal sebagai pendar. Fosforensi secara statistik lebih kecil kemungkinannya terjadi daripada fluoresensi karena ini adalah transisi terlarang karena aturan seleksi yang memungkinkan transisi antar bagian multiplisitas putaran yang sama. Umur fluoresensi jauh lebih singkat (dalam hitungan detik hingga rezim nanosecond) dibandingkan dengan masa hidup berfluoresensi yang berkisar dari mikrodetik ke menit (Kylili, 2017).

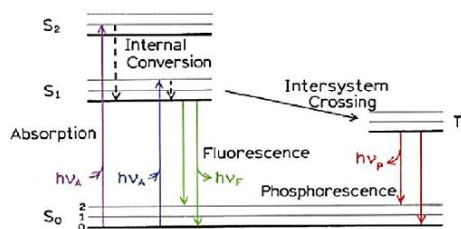
Fluoresensi adalah emisi cahaya oleh suatu zat yang telah menyerap cahaya atau radiasi elektromagnetik lain dari panjang gelombang yang berbeda. Dalam beberapa kasus, emisi cahaya memiliki panjang gelombang yang lebih panjang, oleh karena itu energinya lebih rendah, dibandingkan dengan radiasi

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 dari pada 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 elektromagnet lain. Fluoresensi adalah bentuk dari luminesensi. Dalam beberapa hal, sinar yang dipancarkan memiliki gelombang lebih panjang dan energi lebih rendah dari pada radiasi yang diserap. Meski begitu, ketika radiasi elektromagnet 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.

Fosforesensi adalah jenis spesifik fotoluminesensi yang berkaitan dengan fluoresensi. Tidak seperti fluoresensi, material phosphoresensi 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. Phosphoresensi 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 (Sari dan Ratnawulan, 2013). Tingkat energi bioluminisensi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Tingkat energi bioluminisensi (Kylili, 2017).

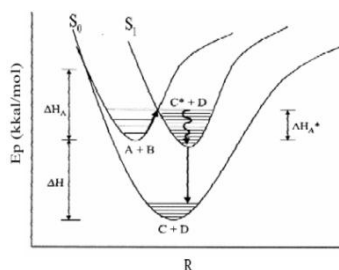
Reaksi kemiluminisensi dihasilkan dari dua mekanisme dasar, yaitu:

1. Reaksi langsung

Reaksi secara langsung dapat ditulis dengan persamaan:



Reaksi kemiluminisensi langsung terjadi pada bioluminisensi langsung. Pada reaksi tersebut dibutuhkan dua reaktan yang bereaksi dalam kehadiran kofaktor untuk membentuk sebuah produk keadaan tereksitasi elektronik. Produk tersebut kemudian mengalami relaksasi ke keadaan dasar sambil memancarkan sebuah foton. Dari persamaan diatas A dan B merupakan reaktan dan C* merupakan produk tereksitasi. Proses energi pada kemiluminisensi langsung dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Proses Energi pada Reaksi Kemiluminisensi/Bioluminisensi untuk Reaksi $A + B \rightarrow C^* + D \rightarrow C + h\nu$ (Ratnawulan, 2008).

D. Jamur Bioluminisensi

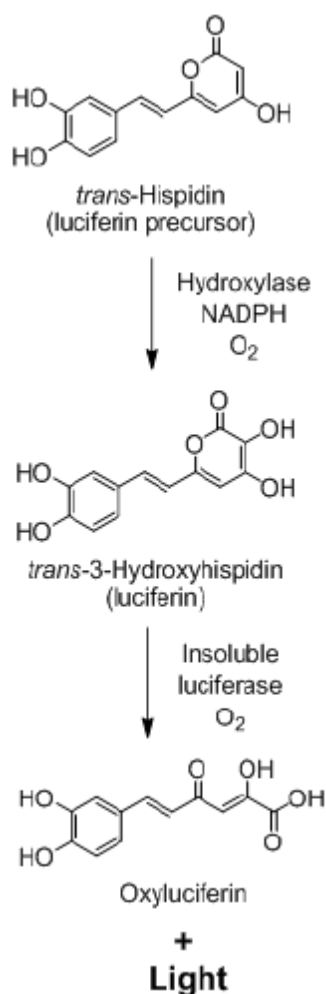
Jamur adalah salah satu bentuk kehidupan yang paling sedikit dipelajari di dunia dan ada ratusan spesies yang tersisa yang dapat ditemukan dalam bentuk bioluminisensi. Bioluminisensi adalah fenomena memancarkan cahaya alami yang dipancarkan oleh beberapa organisme hidup, diverifikasi terdapat 71 dari 100.000 spesies yang dijelaskan dalam kingdom jamur (Vinodkumar, 2016). Bioluminesensi jamur juga banyak diamati pada kayu atau daun yang membusuk di malam hari. Dengan demikian, fenomena ini disebut api unggun atau kayu yang bersinar. Jumlah total spesies jamur bercahaya yang tercatat pada tahun 2016 lebih banyak dari 80 (Desjardin, 2016).

Fungi adalah mikroorganisme tidak berklorofil, berbentuk hifa atau sel tunggal, eukariotik, ber dinding sel dari kitin atau selulosa, memproduksi seksual atau aseksual. Dalam dunia kehidupan fungi merupakan kingdom tersendiri, karena cara mendapatkan makanannya berbeda dengan organisme eukariotik lainnya yaitu melalui absorpsi (Gandjar, 2009).

Sebagian besar tubuh fungi terdiri dari atas benang-benang yang disebut hifa, yang saling berhubungan menjalin semacam jala yaitu miselium. Miselium dapat dibedakan atas miselium vegetative yang berfungsi meresap menyerap nutrient dari lingkungan, dan miselium fertile yang berfungsi dalam reproduksi (Medhy, 2013). Bagian bioluminisensi dari jamur termasuk pileus (tutup), dan benang miselia dalam kombinasi atau secara terpisah. Demikian pula, masing-masing spora terlihat bercahaya (Ilondu, 2016).

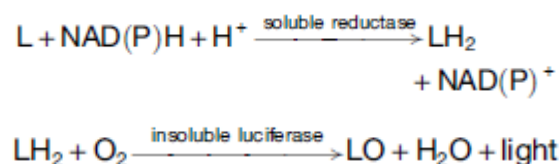
Bioluminisensi dalam jamur telah dihipotesiskan untuk menarik invertebrata yang membantu penyebaran spora (Ilondu, 2016). Sehingga jamur

tersebut bisa berkembang biak sebanyak-banyaknya. Jamur bercahaya hanya memancarkan cahaya untuk jangka waktu tertentu (periode) dari siklus hidupnya. Setelah dan sebelum periode, secara praktis cahaya dari jamur tidak menyala (Shimomura, 2006). Bioluminesensi jamur yang didefinisikan sebagai reaksi kimia yang terjadi pada jamur mengarah pada emisi cahaya konstan dengan maksimum intensitas dalam kisaran 520-530 nm yang dikatalisis oleh enzim yang disebut luciferase (B.Halliwell, 2007). Mekanisme kimia bioluminisensi jamur dapat dilihat pada Gambar 11.



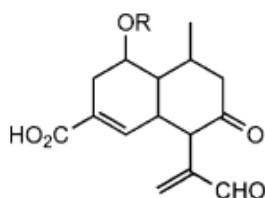
Gambar 11. Mekanisme kimia bioluminisensi jamur (Teranishi, 2018)

Jamur bioluminisensi ini diterapkan untuk aplikasi bioteknologi seperti sistem luciferase dalam rekayasa genetika sebagai gen reporter, pemantauan lingkungan, dan ekstraksi logam berat (Vinodkumar, 2016). Reaksi kimia jamur bioluminisensi dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Reaksi kimia jamur bioluminisensi (Bechara, 2015)

Meskipun bioluminesensi jamur umumnya menunjukkan intensitas yang lebih rendah daripada bioluminisensi lainnya organisme seperti kunang-kunang dan ostracod, emisi cahaya dari jamur terus menerus dihasilkan untuk siang dan malam. Struktur kimia luciferin jamur dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Struktur kimia Luciferin jamur.

Total emisi cahaya dari jamur bioluminisensi tertentu mungkin sebanding dengan kunang-kunang. Warna jamur bioluminesensi umumnya berwarna hijau (Oliveira, 2015). Menurut Desjardin (2008) semua jamur bioluminisensi yang dikenal berasal dari basidiomycetes yang memiliki tiga garis keturunan yang berbeda. Dua belas spesies muncul dalam garis silsilah *Omphalatus*, lima dalam silsilah *Armellaria* sementara empat puluh tujuh dalam silsilah *Mycenoid*.

1. Jamur *Mycena lucentipes*

Di zona tropis dan subtropis di dunia terdapat 71 spesies dari ribuan spesies jamur, dimana 26 memiliki genus *Mycena* (Desjardin, 2007). Jamur *Mycena*

lucentipes ditemukan di kawasan hutan Brazil Utara, jamur ini tumbuh di permukaan kayu yang lembab dan pada kayu yang sudah membusuk (Stevani, 2013). Jamur ini menampilkan spektral distribusi kira-kira 530 nm (Oliveira, 2009). Jamur *Mycena lucentipes* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Jamur *Mycena lucentipes* (Bechara, 2015).

Sebagaimana dilaporkan oleh Stevani (2015) pancaran cahaya pada jamur tersebut berfungsi untuk menarik perhatian serangga supaya dapat menyebarkan spora. Panjang gelombang maksimal yang dihasilkan jamur *Mycena lucentipes* adalah 530 nm (Stevani, 2009).

2. Jamur hantu (*Omphalotus nidiformis*)

Jamur *Omphalotus nidiformis* ditemukan di Australia jamur ini memiliki warna kecoklatan dan tumbuh di dekat pangkal pohon Eucalyptus dengan diameter 20-40 cm. Jamur *Omphalotus nidiformis* memancarkan cahaya putih kebiruan yang lama kelamaan akan menjadi samar (Weinstein, 2016). Dao (2006) mengamati bahwa cahaya yang dipancarkan dari miselium *Omphalotus* di udara terbuka (oksigen) maksimum setelah 5 jam, kemudian meredup pada jam ke-13 dan akhirnya berhenti memancarkan cahaya. Jamur *Omphalotus nidiformis* dapat dilihat pada Gambar 15. dan saat memancarkan cahaya dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 15. Jamur *Omphalotus nidiformis* (Weinstein, 2016).



Gambar 16. Jamur *Omphalotus nidiformis* saat memancarkan cahaya (Weinstein, 2016).

Panjang gelombang jamur *Omphalotus nidiformis* 300-650 nm. Serangga sering terperangkap pada cahaya yang menyala dibandingkan cahaya dengan emisi cahaya yang rendah. Tetapi beberapa jenis serangga dapat menangkap emisi cahaya rendah seperti yang diancarkan jamur *Omphalotus nidiformis* (Jess, 2004).

3. *Armillaria sp*

Lebih dari 80 spesies bercahaya basidiomycetes telah ditemukan di berbagai wilayah di dunia (Mihail, 2015). Miselium dari spesies *Armillaria* menunjukkan bioluminesensi di alam dan ketika dibudidayakan media nutrisi buatan. Emisi cahaya dilakukan dengan campuran ekstrak dingin dan panas miselium bercahaya *Armillaria* (Puzyr, 2017). Pada beberapa spesies, bioluminisensi terjadi di seluruh tubuh jamur (Oliveira, 2015). Pada spesies lain,

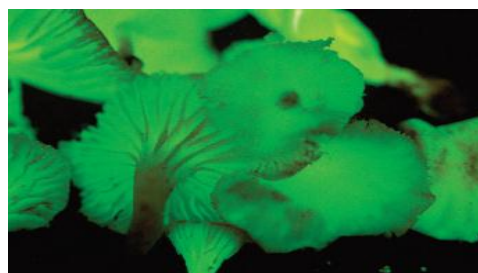
hanya tutup pada kepala jamur atau batang yang memancarkan cahaya (Teranishi, 2016). Telah diketahui bahwa seluruh tubuh Basidiomycetes dari genus *Armillaria* tidak dapat memancarkan cahaya tampak, hanya kepala dan batang yang memancarkan cahaya (Mihail, 2015).

4. *Neonothopanus gardneri*

Berhubungan dengan fungsi bioluminesensi jamur (Olivera, 2015) melaporkan bahwa tubuh jamur bioluminisensi *Neonothopanus gardneri* bisa menarik serangga penyebar spora potensial dengan cahayanya. Jamur *Neonothopanus gardneri* dapat dilihat pada Gambar 17. dan saat memancarkan cahaya dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 17. Jamur *Neonothopanus gardneri* (Capelari, 2011)



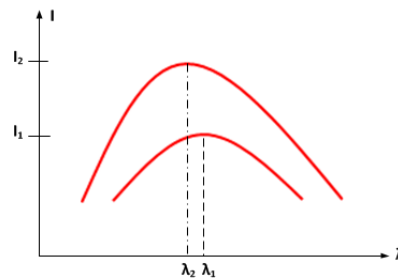
Gambar 18. Jamur *Neonothopanus gardneri* saat memancarkan cahaya (Capelari, 2011)

E. Karakteristik Fisis dari Bioluminisensi Jamur Bercahaya

1. Panjang Gelombang pada Intensitas Maksimum

Panjang gelombang adalah sebuah pola gelombang yang memberikan warna pada spektrum cahaya. Intensitas gelombang elektromagnetik merupakan laju rata-rata energi yang dipindahkan melalui gelombang elektromagnetik setiap

satuan waktu. Hubungan antara panjang gelombang dan intensitas cahaya dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Hubungan antara panjang gelombang dan intensitas cahaya

Secara umum persamaan intensitas dapat ditulis dalam bentuk (Ratnawulan, 2008) :

$$I = -\frac{d(E_x)}{dt} = k(E_x) \quad (6)$$

dan

$$\frac{dI}{dt} = -kI \quad (7)$$

Dengan mendifferensialkan persamaan (7) akan diperoleh persamaan:

$$I = I_0 e^{-kt} \quad (8)$$

2. Konstanta Peluruhan

Konstanta peluruhan adalah ketetapan dari peristiwa penyusutan jumlah molekul molekul dari tidak stabil menjadi stabil. Dari persamaan (7) dapat juga dinyatakan dalam bentuk persamaan (8), sehingga dapat dicari konstanta peluruhan:

$$\log I = \log I_0 - \frac{k}{2,303} t \quad (9)$$

dengan I_0 adalah intensitas awal cahaya

I adalah intensitas akhir cahaya

k adalah konstanta peluruhan

t adalah waktu peluruhan

3. 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:

$$N = cq = \int_0^{\infty} \phi dt \quad (10)$$

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

$$\log I = -k/2,03t + \log I_0 \quad (11)$$

Maka didapatkan

$$cq = I_0/k \quad (12)$$

4. 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 :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (13)$$

Dimana : E adalah energi

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

λ adalah panjang gelombang

5. 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.

$$E_a = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \frac{1}{1,6 \frac{10^{-19} \text{ J}}{\text{eV}}} \quad (14)$$

F. Nano Spektrofotometer

Nano Spektrofotometri 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. Nano Spektrofotometer dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Nanofotometer

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 :

$$T = I/I_0 \quad (15)$$

Dimana : I adalah Intensitas cahaya setelah melewati sampel

I_0 adalah Intensitas cahaya awal

Hubungan Absorpsi dengan %T :

$$A = -\log T = -\log \frac{I}{I_0} \quad (16)$$

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-A} \quad (17)$$

$$\%T = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (18)$$

$$A = -\log T = \log\left(\frac{1}{T}\right) \quad (19)$$

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.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa

1. Intensitas maksimum dari jamur bercahaya pada panjang gelombang 510 nm.
Hal ini berarti jamur bercahaya memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 510 nm. Panjang gelombang 510 nm tergolong pada panjang gelombang cahaya tampak yang dipancarkan oleh jamur bercahaya *Mycena noctilucens* dengan warna hijau.
2. Konstanta peluruhan dari pemancaran cahaya pada jamur *Mycena noctilucens* adalah 0,0048/detik.
3. Nilai *quantum yield* dari pemancaran cahaya pada jamur *Mycena noctilucens* adalah 1,13492.
4. Foton yang dipancarkan oleh jamur *Mycena noctilucens* yaitu 9,06436 quanta/detik.
5. Energi aktivasi yang dihasilkan pada pancaran cahaya pada jamur *Mycena noctilucens* adalah 2,4375 eV.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk mempersiapkan bahan-bahan untuk melakukan isolasi terlebih dahulu sebelum mendapatkan sampel jamur yang akan diisolasi. Karena jika sampel jamur yang akan diisolasi terlalu lama disimpan, struktur luciferin pada tubuh jamur akan rusak dan pancaran cahaya yang dihasilkan tidak maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bechara, Etelvino J.H. 2015. *Bioluminescence: A Fungal Nightlight with an Internal Timer*: Departamento de Química Fundamental, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, Brazil: Cell Press.
- B. Halliwell and J. M. C. Gutteridge. 2007. *Free Radicals in Biology and Medicine*. 4th edn, Oxford University Press, Oxford. pp. 302.
- Capelari, Marina, Dennis E. Desjardin, Brian A. Perry, Tatiane Asai and Cassius V. Stevani. 2011. *Neonothopanus gardneri: a new combination for a bioluminescent agaric from Brazil*. Mycologia, 103 (6), 2011, pp. 1433–1440. DOI: 10.3852/11-097
- Dao, T. V. 2006. *Bioluminescence – The mystery of the nature*. Research on cultivation of luminescent mushroom. Springbrook Research Center, Queensland, Australia. p. 7.
- Day, J.C dan M.J. Bailey. 2003. *Structure And Evolution Of The Luciferin-Regenerating Enzyme (LRE) Gene From the Firefly Photinus Pyralis*.
- Desjardin, D.E., Capelari, M., and Stevani, C.V. 2007. *Bioluminescent Mycena species from São Paulo, Brazil*. Mycologia 99, 317–331.
- Desjardin, D. E., Oliveira, A.G. and Stevani, C.V. 2008. *Fungi bioluminescence revisited*. Photochemical Photobiological Sciences 7:170-182.)
- Desjardin, Dennis E. 2008. *Fungi bioluminescence revisited*. San Francisco University : Dept of Biology San Francisco, USA
- Desjardin DE, Perry BA, Stevani CV. 2016. *New luminescent mycenoid fungi (Basidiomycota, Agaricales) from São Paulo State, Brazil*. Mycologia 108: 1165-1174.
- Dunlap, P.V, Kita Tsukamoto, K, Dworkin, M, Falkow, S. Rosenberg, E. Schleifer, K.H, and Stackebrandt, E. 2006. *Luminous Bacteria, in The Prokaryotes*. New York: Academic Press, vol. 2, pp. 863–892.
- Ekajati, Murdaka, B, dan Priyambodo, Tri Kuntoro. 2010. *Fisika Dasar Listrik-Magnet, Optika, Fisika Modern*. Yogyakarta: Andi.
- Esimbekova, E. 2014. *Bioluminescence: fundamentals and applications in biotechnology*. 1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany pp. 67-197.
- E.M. Ilondu, and Okiti, A. A. 2016. *Bioluminescence In Mushroom And Its Application Potensial*. Nigerian Journal of Science and Environment, Vol. 14 (1). 132-139

- Finkenthal, Daniel. 1996. *Introduction to the Electromagnetic Spectrum*. General Atomics.
- Frank, TM, Widder EA, Latz MI, dan Case JF. 1984. *Dietary Maintenance Of Bioluminescence In Deep-sea Mysid*. Inggris: J.Exp Biol. 109:385-389.
- Gajendra, Babu dan M. Kannan. 2002. *Lightning Bugs*. India: Tamil Nadu Agricultural University Coimbatore.
- Gandjar. 2009. *Mikrobiologi*. Bandung: PT.Remaja Rosdakarya.
- Giancoli, Douglas, C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Hayashi, Shuhei, Ryuichi Fukushima and Naohisa Wada. 2012. *Extraction And Purification of a Luminiferous Substance from the Luminous Mushroom Mycena chlorophos*. Biophysics. Vol:8 pp.111-114.
- Holsa, Jorma. 2009. *Persistent Luminisensi Beats the Afterglow: 400 Years of Persistent Luminisensi*. Electrochemical Society Interface, 42-45.
- Jess S, Bingham J. 2004. *The spectral specific responses of Lycoriella ingenua and Megaselia halterata during mushroom cultivation*. Journal of Agricultural Science 142: 421–430.
- John, G. Burr. 1985. *Chemi- and Bioluminescence*. Inggris: CRC Press. Hal. 321-323: 331-332.
- Khalid, Ashiq Hussain and Kontis, Konstantinos. 2008. *Thermographic Phosphors for High Temperature Measurements: Principles, Current State of the Art and Recent Applications*. Sensors, 8, 5673-5744.
- Keiko, Gomi dan Naoki Kajiyama. 2001. *Oxyluciferin, a Luminescence Product of Firefly Luciferase, is Enzymatically Regenerated into Luciferin*. Inggris: Journal of Biological Chemistry. 276.
- Kotlobay, Alexey A, Karen S. Sarkisyan and Yuliana A. Mokrushina. 2018. *Genetically Encodable Bioluminescent System From Fungi*. PNAS. Vol : 115 No : 50.
- Lambert, Nicolas. 1996. *Firefly Luciferase can use L-Luciferin to Produce Light*. Inggris: Biochem J. 317:273-277.
- Lee, J. 2008. *Bioluminescence: The first 3000 years (Review)*. Department of Biochemistry and Molecular Biology, University of Georgia, Athens. Journal of Siberian Federal University. Biology 3(1):194-20). DOI: 10.13140/RG.2.1.2855.9846
- Medhy. 2013. *Pengamatan Morfologi*. Laporan Pengamatan.

- Minhail JD. 2015. *Bioluminescence patterns among North American Armillaria species*. Fungal Biology 119, 528–537.
- Mori K, Kojima S, Maki S, Hirano T, Niwa H. 2011. *Bioluminescence characteristics of the fruiting body of mycena chlorophos*. Luminescence, 26(6), 604-610. doi: 10.1002/bio.1280.
- Oba Y, Schultz DT. 2014. *Bioluminescence: fundamentals and applications in biotechnology. 1*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany p. 4-14.
- Oliveira, A.G., and Stevani, C.V. 2009. *The enzymatic nature of fungal bioluminescence*. Photochem. Photobiol. Sci. 8, 1416–1421.
- Oliveira AG, Stevani CV, Waldenmaier HE, Viviani V, Emerson JM, Loros JJ, Dunlap JC. 2015 . *Circadian control sheds light on fungal bioluminescence*. Current Biology 25, 1–5.
- Perry, Brian A. 2007. *MycoDigest: Bioluminescent Fungi*. The Mycological Society of San Francisco 58(3):1-8.
- Pramesti, R. 2007. *Mata Kuliah Biologi Dasar*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro.
- Puzyr AP, Medvedeva SE and Bondar VS. 2016. *The use of glowing wood as a source of luminescent culture of fungus mycelium*. Mycosphere 7 (1): 1–17. 2016.
- Puzyr AP, Medvedeva SE, Bondar VS . 2017. *Biochemical changes causes lack of bioluminescence in fruiting bodies of Armillaria*. Mycosphere 8(1), 9–17. Doi 10.5943/mycosphere/8/1/2.
- Ratnawulan.2008. *Fisika Bioluminisensi Studi Kasus pada Bakteri Photobacterium Phosporeum*. Padang:Universitas Negeri Padang Press.
- Sari, Melfita, Ratnawulan, dan Gusnedi. 2013. *Karakteristik Fisis Pemancaran Cahaya Kunang - Kunang Terbang (Pteroptyx Tener)*. Pillar Of Physics, Vol. 1. April 2014, 113-120
- Sarvida, Melly, Ratnawulan, dan Gusnedi. 2013. *Pengaruh Logam Berat Terhadap Sifat Fisik Pemancaran Cahaya Dari Bioluminisensi Kunang-Kunang (Pteroptyx tener)*. Pillar Of Physics, Vol. 2. Oktober 2013, 107-114.
- Shimomura, O. 2006. *Bioluminescence: chemical principles and methods* Singapore. World publishing Company. Public liability company limited. p.470.

- Stevani, C.V, Oliveira. 2009. *The enzymatic nature of fungal bioluminescence*. Photochem.Photobiol. Sci. 8, 1416–1421.
- Stevani, C.V, Oliveira, A.G, Mendes, L.F,Ventura, F.F, Waldenmaier, H.E, Carvalho, R.P, and Pereira, T.A. 2013. *Current status of research on fungal bioluminescence: biochemistry and prospects for ecotoxicological application*. Photochem.Photobiol. 89, 1318–1326.
- Steven, H.D Haddock, Mark A. Moline, dan James F. Case. 2010. *Bioluminescence in the Sea, Annual Review of Marine Science*. Inggris.
- Sudarmo, Unggul. 2006. *Kimia untuk SMA Kelas XII*. Jakarta: Erlangga.
- Teranishi K. 2018. *Bioluminescence: Chemical Study on Visible Light Emission from Fungal Mycelium and Fruiting Body*. 3 : 1-4.
- Tippler, Paul A. 2001. *Fisika untuk Sain dan Teknik Edisi ke-3 jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Vincent, Pieribone, David F.Gruber. 2006. *Aglow in the dark: The Revolution Science of Biofluorescence*. Inggris: Belknap Press.11-12.
- Vinodkumar, Kushwaha and Hajirnis Sarita. 2016. *A Review on Bioluminescent fungi: A Torch of Curiosity*. Int. J. of Life Sciences, Special Issue, A7. 107 – 110.
- Vladimir, S. B., Shimomura, O. and Josef I. G. 2012. *Luminescence of higher mushrooms*. Journal of Siberian Federal University.Biology4:331-351.
- Weinstein, Philip, Steven Delean, Tom Wood, and Andrew D Austin. 2016. *Bioluminescence in the ghost fungus Omphalotus nidiformis does not attract potential spore dispersing insects*, 7(2): 229–234. doi:10.5598/ima fungus.2016.07.02.01.
- Weitz, H. J. 2004. *Naturally bioluminescent fungi*. Department of plant and soil science, school of biological sciences. Mycologist 18(1): 4-5.
- Yajun, Liu dan Weihai Fang. 2007. *Ab initio investigation on the structures and spectra of the firefly luciferin*. Beijing, China: College of Chemistry, Beijing Normal University.
- Young dan Freedman. 2001. *Fisika Universitas Jilid 2*. Jakarta:Erlangga.
- Zamanian, Ali dan Cy Hardiman. 2005. *Electromagnetic Radiation and Human Health: A Review of Sources and Effects*. Summit Technical Media.16-26.