OPTIMASI KONDISI OPTIMUM PEMANCARAN CAHAYA JAMUR (*NEONOTHOPANUS* Sp) BIOLUMINISENSI DARI DAERAH HUTAN PESISIR SELATAN SUMATERA BARAT

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar

Sarjana Sains

Oleh :

Mila Qurniawati

NIM. 16034014/2016

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2020

PERSETUJUAN SKRIPSI

OPTIMASI KONDISI OPTIMUM PEMANCARAN CAHAYA JAMUR
(*Neonothopanus* sp) BIOLUMINISENSI DARI DAERAH
HUTAN PESISIR SELATAN SUMATERA BARAT

Nama	: Mila Qurniawati
NIM	: 16034014
Program Studi	: Fisika
Jurusan	: Fisika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 25 Agustus 2020

Mengetahui	Disetujui Oleh:
Ketua Jurusan Fisika	Pembimbing
Dr. Ratnawulan, M.Si	Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP. 196901201993032002	NIP. 196901201993032002

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama	: Mila Qurniawati
NIM	: 16034014
Program Studi	: Fisika
Jurusan	: Fisika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

OPTIMASI KONDISI OPTIMUM PEMANCARAN CAHAYA JAMUR (*Neonothopanus* sp) BIOLUMINISENSI DARI DAERAH HUTAN PESISIR SELATAN SUMATERA BARAT

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

Padang, 24 Agustus 2020

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Katua	: Dr. Ratnawulan, M.Si.	
Anggota	: Dr. Desnita, M.Si.	
Anggota	: Dra. Yenni Darvina, M.Si.	

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul "Optimasi Kondisi Optimum Pemancaran Cahaya Jamur *Neonothopanus* sp Bioluminisensi Dari Daerah Hutan Pesisir Selatan Sumatera Barat", adalah asli karya saya sendiri.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya, tanpa bantuan dari pihak lain, kecuali 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 didalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpagan di dalam pernyataaan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 24 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan

Mila Qurniawati

NIM. 16034014/2016

Optimasi Kondisi Optimum Pemancaran Cahaya Jamur (*Neonothopanus* sp) Bioluminisensi Dari Daerah Hutan Pesisir Selatan Sumatra Barat

Mila Qurniawati

ABSTRAK

Jamur bercahaya *Neonothophanus* sp merupakan salah satu organisme bioluminisensi yang telah ditemukan daerah hutan Pesisir Selatan Sumatera Barat. Penemuan Jamur bercahaya *Neonothophanus* sp sangat menarik karena hasil bioluminisensi dapat diaplikasikan diberbagai bidang. Oleh karena itudilakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui temperatur dan pH optimum dalam menghasilkan intensitas cahaya serta karakteristik fisis yang meliputi panjang gelombang cahaya yang dipancarkan pada Intensitas maksimum, konstanta peluruhan, nilai *quantum yield*, jumlah foton dipancarkan setiap detik 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 hutan Pesisir Selatan, Sumatera Barat.

Hasil pengukuran yang di dapatkan nilai panjang gelombang pada intensitas relatif maksimum adalah 505 nm. Pemancaran cahaya dengan intensitas relaktif maksimum terjadi pada temperatur 15^{o} C dan pH 8 pada panjang gelombang 505 nm menghasilkan cahaya tampak berwarna hijau. Hasil ini sesuai dengan pengamantan, karena cahaya yang dipancarkan oleh jamur bercahaya berwarna hijau. Konstanta peluruhan yang dihasilkan dari jamur bercahaya yang diperoleh adalah 0,00009 / detik. Jumlah foton yang dihasilkan pada setiap variasi waktu oleh jamur *Neonothophanus* sp berjumlah 0,09 quanta/ detik. Quantum yield yang dihasilkan adalah 13,78 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 kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul " **Optimasi Kondisi Optimum Pemancaran Cahaya Jamur *Neonothopanus* sp Bioluminisensi Dari Hutan Pesisir Selatan Sumatra 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 meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam penulisan Skripsi ini.
2. Ibu Dr. Desnita, M.Si selaku Penguji yang telah memberikan masukkan kepada penulis.
3. Ibu Dra. Yenni darvina, M.Si selaku Penguji yang telah memberikan masukkan kepada penulis.
4. Ibu Syafriani, Ph.D selaku Ketua Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

5. Ibu Fatni Mufit, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
6. Bapak Dr. Hamdi, M.Si selaku pembimbing akademik yang selalu memberi masukan.
7. Bapak dan Ibu Staf Pengajar serta Staf Administrasi dan Laboran Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
8. Ibu (Yesmita) selaku Orang Tua dan (Cici) selaku adik yang selalu dan tidak pernah lupa memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Kakak sepenelitian Erni Septika Arma dan Fajmi Marlina Zahra yang selalu membantu dan memberikan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.Teman seperjuangan Witriani Marvinatur Ihsan, Yosi isfandiani, Iffa Fitri Yeni, Oci Aditama, Lydia Margaretha, Elsa Ollia, Radiathul Mardiah, Dila Juliawati, Alif Yolanda Putri yang telah memberikan semangat dan dukungan.
10. Rekan-rekan seperjuangan penelitian yang telah banyak membantu serta memberikan semangat selama penelitian.
11. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNP khususnya Fisika angkatan 2016 yang telah membantu berjuang hingga akhir dan semua pihak yang telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. 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, 28 mei 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **i**

KATA PENGANTAR ..... **ii**

DAFTAR ISI ..... **v**

DAFTAR TABEL ..... **vii**

DAFTAR GAMBAR ..... **viii**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xi**

BAB I PENDAHULUAN **1**

A. Latar Belakang 1

B. Batasan Masalah 5

C. Rumusan Masalah 5

D. Tujuan Penelitian 6

E. Manfaat Penelitian 6

BABII KAJIAN TEORI **8**

A. Jamur Bioluminisensi 8

B. Cahaya dan Intensitas Cahaya 14

C. Bioluminisensi 18

D. Proses Fisis Bioluminisensi 23

E. Karakteristik Fisis dari Bioluminisensi Jamur Bercahaya 30

F. Faktor-faktor yang mempengaruhi Intensitas Pemancaran Cahaya 33

G. Nanofotometer 36

BAB III METODOLOGI PENELITIAN **39**

A. Jenis Penelitian 39

B. Tempat Penelitian dan Waktu Penelitian 39

C. Variabel Penelitian 39

D. Prosedur Penelitian 40

E. Teknik Pengumpulan Data 52

F. Teknik Pengolahan Data 52

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN **54**

A. Deskripsi Data 54

B. Analisis Data 65

C. Pembahasan 70
BAB V PENUTUP 75
A. Kesimpulan 75
B. Saran 75
DAFTAR PUSTAKA 76
LAMPIRAN 80

DAFTAR TABEL

Tabel **Halaman**

1. Panjang dan Frekuensi Gelombang Elektromagnetik. 16
2. Panjang Gelombang dan Frekuensi Cahaya Tampak 17
3. Berbagai Jenis Luminisensi 22

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Halaman**

1. Mekanisme kimia bioluminisensi jamur 9
2. Reaksi kimia jamur bioluminisensi 10
3. Struktur kimia Luciferin jamur 10
4. Jamur *Mycena lucentipes*. 11
5. Jamur *Omphalotus nidiformis*.....12
6. Jamur *Omphalotus nidiformis* saat memancarkan cahaya.....12
7. Jamur *Neonothopanus gardneri*.....13
8. Jamur *Neonothopanus gardneri* saat memancarkan cahaya.....13
9. Jamur *Neonothopanus Nambi*saat memancarkan cahaya.....14
10. Spektrum Gelombang Elektromagnetik 15
11. Spektrum Gelombang pada Cahaya Tampak 17
12. Diagram Jablonski untuk Molekul. 26
13. Diagram Jablonski.....29
14. Hubungan antara panjang gelombang dan intensitas cahaya 30
15. Nanofotometer 36
16. Nanofotometer 40
17. Timbangan digital 40
18. Thermoshaker 41
19. Gelas kimia 41
20. Lumpang dan Alu.....42
21. Tabung falkon 42
22. Sentrifugasi 43
23. Eppendorf 43
24. *Neonothopanus* spdari hutan Pesisir Selatan Sumatera Barat 44
25. Diagram prosedur isolasi jamur yang dilakukan 49
26. Diagram alir pengukuran sampel yang dilakukan dengan variasi temperatur.....50
27. Diagram alir pengukuran sampel yang dilakukan dengan variasi pH.....50
28. Diagram alir pengukuran sampel yang dilakukan dengan panjang gelombang 51

29. Diagram alir pengukuran sampel yang dilakukan denganvariasi waktu 51
30. Hubugan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada temperatur 5ºC.....54
31. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pada temperatur 10ºC.....55
32. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pada temperatur 15ºC.....55
33. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pada temperatur 20ºC.....56
34. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pada temperatur 25ºC.....56
35. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pada temperatur 30ºC.....57
36. Hubugan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pH 4.....58
37. Hubugan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pH 5.....58
38. Hubugan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pH 6.....59
39. Hubugan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pH 7.....59
40. Hubugan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pH 8.....60
41. Hubugan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pH 9.....60
42. Hubungan panjang gelombang maksimum 505 nm dengan Intensitas pemancaran cahaya jamur *Neonothopanus* sp.....61
43. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada waktu 20 detik 62
44. Hubugan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada waktu 40 detik.....62
45. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada waktu 60 detik.....63
46. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada waktu 80 detik.....63
47. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur bercahaya dengan Intensitas pada waktu 100 detik. 64

48. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur bioluminisensi dengan Intensitas pada waktu 120 detik. 64
49. Hubungan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada temperatur 5ºC- 30ºC 65
50. Hubugan panjang gelombang pemancaran cahaya jamur dengan Intensitas pada pH 4-pH 9.....66
51. Hubungan panjang gelombang maksimum 505 nm dengan Intensitas pemancaran cahaya jamur *Neonothopanus* sp 66
52. Hubungan Log Intensitas terhadap waktu peluruhan (t) dengan panjang gelombang 505 nm. 67
53. Hubungan variasi waktu dengan Intensitas Awal (Io) pemancaran cahaya pada jamur bercahaya. 68
54. Hubungan variasi waktu terhadap quantum yield pemancaran cahaya bercahaya. 69
55. Hubungan variasi waktu dengan jumlah foton (N) pemancaran cahaya jamur bercahaya. 69
56. Hubungan intensitas awal, jumlah foton dan quantum yield terhadap waktu 70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran **Halaman**

1. Pemancaran Cahaya Jamur dengan variasi temperatur 80
2. Pemancaran Cahaya Jamur dengan variasi pH 83
3. Pemancaran Cahaya Jamur dengan panjang gelombang 505 86
4. Pemancaran Cahaya Jamur dengan variasi waktu 86
5. Hubungan Intensitas dengan waktu pada panjang gelombang 505 nm 89
6. Perhitungan Intensitas , Konstanta Peluruhan, QuantumYield, Jumlah Foton dan Energi Aktivasi 90

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Banyak organisme yang dapat hidup dialam salah satunya organisme yang dapat memancarkan cahaya sendiri seperti: bakteri, fungi, kunang-kunang dan ikan. Pemancaran cahaya dari organisme tersebut dinamakan bioluminisensi yang terjadi pada makhluk hidup.Bioluminisensi adalah proses biologis dimana cahaya diproduksi dan dipancarkan oleh organisme hidup yang dihasilkan dari reaksi kimia dalam tubuh organisme (Ilondu dan Okiti, 2016). Reaksi kimia Reaksi kimia yang terjadi pada organisme hingga menghasilkan cahaya melibatkan luciferin (substrat), lucifcerase (enzim) dan molekul oksigen. Luciferin merupakan substrat yang dapat melawan suhu panas dan menghasilkan cahaya sedangkan luciferase merupakan sebuah enzim yang dapat mengkatalis serta oksigen sebagai bahan bakar. Proses reaksi dimulai dari substrat luciferin yang dikatalis oleh enzim (luciferases) yang dipengaruhi oksigen. Hasil reaksi luciferase akan tereksitasi sehingga kembali ke keadaan dasar sampai memancarkan cahaya (Vinodkumar & Sarita, 2016).

Perkembangan bioluminisensi saat ini telah banyak ditemukan secara alami pada berbagai macam makhluk hidup, seperti jamur, bakteri, dan organisme perairan, hewan vetebrata terrestrial, amfibi, dan mamalia (Vincent, 2006). Perkembangan bioluminisensi makhluk hidup yang menjadi perhatian saat ini adalah jamur. Jamur (fungi) merupakan mikroorganisme tidak berklorofil, berbentuk hifa dan sel tunggal eukariotik, berdinding sel dari kitin dan selulosa berproduksi seksual dan aseksual. Jamur memiliki berbagai cara untuk

mempertahankan hidupnya seperti memancarkan cahaya pada sebagian jamur sehingga dikenal dengan jamur bercahaya. Peningkatan jumlah studi pada jamur bercahaya telah diamati beberapa tahun terakhir karena penggunaannya dari 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 dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang. Dalam bidang ekologi mikroorganisme bioluminisensi digunakan untuk biosensor dengan indikator jamur. Penggunaan jamur sebagai indikator untuk memantau pencemaran lingkungan. Penggunaan biosensor bioluminisensi pencemaran lingkungan dapat diketahui lebih cepat berdasarkan penurunan cahayanya(Bundy dkk, 1997).Dalam bidang biomedis sebagai pendeteksi sel kanker yang terdapat dalam tubuh secara lebih cepat melalui suatu teknologi baru yang disebut *bioluminescence imaging* (BLI).Dengan menggunakan BLI ukuran dan lokasi sel kanker dalam tubuh dapat diketahui sehingga tindakan perawatan yang tepat dapat ditentukan. Penemuan ini juga dapat mempermudah riset dalam mengetahui obat kanker yang efektif serta memudahkan pemantauan perkembangan sel kanker yang telah dideteksi (Brock, 2012).

Penelitian mengenai jamur bercahaya telah dimulai 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 (Ilondu dan Okiti, 2016).

Selanjutnya Mori, dkk pada tahun 2011 melakukan penelitian mengenai bioluminisensi terhadap panjang gelombang maksimum jamur bercahaya *Mycena chlorophos* yang dipengaruhi oleh pH sehingga menghasilkan panjang gelombang maksimum 530 nm pada pH 6. Kemudian Teranishi 2016, melakukan penelitian pada jamur bioluminisesni (*Mycena chlorophos*), penelitian yang dilakukan oleh Teranishi adalah mengamati pancaran cahaya hijau terang dari pileusnya pada suhu 20^0 dengan kelembapan relatif.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 serta panjang intensitas maksimum dari cahaya yang dihasilkan jamur bercahaya.

Sari dan Ratnawulan (2014) telah meneliti tentang karakteristik fisis pemancaran cahaya kunang-kunang terbang (Pteroptyx Tener). Dari penelitian tersebut didapatkan absorbansi maksimum dari kunang-kunang terbang pada panjang gelombang 540 nm dengan gelombang cahaya tampak yang dipancarkan adalah warna kuning kehijauan. Konstanta peluruhan dari pemancaran cahaya kunang-kunang terbang 0,0046. Nilai quantum yield relatif yaitu 0,568 Light Unit dan foton yang dipancarkan yaitu $9{,}93209\times10^{11}$quanta/detik dengan energi aktivasi 2,302 eV. Namun pada penelitian ini hanya meneliti baru meneliti pada kunang-kunang dan belum dilakukan pada jamur.

Penelitian selanjutnya dilakukan pada jamur oleh Zahra dan Ratnawulan (2019) telah meneliti tentang karakteristik fisis pemancaran cahaya jamur *Mycena noctilucens* pada panjang gelombang 510 nm dengan gelombang yang dipancarkan kehijauan. Konstanta peluruhan dari pemancaran cahaya jamur

Mycena noctilucens 0,0048/detik. Jumlah foton yang dipancarkan tiap variasi waktu oleh jamur bercahya (*Mycena noctilucens)* sebesar 9,06436 quanta/detik dengan energi aktivasi 2,4375 eV.

Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dijelaskan sebelumnya, dari penelitian tentang bioluminisensi, terlihat bahwa setiap daerah memiliki karakteristik fisis pemancaran cahaya yang berbeda, hal ini diakibatkan karena adanya perbedaan pH dan temperatur suatu daerah. Perbedaan pH dan temperatur mempengaruhi pemancaran cahaya. Selain itu, karakteristik fisis pemancaran cahaya akan berbeda jika spesies berbeda.

Di daerah hutan Pesisir Selatan , Sumatera Barat, Indonesia ditemukan jamur bercahaya spesies (*Neonothopanus* sp*)*. Informasi fisis tentang jamur bercahaya spesies pada daerah ini belum ada yang mengungkap. Meskipun sudah banyak penelitian tentang jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp*)* secara internasional maupun nasional, tetapi perbedaan daerah menyebabkan perbedaan karakteristik fisis pemancaran cahaya jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp*)*.

Karakteristik fisis dari jamur bercahaya dapat diketahui dari panjang gelombang, konstanta peluruhan, jumlah foton, nilai *quantum yield* dan energi aktivasi. Panjang gelombang pada bercahaya dapat menggambarkan warna cahaya yang dipancarkan. Panjang gelombang setiap organisme bioluminisensi berbeda-beda tergantung dari pH dan temperatur dari habitat organisme bioluminisensi tersebut. Jadi untuk mengetahui panjang panjang gelombang dan karakter fisis dari pemancaran cahaya jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp) diperlukan optimasi dari pH dan temperatur. Optimasi pada temperatur dapat dilakukan dengan menggunakan alat Thermoshaker pada pH dapat dilakukan dengan

menggunakan larutan HCL untuk pH asam dan NaOH untuk pH basa. Fenomena bioluminisensi ini sangat menarik untuk diteliti, karena setiap organisme bioluminisensi dapat memancarkan cahaya dengan warna yang beraneka ragam. Pemancaran cahaya dengan warna yang beragam dipengaruhi lingkungan organisme bioluminisensi berada sehingga menghasilkan karakteristik sifat fisis yang berbeda dari setiap organisme.Berdasarkan latar belakang diatas maka peneliti tertarik untuk mengangkat judul ini "***Optimasi Kondisi Optimum Pemancaran Cahaya Jamur (Neonothopanus* sp*) Bioluminisensi Dari Daerah Hutan Pesisir Selatan Sumatera Barat*".**

B. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Temperatur optimum dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp)
2. pH optimum dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp).
3. Panjang gelombang pada intensitas maksimum dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp).
4. Karakteristik fisis (Jumlah foton (N), Quantum yield relatif (Q), Energi Aktivasi (Ea), Konstanta Peluruhan (K) dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp).

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan permasalahan yaitu:

1. Berapa temperatur optimum dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp)?

2. Berapa pH optimum dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp) ?
3. Berapa panjang gelombang yang dihasilkan intensitas relatif maksimum dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp) ?
4. Bagaimana Karakteristik fisis Jumlah foton (N), Quantum yield relatif (Q), Energi Aktivasi (Ea), Konstanta Peluruhan (K) dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp)?

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini:

1. Mengetahui temperatur optimum dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp).
2. Mengetahui pH optimum dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp).
3. Mengetahui panjang gelombang pada intensitas relatif maksimum dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp).
4. Mengetahui Karakteristik fisis Jumlah foton (N), Quantum yield relatif (Q), Energi Aktivasi (Ea), Konstanta Peluruhan (K) dari pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp).

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Peningkatan pemahaman dalam ilmu fisika material dan Biofisika yang berkaitan dengan melihat sifat fisis dari optimasi pemancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp).

2. Memberikan informasi mengenai karakteristik fisis jamur dengan melihat nilai jumlah foton, nilai konstanta peluruhan dan nilai quantum yield dari pancaran cahaya pada jamur bercahaya (*Neonothopanus* sp).
3. Sebagai salah satu syarat bagi peneliti menyelesaikan strata satu di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.
4. Sebagai referensi dalam pengembangan penelitian tentang material terutama dalam bidang bioluminisensidan dapat menjadi sumber ide bagi peneliti lainnya.
5. Untuk menambah pengetahuandan memperluas wawasan dalam bidang kajian material serta dalam pengembangan aplikasinya dalam berbagai bidang.

BAB II

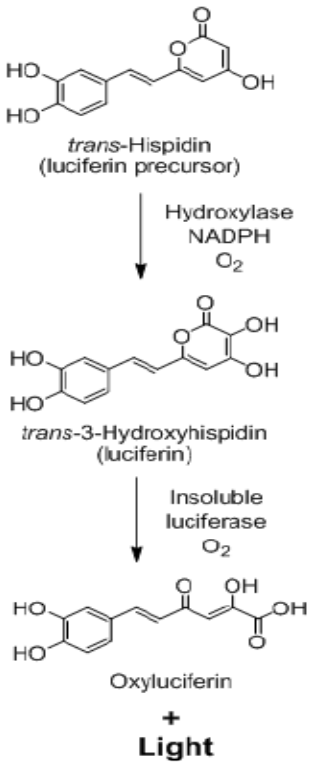
KAJIAN TEORI

A. Jamur Bioluminisensi

Jamur adalah mikroorganisme tidak berklorofil, berbentuk hifa atau sel tunggal, eukariotik, berdinding sel dari kitin atau selulosa, berproduksi seksual atau aseksual. Dalam dunia kehidupan fungi merupakan kingdom tersendiri, karena cara mendapatkan makanannya berbeda dengan organisme eukariotik lainnya yaitu melalui absorpsi. 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. Jamur juga memiliki pileus (tutup), dan benang miselia dalam kombinasi atau secara terpisah yang merupakan bagian bioluminisensi dari jamur yang menyebabkan spora terlihat bercahaya (Ilondu& Okiti, 2016).

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).

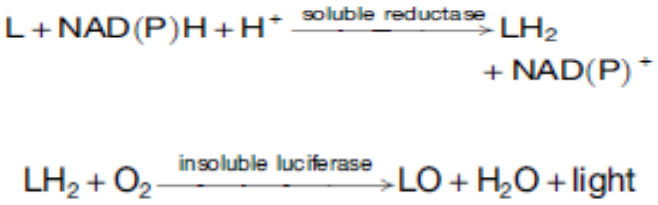
Bioluminisensi dalam jamur telah dihipotesiskan untuk menarik invertebrata yang membantu penyebaran spora (Ilondu& Okiti, 2016).Sehingga jamur tersebut bisa berkembang biak sebanyak-banyaknya. Jamur bercahaya hanya memancarkan cahaya untuk jangka waktu tertentu (periode) dari siklus hidupnya. Setelah 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 1.



Gambar 1. Mekanisme kimia bioluminisensi jamur (Teranishi, 2018)

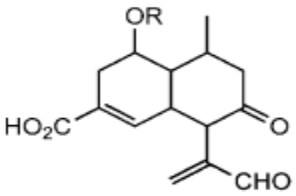
Jamur bioluminisensi ini diterapkan untuk aplikasi bioteknologi seperti sistem luciferase dalam rekayasa genetika sebagai gen reporter, pemantauan

lingkungan, dan ekstraksi logam berat (Vinodkumar, 2016). Reaksi kimia jamur bioluminisensi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. 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 3.



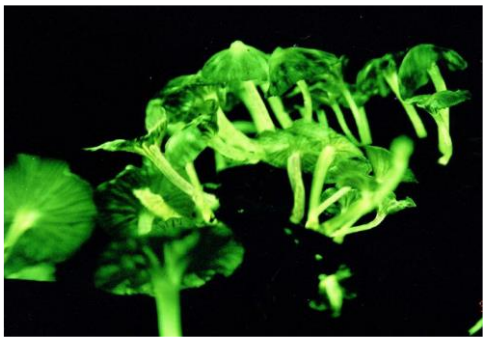
Gambar 3. Struktur kimia Luciferin jamur.

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 4.



Gambar 4. Jamur *Mycena lucentipes* (Bechara, 2015).

Sebagaimana dilaporkan oleh Stevani (2013) 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 5. Pemancaran cahaya jamur dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 5. Jamur *Omphalotus nidiformis* (Weinstein, 2016).

Gambar 6. 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, 2018). 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 7. dan saat memancarkan cahaya dapat dilihat pada Gambar 8.

Gambar 7. Jamur *Neonothopanus gardneri* (Capelari, 2011)

Gambar 8. Jamur *Neonothopanus gardneri* saat memancarkan cahaya (Capelari, 2011)

5. *Neonothopanus nambi*

Neonothopanus nambi adalah jamur luminisensi beracun dengan karakteristik morfologi yang mirip jamur tiram. Jamur *Neonothopanus nambi*

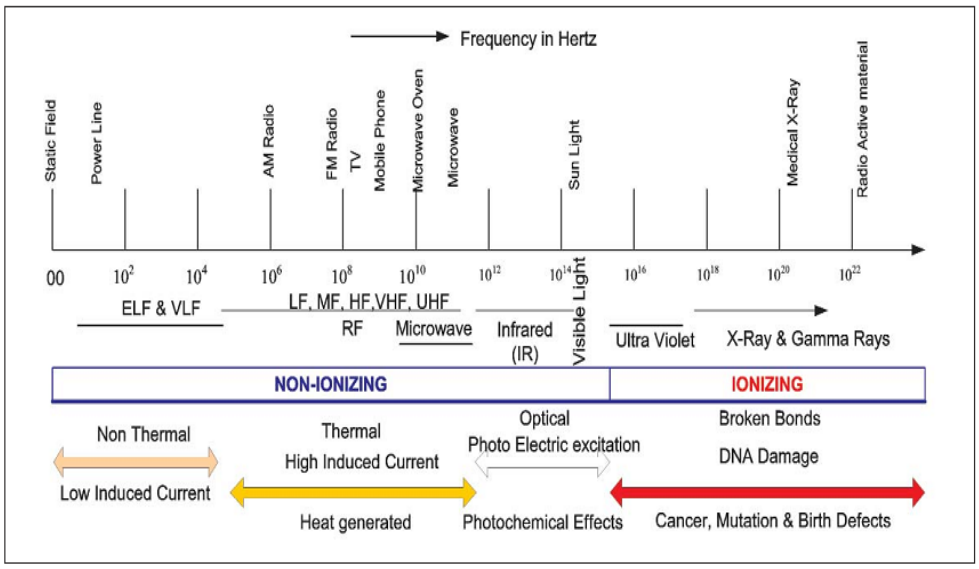
ditemukan pada kayu mati di hutan berdaun lebar di timur laut Thailand. Jamur *Neonothopanus nambi* adalah jamur insang dengan topi putih, dan ujung pendek. Dalam kondisi gelap, jamur bercahaya ini memiliki cahaya hijau kekuningan. Luminescent jamur bercahaya *Neonothopanus Nambi*, yang ditemukan di hutan tropis Vietnam Selatan dan pada awalnya digambarkan sebagai spesies *Omphalotus af. Illudent.* Bondar menemukan bahwa spektrum luminescent *Neonothopanus Nambi*terletak pada rentang panjang gelombang 480-700 nm (Bondar, 2011). Jamur *Neonothopanus nambi* dapat dilihat pada Gambar 9.

Gambar 9. Jamur *Neonothopanus nambi* saat memancarkan cahaya (Sangsopha et al., 2019)

B. Cahaya dan Intensitas Cahaya

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

tidak memerlukan media. Ada beberapa contoh gelombang elektromagnetik selain cahaya diantaranya gelombang radio, gelombang mikro, sinar-x, sinar gamma, sinar inframerah dan sinar ultraviolet. Sinar dengan panjang gelombang besar, yaitu gelombang radio dan infra merah, mempunyai frekuensi dan tingkat energi yang lebih rendah. Sinar dengan panjang gelombang kecil, ultra violet, sinar x atau sinar rontgen, dan sinar gamma, mempunyai frekuensi dan tingkat energi yang lebih tinggi. Berdasarkan perbedaan panjang gelombang dan frekuensinya, gelombang elektromagnetik dapat disusun dalam bentuk spektrum. Gambar 10 memperlihatkan spektrum gelombang elektromagnetik.



Gambar 10. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

(Zamanian & Hardiman, 2005)

Cahaya merupakan sebagian dari gelombang elekromagnetik 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 6x1015 Hz hingga 20x1015 Hz. Dua properti cahaya yang paling jelas dapat langsung

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

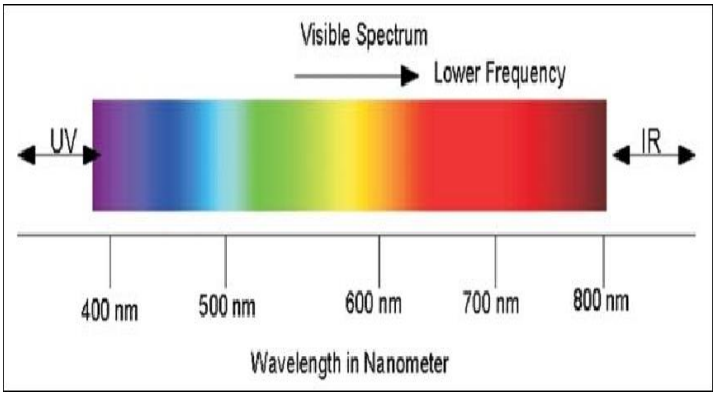
Tabel 1.Panjang dan Frekuensi Gelombang Elektromagnetik.

No	Gelombang Elektromagnetik	Panjang Gelombang (m)	Frekuensi(Hz)
1	Gelombang Radio	$10^{-1} – 1s0^{4}$	$10^{9} – 10^{4}$
2	Gelombang Mikro	$10^{-3} – 10^{-1}$	$10^{11} – 10^{9}$
3	Inframerah	$10^{-7} – 10^{-3}$	$10^{14} – 10^{11}$
4	Cahaya tampak	$4 – 7\times10^{-7}$	$7.5 – 4.3\times10^{14}$
5	Ultraviolet	$10^{-8} – 7\times10^{-7}$	$10^{16} – 10^{14}$
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. 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 11. memperlihatkan spektrum gelombang pada cahaya tampak (Zamanian & Hardiman, 2005). Dan panjang gelombang dan frekuensi cahaya tampak dapat dilihat pada Tabel 2. (Young, 2001).



Gambar 11. Spektrum Gelombang pada Cahaya Tampak

(Zamanian& Hardiman, 2005)

Tabel 2. Panjang Gelombang dan Frekuensi Cahaya Tampak

Cahaya Tampak	Panjang Gelombang (nm)	Frekuensi Gelombang (Hz)
Ungu	400-450	$7{,}5\times10^{14} - 6{,}7\times10^{14}$
Biru	450-495	$6{,}7\times10^{14} - 6\times10^{14}$
Hijau	495-570	$6\times10^{14} - 5{,}3\times10^{14}$
Kuning	570-590	$5{,}3\times10^{14} - 5{,}1\times10^{14}$
Jingga	590-620	$5{,}1\times10^{14} - 4{,}8\times10^{14}$
Merah	620-750	$4{,}8\times10^{14} - 4\times10^{14}$

(Young, 2001)

Cahaya mempunyai dua sifat yaitu sifat gelombang dan sifat partikel. Sifat partikel cahaya umumnya dinyatakan dalam foton atau kuanta, 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).

C. Bioluminisensi

Bioluminisensi telah diketahui sejak zaman dahulu dengan jamur bioluminisensi yang di dokumentasikan oleh Aristotles (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 dan Okiti, 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 dibanyak 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).

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 disintetis 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.

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 : NADPH (energi) + luciferin (substrat) + luciferase (enzim) + O_2 (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.Bioluminesensi jamur telah berkembang sejak zaman Yunani kuno. Dimulai dari penemuan tubuh buah-buahan dari beberapa spesies menghasilkan cahaya bercahaya yang terang, yang dapat dilihat dengan mudah dengan mata. Pendaran ekstrak bebas sel dari jamur bercahaya ditunjukkan oleh Airth dan McElroy dengan emisi cahaya yang dicapai oleh menambahkan nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADPH) ke campuran air dingin dan panas ekstrak dibuat dari miselium dari Collybia velutipes dan Armillaria mellea fungi. "Ekstrak dingin dan panas" ini diperkenalkan oleh Dubois. Dia menemukan bahwa ekstraksi biomassa kumbang bercahaya dengan air dingin mengawetkan aktivitas enzimatik luciferase, sedangkan ekstraksi yang sama menggunakan air panas mendenaturasi enzim untuk membiarkan substrat luminesensi berat molekul rendah luciferin (Purtov, 2015).

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 (grown 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 electron
Mechanoluminisensi	Emisi cahayayang dihasilkan dari setiapaksi mekanik
Triboluminisensi	Beberapa cahayamineralbiladigosok
Fractoluminisensi	Disebabkan oleh gangguanyang dihasilkan oleh patah tulang
Sonoluminisensi	Emisicahayasingkatdariledakan dengan suara yang sangat besar
Fotolumineseni	Energi cahaya, biasanyaUV/ cahaya tampak, jugameliputi laserdiinduksifluoresensi

(Khalid, 2008)

Dari beberapa jenis luminisensi pada Tabel 2, 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 Bosidiomycetes (Mori, 2011).

D. 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 kekeadaan dasar yang disertai dengan pancaran cahaya tampak ($h\nu$). Reaksi bioluminisensi dapat ditulis dalam bentuk:

$$\Delta H \rightarrow \Delta H^* \rightarrow h\nu \quad (1)$$

Dari persamaan (1) 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:

$$\Delta H \rightarrow \Delta H^* \quad (2)$$

2. Langkah Kemiluminisensi

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

pada organisme hidup inilah yag disebut dengan bioluminisensi. Langkah kemiluminisensi dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$\Delta H^* \rightarrow h\nu \quad (3)$$

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.

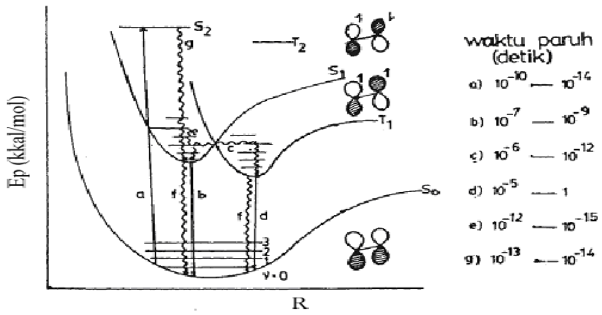
Ketika suatu molekul yang berada pada keadaan dasar pindah ke keadaan tereksitasi, maka molekul tersebut akan menyerap energi (absorbsi). Eksitasi ini dapat ditimbulkan oleh absorbsi gelombang elektromagnetik, absorbsi thermal atau reaksi kimia seperti reaksi bioluminisensi. Proses absorbsi untuk berbagai 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 kemungkianan seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram Jablonski untuk Molekul (Ratnawulan, 2008).

Suatu transisi spekrum yaitu suatu garis absorbsi yang ditandai dengan huruf *a*, merupakan selisih energi antara 2 keadaan molekul yang melakukan absorbsi energi. Bila molekul mengabsorbsi energi hanya pada panjang gelombang tunggal maka spektrum akan terdiri dari garis-garis tunggal. Emisi radiasi yang menghasilkan peralihan molekul dari keadaan tereksitasi keeadaan 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 kekeadaan 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.

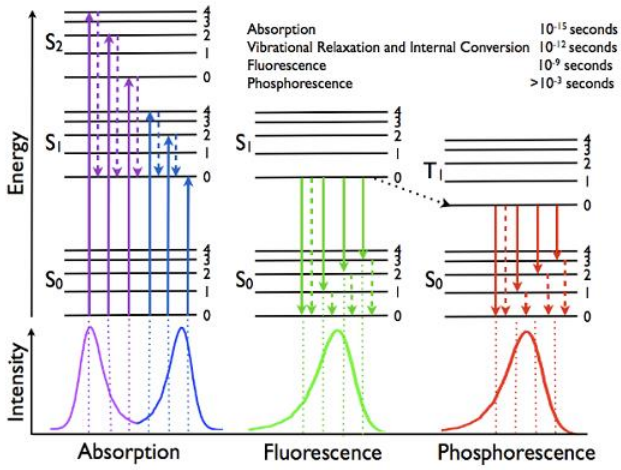
Fluoresensi adalah emisi cahaya oleh suatu zat yang telah menyerap cahaya atau radiasi elektromagnetik lain dari panjang gelombang yang berbeda. Dalam beberapa kasus, emisi cahaya memiliki panjang gelombang yang lebih panjang, oleh karena itu energinya lebih rendah, dibandingkan dengan radiasi yang diserap.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

Fosforensi 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 (Sari dan Ratnawulan, 2013).

Proses transisi tingkat energi dapat dilihat pada Gambar 13 berikut.



Gambar 13. Diagram Jablonski merangkum transisi tingket energi

(Lee, 2017)

Gambar 13 disebut Diagram Jablonski, berguna untuk menggambarkan transisi energi atom dan molekul. Pada bagian bawah gambar, distribusi spektrumdari setiap transisi diilustrasikan dengan panjang gelombang meningkat ke kanan dan energi berkurang. Garis vertikal menunjukkan transisi energi. Hampir semua energi memiliki energi terendah atau keadaan dasar dengan semua

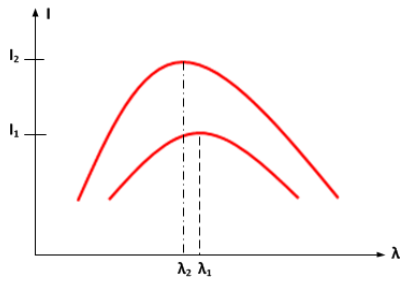
elektron berpasangan, yang dikenal dengan keadaan singlet, dan karena itu ditunjuk dalam

diagram sebagai S_0 untuk tingkat nol, S_1 untuk selanjutnya, dan seterusnya. Oksigen dan nitrat oksida tidak biasa dalam elektron yang memiliki spin paralel di keadaan dasar, dan keadaan seperti itu disebut keadaan triplet. Biasanya, energi triplet berada di atas S_0. Mereka diberi label "T" dalam diagram Jablonski.Lapisan atas pada setiap keadaan disebut mode getaran yang sedikit lebih tinggi, yang ditandai dengan garis horizontal bernomor 1, 2, 3, 4 dan seterusnya (Lee, 2017).

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 14.



Gambar 14. Hubungan antara panjang gelombang dan intensitas cahaya

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

$$I = -\frac{d(E_x)}{dt} = k(E_x) \quad (4)$$

dan

$$\frac{dI}{dt} = -kI \quad (5)$$

Dengan mendifferensialkan persamaan (6) akan diperoleh persamaan:

$I = I_0 e^{-kt}$ (6)

3. Konstanta Peluruhan

Konstanta peluruhan adalah ketetapan dari peristiwa penyusutan jumlah molekul molekul dari tidak stabil menjadi stabil. Dari persamaan (6) dapat juga dinyatakan dalam bentuk persamaan (7), sehingga dapat dicari konsatanta peluruhan:

$$\log I = \log I_0 - \frac{k}{2{,}303} t \quad (7)$$

dengan I_0 adalah intensitas awal cahaya

I adalah intensitas akhir cahaya

k adalah konstanta peluruhan

t adalah waktu peluruhan

4. 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:

$$N = cq = \int_0^{\sim} \square dt \qquad (8)$$

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

$$\log I = - k/2{,}03t + \log I_0 \qquad (9)$$

Maka didapatkan

$$cq = I_0/k \qquad (10)$$

5. 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. Energi foton ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda} \qquad (11)$$

Dimana : E adalah energi

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

λ adalah panjang gelombang

6. 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.

$$\text{Ea} = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}\frac{1}{1{,}6\frac{10^{-19}j}{eV}} \quad (12)$$

F. Faktor- faktor yang Mempengaruhi Intensitas Pemancaran Cahaya

Proses bioluminisensi pada organisme dapat dipengaruhi oleh temperatur dan pH dari lingkungan organisme berada. Temperatur dan pH yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan denaturasi pada organisme bioluminisensi sehingga menurunkan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh organisme bioluminisensi. Sehingga diperlukan kondisi optimum dari lingkungan dari organisme bioluminisensi saat memancarakan cahaya (Ratnawulan, 2008). Temperatur dan pH berpengaruh signifikan terhadap bioluminisensi jamur

bercahaya seperti *Ammilaria mellea, Mycena citricolor, Omphalotus oleorius, Panellus stipticus* yang terjadi pada tempertur optimum 10^{o}C-25^{o}C yang terjadi pada malam hari (weitz, 2001). Kondidsi pH dari pada *Mycena chlorophos, Neonothopanus nambi, Neonothopanus gardneri* mengalami bioluminisensi pada pH rentangan 6-8 (Kaskova, 2017) .

1. Temperatur lingkungan

Temperatur adalah suatu ukuran dingin atau panasnya keadaan lingkungan. Satuan ukur dari temperatur yang banyak digunakan adalah ^{o}C. Temperatur dapat mempengaruhi organisme yang berada disekitar lingkungan seperti organisme bioluminisensi.Temperatur dapat mempengaruhi intensitas cahayadari organisme bioluminisensi. Intensitas cahaya dari organisme bioluminisensi yang dipengaruhi terjadi pada enzim yang berperan menghasilkan cahaya. Enzim bersifat termolabil yaitu aktivitas enzim dipengaruhi oleh temperatur. Aktivitas enzim dapat meningkat sampai batas temperatur (optimum). Jika enzim berada dibawah temperatur optimum maka kerja enzim akan terhambat. Kenaikan temperatur dapat meningkatkan aktivitas enzim, namun jika temperatur melebihi batas optimum enzim dapat mengalami denaturasi. Denaturasi adalah kerusakan yang terjadi pada enzim yang menyebabkan enzim tidak dapat menkatalis senyawa. Temperatur yang mempengaruhi pemancaran cahaya organisme bioluminisensi terjadi pada *Photobacterium phosporeum*. Pemancaran cahaya yang terjadi *Photobacterium phosporeum*dengan variasi temperatur intensitas maksimum pada temperatur 25^{o}C (Ratnawulan, 2008). Pada bioluminisensi jamur bercahaya *mycena clorophos* pemancaran cahaya paling terang pada temperatur sedang berkisar pada 20^{o}C -30^{o}C. Temperatur yang terlalu

tinggi atau rendah pada bioluminisensi jamur bercahaya *mycena clorophos* menyebabkan enzim rusak akan mengakibatkan intensitas cahaya jamur menurun(mori, dkk 2011). Bioluminisensi jamur redup untuk dilihat oleh hewan pada pada siang hari tetapi mudah terlihat pada malam hari bahkan jamur cahaya yang berukuran paling kecil pun terlihat terang pada malam hari karena pengaruh dari temperatur lingkungan jamur hidup.

2. pH lingkungan

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasahan suatu larutan. Pada lingkungan pH menyatakan tingkat keasaman atau kebebasan yang mempengaruhi organisme suatu lingkungan. Organisme yang dapat dipengaruhi pH adalah organisme bioluminisensi. pH dapat mempengaruhi intensitas cahaya dari organisme biolumnisensi. Intensitas cahaya yang dipengaruhi organisme bioluminisensi terjadi pada enzim yang berperan menghasilkan cahaya. Enzim adalah protein globular, bentuk dan fungsinya dapat dipenaruhi oleh perubahan pH disekitarnya. Enzim memiliki pH optimum yang dapat bersifat basa maupun asam berkisar 6-8. Perubahan pH mengakibatkan sisi aktif enzim berubah keefektifannya dalam membentuk kompleks enzim-substrat, sehingga dapat menghalangi terikatnya substrat pada sisi aktif enzim. Perubahan pH yang terlalu tinggi atau rendah dapat menyebabkan denaturasi pada enzim.pH yang mempengaruhi pemancaran cahaya organisme bioluminisensi terjadi pada *Photobacterium phosporeum*. Pemancaran cahaya yang terjadi *Photobacterium phosporeum* dengan intensitas maksimum pada pH 7 (Ratnawulan, 2008). Berdasarkan penelitian dari Mori dkk, 2011 pada bioluminisensi jamur bercahaya *mycena clorophos* pemancaran cahaya paling terang pada intensitas sedang

berkisar pada pH 6. pH yang terlalu tinggi atau rendah pada bioluminisensi jamur bercahaya *mycena clorophos* menyebabkan enzim rusak akan mengakibatkan intensitas cahaya jamur menurun.

3. Kadar Oksigen

Kadar oksigen merupakan komponen penting yang berpengaruh dalam reaksi bioluminisensi pada organisme. Kadar oksigen dapat disuplai dari lingkungan luar oerganisme bioluminisensi. Tanpa menggunakan oksigen organisme bioluminisensi tidak akan dapat menghasilkan cahaya (Ratnawulan, 2008).

G. Nanofotometer

Nanofotometer adalah pengukuran panjang gelombang dan intensitas sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang diabsorbsi 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. Nanofotometer dapat dilihat pada Gambar 15.

Gamba 15. 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 :

$$T = I/Io \quad (13)$$

Dimana : I adalah Intensitas cahaya setelah melewati sampel

Io adalah Intensitas cahaya awal

Hubungan Absorbsi dengan %T :

$$A = -\text{Log } T = -\text{Log}\frac{I}{Io} \quad (14)$$

$$T = \frac{I}{Io} = 10^{-A} \quad (15)$$

$$\%T = \frac{I}{Io} x100 \quad (16)$$

$$A = -\text{Log}T = \text{Log}(\frac{1}{T}) \quad (17)$$

Absorbansi terjadi pada saat foton masuk bertumbukan langsug 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. Asorbansi dari energi cahaya dapat menyebabkan elektron tereksitasi ke tingkat energi yang lebih

tinggi apabila energi yang diabsorbsi 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. Temperatur optimum dari pemancaran cahaya jamur bercahaya *Neonothophanus* sp pada temperatur 15^{o}C.
2. pH optimum dari pemancaran cahaya jamur bercahaya *Neonothophanus* sp terjadi pada pH 8.
3. Panjang gelombang intensitas maksimum dari jamur bercahaya *Neonothophanus* sp sebesar 505 nm. Panjang gelombang 505 nm tergolong pada panjang gelombang cahaya tampak yang dipancarkan oleh jamur bercahaya *Neonothopanus* sp dengan warna hijau. Panjang gelombang yang diperoleh sesuai dengan teori yaitu panjang gelombang pada spesies *Neonothopanus* sp berkisar antara 480 nm hingga 700 nm.
4. Karakteristik FisisFoton yang dipancarkan yaitu 9038,21 x 10^{9} quanta/detik, Nilai *quantum yield* dari adalah 13,78. Konstanta peluruhan adalah 0,00009/detik.Energi aktivasi yang dihasilkan pada pancaran cahaya padajamur bercahaya *Neonothopanus* spadalah 2,4375 eV.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk perlu melakukan identifikasi terhadap jenis jamur terlebih dahulu. Karena jika tidak dilakukan identifikasi terlebih dahulu akan menghasilkan penelitian kurang maksimal dalam memanfaatkan jamur pada penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Bechara, Etelvino J.H. 2015. *Bioluminescence: A Fungal Nightlight with an Internal Timer*: Departamento de Quı´mica Fundamental, Instituto de Quı´mica, Universidade de Sao Paulo,Brazil:Cell Press.

B. Halliwell and J. M. C. Gutterridge. 2007. *Free Radicals in Biology and Medicine*. 4th edn, Oxford University Press, Oxford. pp. 302.

Bondar, V. S., Puzyr, A. P., Purtov, K. V., Medvedeva, S. E., Rodicheva, E. K., & Gitelson, J. I. 2011. The luminescent system of the luminous fungus Neonothopanus nambi. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, *438*(1), 138–140. https://doi.org/10.1134/S1607672911030082

Brock, M. (2012). Application of bioluminescence imaging for in vivo monitoring of fungal infections. *International Journal of Microbiology*, *2012*. https://doi.org/10.1155/2012/956794

Bundy, J. G. et al. 1997. *Application of bioluminescence-based microbial biosensors to the ecotoxicity assessment of organotins.* Letters in Applied Microbiology 25(5): 353–58.

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 Frefly Photinus Pyralis.*

Desjardin, D.E., Capelari, M., and Stevani, C.V. 2007. *Bioluminescent Mycena species from Sa˜ o 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, D. E., Perry, B. A., & Stevani, C. V. (2016). New luminescent mycenoid fungi (Basidiomycota, Agaricales) from São Paulo State, Brazil. *Mycologia*, *108*(6), 1165–1174. https://doi.org/10.3852/16-077.

Esimbekova, E. 2014. *Bioluminescence: fundamentals and applications in biotechnology. 1*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany pp. 67-197.

Finkenthal, Daniel. 1996. *Introduction to the Electromagnetic Spectrum*. General Atomics.

Gajendra, Babu dan M. Kannan. 2002. *Lightning Bugs.*India:Tamil Nadu Agricultural University Coimbatore.

Giancoli, Douglas, C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid* 2. Jakarta:Erlangga.

Holsa, Jorma. 2009. *Persistent Luminisensi Beats the Afterglow:400 Years of Persistent Luminisensi*. Electrochemical Society Interface,42-45.

Ilondu, E. M., & Okiti, A. A. 2016. Bioluminescence in Mushroom and Its Application Potentials. *Nigerian Journal of Science and Environment*, *14*(1), 132–139.

Jess S, Bingham J. 2004. *The spectral specific responses ofLycoriella ingenua and Megaselia halterata during mushroom cultivation*. Journal of Agricultural Science142: 421–430.

John, G. Burr. 1985. *Chemi- and Bioluminescence*. Inggris: CRC Press. Hal.321-323:331-332.

Kaskova, Z. M., Dörr, F. A., Petushkov, V. N., Purtov, K. V., Tsarkova, A. S., Rodionova, N. S.,& Baranov, M. S. (2017). Mechanism and color modulation of fungal bioluminescence. *Science advances*, *3*(4), e1602847.

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.

Lee, John. 2017. *The Nature of The Light*. The University of Georgia.

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 onfungal bioluminescence*. Current Biology 25, 1–5.

Petersen RH, Krisai Greihuber, Irmgard. 1999. J*enis studi spesimen di pleurotus Personia -Filogeni Molekuler dan evolusi jamur*. 17(2), 201-219.

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.

Purtov, K. V., Petushkov, V. N., Baranov, M. S., Mineev, K. S., Rodionova, N. S., Kaskova, Z. M., & Medvedeva, S. E. (2015). The chemical basis of fungal bioluminescence. *Angewandte Chemie*, *127*(28), 8242-8246

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 Baktei Photobacterium Phosporeum.*Padang:Universitas Negeri Padang Press.

Sangsopha, W., Lekphrom, R., Schevenels, F. T., Saksirirat, W., Bua-Art, S., Kanokmedhakul, K., & Kanokmedhakul, S. (2019). New p-terphenyl and benzoquinone metabolites from the bioluminescent mushroom Neonothopanus nambi. *Natural Product Research*, *0*(0), 1–8. https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1578763

Sari, Melfita, Ratnawulan, dan Gusnedi. 2013. *Karakteristik Fisis Pemancaran Cahaya Kunang - Kunang Terbang (Pteroptyx Tener***)**. Pillar Of Physics, Vol. 1. April 2014, 113-120

Shimomura, O. 2006. *Bioluminescence: chemical principles and methods Singapore*. World publishing Company. Public liability company limited. p.470.

Stevani, C.V, Oliveira. 2009. *Theenzymatic 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.

Teranishi K. 2016. *Bioluminescence: A combination of NADHP and hispidin is not essential for bioluminescence in luminous fungal living gills of Mycena chlorophos. Luminescence, 32*(5), 866-872.

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, K., & Sarita, H. (2016). *A Review on Bioluminescent fungi : A Torch of Curiosity*. *2*.

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/imafungus.2016.07.02.01.

Weitz, H. J., Ballard, A. L., Campbell, C. D., & Killham, K. (2001). The effect of culture conditions on the mycelial growth and luminescence of naturally bioluminescent fungi. *FEMS microbiology letters*, *202*(2), 165-170.

Young dan Freedman. 2001. *Fisika Universitas Jilid 2.* Jakarta:Erlangga.

Zahra dan Ratnawulan. (2019). Karakteristik Fisis Bioluminisensi Jamur (*Mycena Nocticucens*) Dari Labuak Labu, Dhamasraya, Sumatera Barat. Pillar Of Physics.

Zamanian, B. A., & Hardiman, C. (2005). *and Human Health : A Review of Sources and Effects*. *July*.