

**ISOLASI, UJI FITOKIMIA DAN AKTIVITAS ANTIBAKTERI
JAMUR ENDOFIT PADA BUNGA SAMBILOTO
(*Andrographis paniculata* (Burm.f.) Ness)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains



**Oleh :
RANI AULIA SUHANAH
NIM/TM. 17036136/2017**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

PERSETUJUAN SKRIPSI

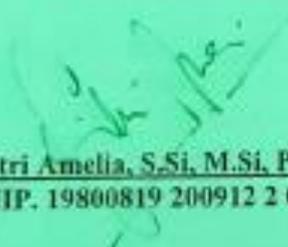
**ISOLASI, UJI FITOKIMIA DAN AKTIVITAS ANTIBAKTERI
JAMUR ENDOFIT BUNGA SAMBILOTO
(*Andrographis Paniculata* (Burm.f.) Ness)**

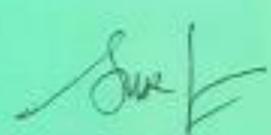
Nama : Rani Aulia Suhanah
NIM : 17036136
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Februari 2022

Mengetahui:
Ketua Jurusan

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing


Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19800819 200912 2 002


Dra. Survelita, M.Si
NIP. 19640310 199112 1 001

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Rani Aulia Suhanah
NIM : 17036136
Tempat/Tanggal lahir : Dumai/ 12 Juli 1999
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : **Isolasi, Uji Fitokimia dan Aktivitas Antibakteri
Jamur Endofit Bunga Sambiloto (*Andrographis
Paniculata* (Burm.f.) Ness)**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani Asli oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi

Padang, Februari 2022

Yang menyatakan



Rani Aulia Suhanah

NIM : 17036136

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

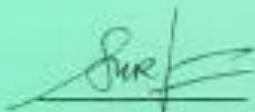
Nama : Rani Aulia Suhanah
NIM : 17036136
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**ISOLASI, UJI FITOKIMIA DAN AKTIVITAS ANTIBAKTERI
JAMUR ENDOFIT BUNGA SAMBILOTO
(*Andrographis Paniculata* (Burm.f.) Ness)**

*Dinyatakan Lulus Setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang*

Padang, Februari 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Dra. Suryelita, M.Si	
Anggota	: Drs. Iswendi, M.S	
Anggota	: Dra. Sri Benti Etika, M.Si	

**Isolasi, Uji Fitokimia dan Aktivitas Antibakteri Jamur Endofit pada
Bunga Sambiloto (*Andrographis Paniculata* (Burm.f.) Ness)**

Rani Aulia Suhanah

ABSTRAK

Jamur endofit merupakan mikroorganisme yang hidup dalam jaringan tumbuhan dengan tidak merugikan tumbuhan inangnya. Salah satu tumbuhan yang memiliki potensi sebagai inang bagi jamur endofit adalah bunga tumbuhan sambiloto (*Andrographis paniculata*) yang mengandung metabolit sekunder dan memiliki aktivitas biologi. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan isolat jamur dan mengidentifikasi kandungan metabolit sekunder serta aktivitas antibakteri. Metode penelitian adalah eksperimen dengan tahapan penelitian ini terdiri dari isolasi jamur endofit dari bunga tumbuhan *A. paniculata*, kultivasi jamur endofit pada media nasi serta ekstraksi jamur endofit dengan pelarut etil asetat. Ekstrak etil asetat dari jamur endofit bunga *A. paniculata* dilakukan uji kandungan metabolit sekunder, FTIR dan aktivitas antibakteri. Hasil isolasi jamur endofit menghasilkan isolat jamur endofit dengan kode isolat BS. Pengamatan mikroskopis isolat BS menunjukkan spora dan hifa yang mirip dengan *Chrysosporium spp.* Hasil uji ekstrak etil asetat isolat BS positif mengandung senyawa terpenoid ditandai dengan warna merah muda pada uji kandungan metabolit sekunder dan spektrum FTIR yang mengandung gugus gem dimetil. Ekstrak BS juga memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan bakteri uji yaitu bakteri *E. coli* dan *S. aureus* pada konsentrasi 1%, 3%, dan 5%.

Kata kunci: *Andrographis paniculata*, Antibakteri, Jamur Endofit

Isolation, Phytochemical Test and Antibacterial Activity of Endophytic Fungus on Sambiloto Flower (*Andrographis Paniculata* (Burm.f.) Ness)

Rani Aulia Suhanah

ABSTRACT

Endophytic fungi are microorganisms that live in plant tissues without harming the host plant. One of the plants that have potential as a host for endophytic fungi is the flower of the bitter plant (*Andrographis paniculata*) which contains secondary metabolites and has biological activity. The purpose of this study was to obtain fungal isolates and identify the content of secondary metabolites and their antibacterial activity. The research method was experimental with the stages of this research consisting of isolation of endophytic fungi from flowers of *A. paniculata* plants, cultivation of endophytic fungi on rice media, and extraction of endophytic fungi with ethyl acetate as solvent. Ethyl acetate extract from endophytic fungus *A. paniculata* was tested for secondary metabolite content, FTIR, and antibacterial activity. The results of the isolation of endophytic fungi produced isolates of endophytic fungi with isolate code BS. Microscopic observation of BS isolates showed similar spores and hyphae to *Chrysosporium spp.* The test results for the ethyl acetate extract of BS isolates were positive for terpenoid compounds which were indicated by a pink color in the secondary metabolite content test and the FTIR spectrum containing a dimethyl gem group. BS extract also could inhibit the growth of test bacteria, namely *E. coli* and *S. aureus* at concentrations of 1%, 3%, and 5%.

Keyword: *Andrographis paniculata*, Antibacterial, Endophytic Fungi

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Isolasi, Uji Fitokimia dan Aktivitas Antibakteri Jamur Endofit pada Bunga Sambiloto (*Andrographis Paniculata* (Burm.f.) Ness)”**. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada program studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Penulis banyak mendapatkan bimbingan serta bantuan secara materil dan saran dari berbagai pihak dalam proses penyusunan skripsi ini. Semoga Allah SWT memberikan imbalan yang setimpal untuk segala bantuan yang diberikan kepada penulis, berupa pahala dan kemuliaan di sisi-Nya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Dra. Suryelita, M.Si selaku Dosen Pembimbing.
2. Ibu Melindra Mulia, M.Si selaku Penasehat Akademik.
3. Bapak Drs. Iswendi, M.S selaku Dosen Pembahas.
4. Ibu Dra. Sri Benti Etika, M.Si selaku Dosen Pembahas.
5. Bapak Budhi Oktavia. S.Si, M.Si, Ph.D selaku Ketua Program Studi Kimia.
6. Ibu Fitri Amelia, M.Si, Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
7. Bapak Dr. Riga, S.Pd, M.Si selaku Dosen Kimia Organik.

Penulis telah menyelesaikan skripsi sesuai dengan panduan skripsi non-kependidikan untuk kesempurnaannya. Sehingga skripsi ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan dan peningkatan ilmu pengetahuan, khususnya dibidang sains.

Padang, Februari 2022

Rani Aulia Suhanah

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II KERANGKA TEORITIS.....	6
A. Tumbuhan Sambiloto (<i>Andrographis paniculata</i> (Burm.f.) Ness)	6
B. Jamur Endofit	8
C. Senyawa Metabolit Sekunder	14
D. Uji Aktivitas Antibakteri	22
E. Instrumen <i>Fourier Transform Infrared Spectoscopy</i> (FTIR)	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
A. Tempat dan Waktu Penelitian	27
B. Sampel Penelitian	27
C. Alat dan Bahan	27
D. Prosedur Penelitian.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
A. Isolasi Jamur Endofit Bunga Tumbuhan Sambiloto.....	33
B. Pengamatan Jamur secara Makroskopis dan Mikroskopis.....	34
C. Optimasi Waktu Kultivasi Jamur Endofit	34
D. Uji Kandungan Metabolit Sekunder.....	36

E. FTIR	38
F. Uji Aktivitas Antibakteri	39
BAB V PENUTUP	42
A. Kesimpulan	42
B. Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	52

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Senyawa Bioaktif dari Jamur Endofit	10
2. Senyawa Alkaloid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri	15
3. Senyawa Steroid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri.....	17
4. Senyawa terpenoid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri	18
5. Senyawa Fenolik yang Berpotensi Sebagai Antibakteri	20
7. Data Bilangan Gelombang (cm^{-1}) Beberapa Gugus Fungsi.....	26
8. Hasil Uji Metabolit Sekunder Isolat BS.....	36
9. Hasil Uji Aktivitas Antibakteri	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bunga Tumbuhan <i>A. paniculata</i>	7
2. Senyawa Bioaktif dari Jamur Endofit	11
3. Senyawa Alkaloid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri	16
4. Senyawa Steroid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri.....	17
5. Unit Isoprena.....	18
6. Senyawa Terpenoid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri.....	19
7. Senyawa Fenolik yang Berpotensi Sebagai Antibakteri	21
8. Pewarnaan Gram <i>E. coli</i>	23
9. Pewarnaan Gram <i>S. aureus</i>	24
10. Skema Kerja FTIR	26
11. Morfologi Isolat BS (a) Makroskopis dan (b) Mikroskopis	34
12. Kurva Waktu Kultivasi Isolat BS.....	35
13. Reaksi Uji Terpenoid Lieberman-burchard	37
14. Spektrum FTIR Isolat BS.....	38
15. Uji Aktivitas Antibakteri.....	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Kerja Pembuatan Media Pertumbuhan.....	52
2. Skema Kerja Penyiapan Sampel Bunga Tumbuhan Sambiloto	53
3. Skema Kerja Isolasi Jamur Endofit.....	53
4. Skema Kerja Pengamatan Jamur secara Makroskopis dan Mikroskopis.....	54
5. Skema Kerja Optimasi Waktu Kultivasi Jamur Endofit	54
6. Skema Kerja Uji Fitokimia	55
7. Skema Kerja Analisa FTIR	56
8. Skema Kerja Uji Aktivitas Antibakteri	56
9. Hasil Identifikasi Tumbuhan.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Permasalahan resistensi antibiotik saat ini menjadi masalah kesehatan global. Resistensi bakteri terhadap antibiotik menyebabkan berkurangnya efektifitas antibiotik terhadap suatu bakteri. Resistensi antibiotik merupakan kemampuan mikroorganisme untuk bertahan terhadap suatu efek antibiotik (Sukertiasih *et al.*, 2021). Bakteri yang saat ini telah resisten terhadap antibiotik ampisilin, kloramfenikol dan *trimetoprim-sulfametoxazole* adalah bakteri *Eschericia coli* yang memiliki tingkat resistensi berkisar antara 9,3-71,6% (Amaya *et al.*, 2011; Nguyen *et al.*, 2005). Bakteri lain yang juga mengalami resistensi yaitu *Staphylococcus* yang resisten terhadap 17 jenis antibiotik (Marhamah, 2016) . WHO (2014), menyatakan bahwa pada tahun 2009 resistensi *Staphylococcus* adalah 63% dan pada tahun 2013 mengalami kenaikan menjadi 80%.

Saat ini sumber senyawa bioaktif yang memiliki aktivitas antibakteri yang lebih baik dapat berasal dari tumbuhan obat. Akan tetapi ketersediaan bahan baku obat-obatan yang berasal dari tumbuhan alami tersebut sumbernya semakin menipis sehingga perlu dicarikan penyelesaiannya (Proksch *et al.* , 2003). Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan jamur endofit yang berkolonisasi pada tumbuhan.

Jamur endofit merupakan mikroorganisme yang dapat tumbuh secara berkolonisasi dalam jaringan berbagai tumbuhan yang secara umum tidak merugikan tumbuhan inangnya. Tumbuhan inang dan jamur endofit mempunyai

hubungan yang saling menguntungkan. Tumbuhan inang akan memberikan suplai nutrisi yang diperlukan jamur untuk pertumbuhannya. Sementara itu jamur akan memproduksi metabolit sekunder yang dapat digunakan tumbuhan inang sebagai perlindungan diri (Hasiani *et al.* , 2015). Berdasarkan hal tersebut, jamur endofit memiliki potensi yang besar dalam memproduksi senyawa metabolit sekunder, baik yang sama ataupun yang berbeda dengan tumbuhan inangnya (Tan & Zou, 2001). Kelebihan dari jamur endofit adalah mudah dikembang biakkan, memiliki siklus hidup yang pendek dan dapat menghasilkan metabolit sekunder dalam jumlah yang besar (Zulkifli *et al.* , 2016).

Salah satu tumbuhan yang memiliki potensi sebagai inang bagi jamur endofit dalam memproduksi senyawa bioaktif yang memiliki aktivitas antibakteri adalah tumbuhan sambiloto (*A. paniculata*). Tumbuhan sambiloto memiliki habitat hidup di berbagai negara seperti China, India, Indonesia, Ayurveda, Thailand, Taiwan dan Malaysia (Kumar *et al.* , 2004). Tumbuhan ini secara tradisional banyak digunakan sebagai obat, seperti untuk mengatasi gangguan hati, keluhan pernafasan, flu dan beberapa keluhan usus pada anak-anak. Menurut Chao & Lin (2010), tumbuhan *A. paniculata* juga dilaporkan memiliki aktivitas antiinflamasi, antiinfeksi, antiaterosklerotik dan antibakteri (U. S. Mishra *et al.*, 2009), antidiabetik (Yulinah *et al.*, 2001), antimalaria (K. Mishra *et al.*, 2009) dan antikanker (Kumar *et al.*, 2004).

Kajian fitokimia pada jamur endofit yang terdapat pada tumbuhan *A. paniculata* menunjukkan beragam metabolit sekunder yang memiliki berbagai aktivitas biologi. Studi fitokimia terhadap jamur endofit yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu jamur endofit dari daun dan batang sambiloto yang

diidentifikasi sebagai *Aspergillus flavus* yang mengandung senyawa alkaloid turunan piridin yaitu 7-hidroksipiranopiridin-4-on. Senyawa ini memiliki aktivitas antimalaria (Elfita *et al.*, 2011). Senyawa bioaktif lain yang pernah dilaporkan yaitu senyawa turunan benzokromen yaitu 1-(3,8-dihidroksi-4,6,6-trimetil-6H-benzokromen-2-iloksi)propan-2-on, 5-hidroksi-4-(hidroksimetil)-2H-piran-2-on dan (5-hidroksi-2-okso-2H-piran-4-il)metil asetat. Aktivitas antibakteri senyawa-senyawa tersebut diuji terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* dan *Shigella dysenteriae* (Elfita *et al.*, 2015). Akan tetapi sampai saat ini belum terdapat kajian sifat antibakteri dari jamur endofit yang diisolasi dari bunga tumbuhan *A. paniculata*. Berdasarkan uraian diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **“Isolasi, Uji Fitokimia dan Aktivitas Antibakteri Jamur Endofit pada Bunga Sambiloto (*Andrographis paniculata* (Burm.f.) Ness)”**.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut :

1. Resistensi terhadap antibiotik menyebabkan berkurangnya efektifitas dan sensitivitas antibiotik terhadap suatu bakteri.
2. Pencarian senyawa yang berpotensi sebagai antibakteri dari tumbuhan obat dinilai kurang efektif karena membutuhkan bahan baku dalam jumlah yang besar sehingga memanfaatkan jamur endofit yang berkolonisasi dengan jaringan tumbuhan obat.
3. Belum terdapat penelitian mengenai kajian senyawa metabolit sekunder serta aktivitas antibakteri pada jamur endofit dari bunga tumbuhan sambiloto.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, maka peneliti melakukan batasan penelitian agar lebih fokus dan tidak menyimpang. Masalah ini dibatasi dengan :

1. Isolasi jamur endofit yang berkolonisasi dengan jaringan pada bunga sambiloto.
2. Uji kandungan metabolit sekunder dari hasil ekstraksi jamur endofit pada bunga sambiloto.
3. Uji aktivitas antibakteri dari hasil ekstraksi jamur endofit pada bunga sambiloto.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah diatas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Apakah jamur endofit pada jaringan bunga sambiloto dapat diisolasi?
2. Apakah kandungan metabolit sekunder dari ekstrak etil asetat pada jamur endofit pada bunga sambiloto?
3. Apakah ekstrak etil asetat jamur endofit pada bunga sambiloto memiliki potensi sebagai senyawa antibakteri?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan isolat jamur endofit pada jaringan bunga sambiloto.
2. Mengetahui kandungan metabolit sekunder dari ekstrak etil asetat jamur endofit pada bunga sambiloto.
3. Mengetahui potensi ekstrak etil asetat jamur endofit pada bunga sambiloto sebagai senyawa antibakteri.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu untuk memberikan informasi kandungan metabolit sekunder yang berpotensi sebagai antibakteri dari ekstrak jamur endofit yang berasosiasi dengan jaringan bunga sambiloto (*A. paniculata*) dan dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya.

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Tumbuhan Sambiloto (*Andrographis paniculata* (Burm.f.) Ness)

1. Persebaran

Tumbuhan *A. paniculata* merupakan tumbuhan obat-obatan yang banyak tersebar di berbagai belahan dunia seperti di Asia tropis dan sub-tropis, Asia Tenggara, India dan juga termasuk Indo-China, Thailand, China, Malaysia, Australia dan Philipina. Pada umumnya tumbuhan *A. paniculata* dapat ditemukan pada dataran tinggi, dataran rendah, pertanian dan tepi laut (Raina *et al.* , 2013; Sikumalay *et al.* , 2016; Silalahi, 2020).

2. Taksonomi

Berdasarkan hasil identifikasi tumbuhan di Herbarium Universitas Andalas tergolong kedalam spesies *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Ness (Lampiran 9). Taksonomi tumbuhan sebagai berikut :

Divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Subkelas	: Gamopetalae
Ordo	: Personales
Famili	: Acanthaceae
Subfamili	: Acanthoideae
Genus	: <i>Andrographis</i> Wall
Spesies	: <i>Andrographis paniculata</i> (Burm.f.) Ness

(Hossain *et al.*, 2014)

3. Morfologi

A. paniculata merupakan tumbuhan yang memiliki morfologi dengan bentuk bunga yang kecil yang berukuran 3 mm – 4 mm, warna mahkota putih atau merah muda dengan noda ungu serta memiliki rambut halus. Bunga *A. paniculata* memiliki dua benang sari dengan putik yang pendek. Morfologi bunga *A. paniculata* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bunga Tumbuhan *A. paniculata* (Verma *et al.* , 2019)

Selain itu *A. paniculata* memiliki bentuk batang tegak tinggi 0,3-1 m berbentuk segi empat, memiliki bentuk daun yang berlawanan dengan panjang 3-7 cm, lebar 1-2 cm, puncak meruncing, tidak memiliki bulu dan tepi daun agak bergelombang. Biji tumbuhan *A. paniculata* berbentuk kapsul tegak, berbentuk linear, mengandung biji yang subkuadrat dan berwarna coklat kekuningan (Raina *et al.* , 2013).

4. Manfaat

Tumbuhan *A. paniculata* merupakan tumbuhan yang banyak digunakan oleh masyarakat sebagai obat-obatan tradisional. Seluruh bagian tumbuhan *A. paniculata* seperti bunga, batang, daun, akar serta biji memiliki banyak manfaat. Masyarakat Indonesia dan India umumnya menggunakan tumbuhan *A. paniculata* untuk mengatasi demam, diare dan malaria (Widyawati, 2010; Silalahi, 2020).

Sambiloto juga banyak digunakan untuk mengobati gatal-gatal, keputihan, antipiretik serta dapat mengobati diabetes, menurunkan tekanan darah tinggi dan rematik (Wardatun, 2011). Selain itu masyarakat juga banyak memanfaatkan bagian daun dan batang sebagai obat tradisional seperti pengobatan demam, kolera, diabetes, influenza dan paru-paru (Pujiasmanto, 2007).

B. Jamur Endofit

Jamur Endofit berasal dari bahasa Yunani yaitu '*endo* = dalam' dan '*phyte* = tumbuhan'. Secara umum jamur endofit diartikan sebagai organisme yang memiliki siklus hidup didalam tumbuhan. Lebih lanjut ahli mikrobiologi menyatakan bahwa jamur endofit merupakan mikroorganisme yang hidup dalam jaringan tumbuhan dengan tidak merugikan tumbuhan inangnya (Khiralla *et al.* , 2016). Istilah endofit pertama kali diperkenalkan oleh De Bary (1966) yang diartikan sebagai organisme yang dapat tumbuh dalam jaringan tumbuhan (Khare *et al.* , 2018). Jamur endofit dapat hidup dalam semua jaringan tumbuhan seperti pada bunga, batang, daun, buah dan biji (Rodrigo *et al.* , 2018). Sehingga dapat diyakini bahwa setiap tumbuhan (sekitar 300.000 jenis tanaman) mampu menjadi tumbuhan inang bagi satu atau lebih jamur endofit, saat ini dilaporkan bahwa keanekaragaman senyawa yang dihasilkan oleh jamur endofit tersebut semakin mengalami kenaikan.

Menurut Hakim (2015), jamur endofit memiliki hubungan yang saling menguntungkan dengan tumbuhan inangnya. Tumbuhan inang dapat memberikan nutrisi dan fitohormon untuk kelangsungan hidup jamur endofit. Sedangkan jamur endofit dapat memproduksi metabolit sekunder yang berfungsi sebagai antibakteri serta pestisida alami bagi tumbuhan inang. Selain itu keberadaan jamur endofit

sangat dibutuhkan oleh tumbuhan inang karena dapat membantu melindungi dari predator patogen serta meningkatkan ketahanan tumbuhan inang pada lingkungannya supaya tidak mengalami kekeringan (Akmalasari *et al.* , 2013).

Selain berperan dalam proses pertumbuhan tanaman, jamur endofit ini juga diketahui dapat menghasilkan jumlah metabolit sekunder yang lebih besar. Beberapa senyawa metabolit yang pernah dilaporkan biasanya dimanfaatkan sebagai sumber obat-obatan dan juga digunakan dalam proses agrikultur (Zhang *et al.* , 2014) . Metabolit dari jamur endofit ini juga digunakan dalam pembuatan obat, karena memiliki aktivitas biologis terhadap penyakit umum pada manusia. Aktivitas biologis yang pernah dilaporkan dari jamur endofit yaitu memiliki aktivitas antibiotik, antikanker, antidiabetes dan sebagainya (Carvalho *et al.* , 2020).

Jamur endofit mampu hidup secara berkolonisasi dengan tumbuhan inang serta dapat menghasilkan senyawa bioaktif yang sama maupun berbeda dengan tumbuhan inang. Kemampuan menghasilkan metabolit sekunder ini karena adanya rekombinasi genetik dan koevolusi oleh induksi jamur endofit pada tumbuhan (Murdiyah, 2017; Hasiani *et al.* , 2015).

Beberapa faktor yang mempengaruhi keberadaan jamur dan kelimpahannya pada tumbuhan yaitu tergantung pada faktor abiotik dan biotik lingkungan pertumbuhannya. Faktor abiotiknya yaitu seperti jumlah air yang tersedia, suhu yang ekstrim dan tidak stabil, kadar garam, toksisitas kimia, pH tanah serta semua faktor tumbuhan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitasnya. Jamur endofit juga memiliki peran yang sangat penting dalam menghasilkan

beberapa logam berat yang beracun bagi tumbuhan, sehingga dapat mengurangi tingkat stress pada lingkungan tumbuhan tersebut (Strobel, 2018).

1. Jamur Endofit Sumber Senyawa Bioaktif

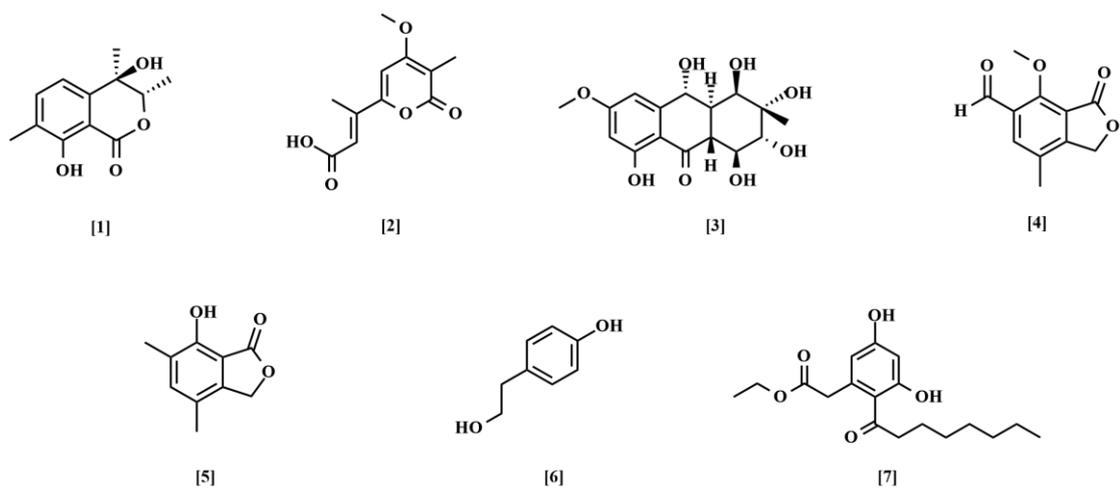
Jamur endofit memiliki potensi dalam menghasilkan metabolit sekunder yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber senyawa bioaktif berbagai jenis obat. Senyawa metabolit yang pernah diisolasi dari jamur endofit yaitu alkaloid, flavonoid, terpenoid, steroid yang memiliki aktivitas antibakteri, antijamur, antivirus, anti-inflamasi, antioksidan dan antikanker (Manganyi & Ateba, 2020). Beberapa senyawa bioaktif yang pernah dilaporkan yaitu senyawa Pestalotiopirosin B [1] yang diisolasi dari jamur *Pestalotiopsis* sp. yang berasal dari tumbuhan *Rhizospora stylosa* memiliki aktivitas antibakteri (Xu *et al.* , 2020). Senyawa Akropiron [2] dan senyawa Ampelanol [3] diisolasi dari jamur *Phosmosis langicolla* yang berasosiasi dengan tumbuhan *Brguiera sexangula* var. *Rhynchopetala* memiliki aktivitas antibakteri (Cai *et al.* , 2017). Senyawa Diaporlakton [4] dan senyawa 7-hidroksi-4,6-dimetil-3H isobenzofuran-1-on [5] diisolasi dari jamur *Ascomycota* sp. yang berasal dari tumbuhan *Pluchea indica* memiliki aktivitas antijamur dan antibakteri (Zhang *et al.* , 2014). Senyawa lainnya yaitu senyawa Tirosol C [6] yang memiliki aktivitas antioksidan dan antikanker serta senyawa Kitosporon B [7] yang memiliki aktivitas antibakteri yang dilaporkan dari jamur *Collectothium gloeosporioides* dan jamur *Chaetomium globusum* dari tumbuhan *Pandanus amaryllifolius* (Bungihan *et al.* , 2013). Beberapa senyawa bioaktif yang berasal dari jamur endofit dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Senyawa bioaktif dari jamur endofit

No	Senyawa Metabolit Sekunder	Jamur Endofit	Tumbuhan Inang
1	Pestalotiopirosin B [1]	<i>Pestalotiopsis</i> sp.	<i>Rhizosphora stylosa</i>
2	Akropiron [2]	<i>Phosmosis langicolla</i>	<i>Brguiera sexangula</i> var. <i>rhynchopetala</i>
3	Ampelanol [3]	<i>Phosmosis langicolla</i>	<i>Brguiera sexangula</i> var. <i>rhynchopetala</i>
4	Diaporethelakton [4]	<i>Ascomycota</i> sp.	<i>Pluchea indica</i>
5	7-hidroksi-4,6-dimetil-3H isobenzofuran-1-on [5]	<i>Ascomycota</i> sp.	<i>Pluchea indica</i>
6	Tirosol C [6]	<i>Collectothium gloeosporioides</i>	<i>Pandanus amaryllifolius</i>
7	Kitosporon B [7]	<i>Chaetomium globusum</i>	<i>Pandanus amaryllifolius</i>

(Bungihan *et al.* , 2013; Cai *et al.* , 2017; Xu *et al.* , 2020; Zhang *et al.* , 2014)

Pada Gambar 2 menunjukkan struktur senyawa bioaktif yang pernah diisolasi dari jamur endofit berdasarkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Senyawa Bioaktif dari Jamur Endofit

2. Isolasi Jamur Endofit

Teknik isolasi mikroba merupakan upaya menumbuhkan mikroba di luar lingkungan alaminya yang bertujuan untuk mengamati morfologi mikroba dan melihat pertumbuhan mikroba. Teknik isolasi dapat dilakukan dengan menumbuhkannya di media padat. Menurut Jufri (2020), beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan isolasi mikroba yaitu tempat hidup asal mikroba, media pertumbuhan yang tepat dan cara menumbuhkan mikroba. Adanya mikroba di dalam media mampu menunjukkan bahwa mikroba mampu memanfaatkan nutrisi yang terdapat pada media (Badaring *et al.* ., 2020).

3. Media Pertumbuhan Jamur Endofit

Media yang baik yaitu media tidak mengandung zat penghambat dan media harus mengandung nutrisi yang cukup untuk pertumbuhan jamur (Octavia & Wantini, 2017). Beberapa media yang digunakan untuk pertumbuhan jamur pada penelitian ini sebagai berikut :

a. Media *Potato Dextrose Agar* (PDA)

Media PDA merupakan media yang digunakan untuk isolasi jamur. Media PDA adalah media yang terbuat dari ekstrak umbi kentang. Sehingga jamur akan memecah pati yang terdapat dalam kentang menjadi umbi terlarut yang dapat dijadikan sebagai sumber karbon dan energi (Yastanto, 2020).

PDA merupakan ekstrak kentang yang mengandung 4 gram kentang, 20 gram dektrosa, 15 gram agar dan pH 5,6 (25°C). Berdasarkan komposisinya PDA termasuk dalam media semi sintetik

karena tersusun atas bahan alami (kentang) dan bahan sintesis (dextrose dan agar). Kentang merupakan sumber karbon (karbohidrat), vitamin dan energi, dekstrosa sebagai sumber gula dan energi, selain itu komponen agar berfungsi untuk memadatkan medium PDA. Masing-masing dari ketiga komponen tersebut sangat diperlukan bagi pertumbuhan jamur (Nurdin & Nurdin, 2020).

b. Media Nasi

Media nasi merupakan media yang digunakan dalam kultivasi jamur. Dalam 100 gr nasi mengandung energi 180 kkal, protein 3 g, lemak 0,3 g, karbohidrat 39,8 g, serat 0,2 g, abu 0,2 g, kalsium 25 mg, fosfor, 27 mg, besi 0,4 mg, natrium 1 mg, tiamin 0,05 mg, dan kalium 38 mg (Izwardy D *et al.*, 2018).

Media pertumbuhan jamur yang mengandung karbohidrat dapat mempercepat pertumbuhan jamur karena merupakan sumber utama karbon dan sumber energi untuk memproduksi biomolekul atau biomassa baru. Sumber karbon dapat berupa gula yaitu glukosa, fruktosa, dan galaktosa (Tambaru *et al.*, 2020).

4. Ekstraksi Jamur Endofit

Metode ekstraksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah maserasi. Metode ekstraksi maserasi merupakan proses perendaman bahan dengan pelarut yang sesuai dengan senyawa aktif yang akan diambil dengan pemanasan rendah atau tanpa adanya proses pemanasan. Faktor-faktor yang mempengaruhi ekstraksi antara lain waktu, suhu, jenis pelarut, perbandingan bahan dan pelarut, dan ukuran partikel. Ekstraksi dengan

metode maserasi memiliki kelebihan yaitu terjaminnya zat aktif yang diekstrak tidak akan rusak (Chairunnisa *et al.* , 2019).

C. Senyawa Metabolit Sekunder

Jamur endofit mampu menghasilkan metabolit sekunder yang berpotensi sebagai antibakteri seperti senyawa alkaloid, steroid, terpenoid dan fenolik. Berikut merupakan uji fitokimia dan beberapa senyawa yang memiliki potensi sebagai antibakteri :

1. Senyawa Alkaloid

Alkaloid merupakan golongan metabolit sekunder yang banyak ditemukan pada tumbuhan dan jamur. Alkaloid merupakan senyawa yang memiliki satu atau lebih atom nitrogen dalam bentuk cincin heteroksiklik dan umumnya bersifat basa. Pada umumnya alkaloid memiliki rasa yang pahit, bersifat basa lemah, larut dengan pelarut organik yang bersifat non polar seperti kloroform, *n*-heksana, dietil eter. Alkaloid biasanya ditemukan dalam bentuk padatan kristal dan beberapa diantaranya merupakan padatan amorf (Julianto, 2019). Senyawa alkaloid dilaporkan memiliki aktivitas antimikroba, antidiare, antidiabetes dan antimalaria (Ningrum *et al.* , 2016). Uji fitokimia senyawa alkaloid dilakukan dengan pereaksi dragendorf, pereaksi mayer dan pereaksi wagner. Hasil uji positif secara berturut-turut ditandai dengan adanya endapan coklat, endapan putih dan endapan jingga (Elita *et al.* , 2011).

Beberapa senyawa alkaloid yang memiliki potensi sebagai antibakteri antara lain senyawa 7-amino-4-metil kumarin [8] diisolasi dari jamur *Xylaria* sp. yang berasal dari tumbuhan *Ginkgo biloba* (Liu *et al.* , 2008).

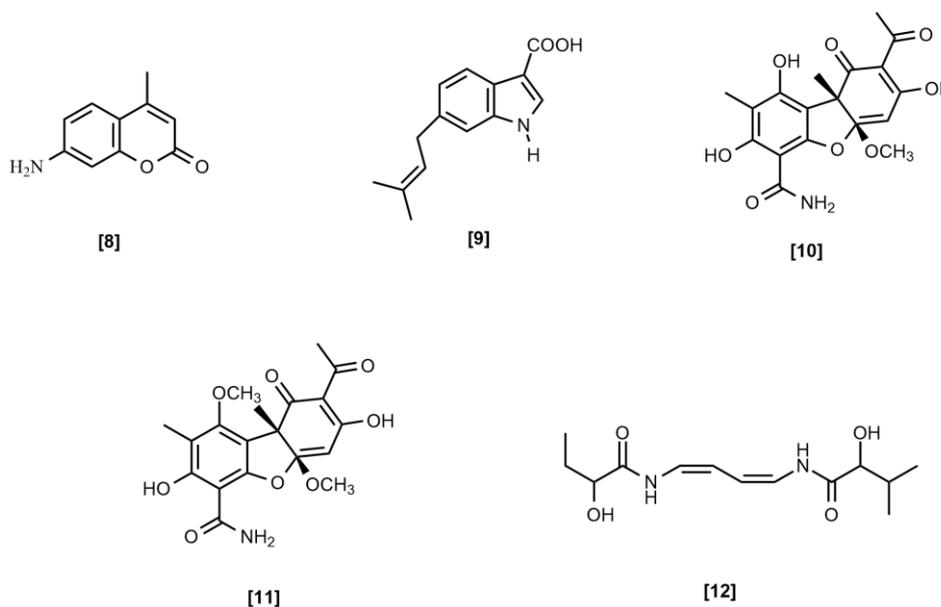
Senyawa 6-isoprenilindol-3-asam karboksilat [9] diisolasi dari jamur *Colletotrichum* sp. yang berasosiasi dengan tumbuhan *Artemisia annua* (Lu *et al.* , 2000). Senyawa Cercosporamida [10] dan senyawa Phomoidione [11] diperoleh dari jamur *Phoma pinodella* yang berasal dari tumbuhan *Phoma pinodella* (Hoffman *et al.* , 2008). Senyawa Phenonamida [12] diisolasi dari jamur *Phomopsis* sp. yang berkolonisasi dengan tumbuhan *Garcinia dulcis* (J. Y. Li *et al.* , 2000). Senyawa alkaloid yang pernah diisolasi dari jamur endofit yang berpotensi sebagai antibakteri dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Senyawa Alkaloid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri

No	Senyawa Metabolit Sekunder	Jamur Endofit	Tumbuhan Inang
1	7-amino-4-metil kumarin [8]	<i>Xylaria</i> sp.	<i>Ginkgo biloba</i>
2	6-isoprenilindole-3-asam karboksilat [9]	<i>Colletotrichum</i> sp.	<i>Artemisia annua</i>
3	Cercosporamida [10]	<i>Phoma pinodella</i>	<i>Saurauia scaberrinae</i>
4	Phomoidione [11]	<i>Phoma pinodella</i>	<i>Saurauia scaberrinae</i>
5	Phenonamida [12]	<i>Phomopsis</i> sp.	<i>Garcinia dulcis</i>

(Hoffman *et al.* , 2008; J. Y. Li *et al.* , 2000; Liu *et al.* , 2008; Lu *et al.* , 2000)

Struktur senyawa alkaloid pada Tabel 2 dapat dilihat pada Gambar 3, masing-masing struktur memiliki atom Nitrogen.



Gambar 3. Senyawa Alkaloid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri

2. Senyawa Steroid

Steroid metabolit sekunder yang banyak ditemukan pada tumbuhan dan jamur sebagai hormon. Karakteristik senyawa golongan steroid yaitu yang memiliki empat cincin yang terdiri dari tiga cincin siklik enam dan satu cincin siklik lima (Fessenden & Fessenden, 1997). Beberapa senyawa steroid yang memiliki aktivitas sebagai antibakteri yaitu senyawa $3\beta,5\alpha$ -dihidroksi- 6β -acetoksi-ergosta-7,22-diena [13], $3\beta,5\alpha$ -dihidroksi- 6β -fenilacetoksi-ergosta-7,22-diena [14], 3β -hidroksi-ergosta-5-ena [15], 3-okso-ergosta-4,6,8(14), 22-tetraena [16] diisolasi dari jamur *Colletotrichum* sp. yang berasal dari tumbuhan *Artemisia annua* (Lu et al ., 2000). Selanjutnya, senyawa 3β -hidroksi- $5\alpha, 8\alpha$ -epidioksi-ergosta-6-22-diena [17] diisolasi dari jamur *Aspergillus* sp. yang berasosiasi dengan tumbuhan *Cynodon dactylon* (Y. Li et al ., 2005). Uji fitokimia senyawa steroid

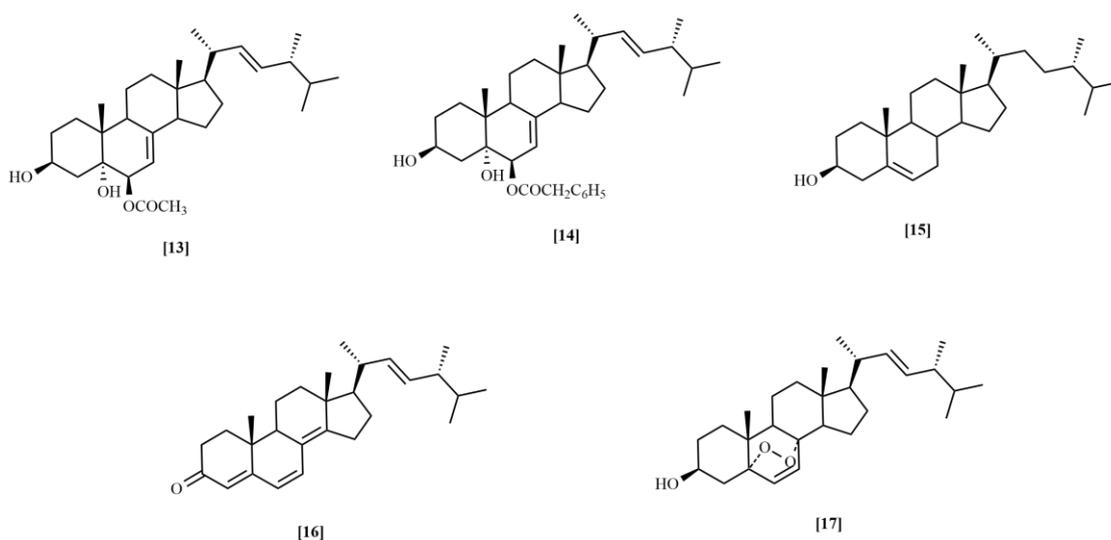
menggunakan pereksi Lieberman-burchard ditandai dengan hasil positif berwarna hijau-biru (Elita *et al.* , 2011). Senyawa steroid yang diisolasi dari jamur endofit yang memiliki potensi sebagai antibakteri dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Senyawa Steroid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri

No	Senyawa Metabolit Sekunder	Jamur Endofit	Tumbuhan Inang
1	3 β ,5 α -dihidroxy-6 β -acetoxy-ergosta-7,22-diene [13]	<i>Colletotrichum</i> sp.	<i>Artemisia annua</i>
2	3 β ,5 α -dihidroxy-6 β -phenylacetoxy-ergosta-7,22-diene [14]	<i>Colletotrichum</i> sp	<i>Artemisia annua</i>
3	3 β -hidroxy-ergosta-5-ene [15]	<i>Colletotrichum</i> sp	<i>Artemisia annua</i>
4	3-oxo-ergosta-4,6,8(14),22-tetraene [16]	<i>Colletotrichum</i> sp	<i>Artemisia annua</i>
5	3 β -hidroxy-5 α , 8 α -epidioxy-ergosta-6-22-diene [17]	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Cynodon dactylon</i>

(Y. Li *et al.* , 2005; Lu *et al.* , 2000)

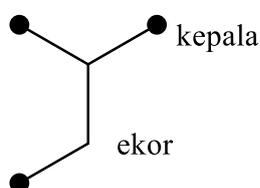
Struktur senyawa steroid yang memiliki potensi sebagai antibakteri pada Tabel 3 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Senyawa Steroid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri

3. Senyawa Terpenoid

Senyawa terpenoid adalah salah satu golongan senyawa hidrokarbon yang dihasilkan oleh tumbuhan, jamur dan serangga. Terpenoid juga merupakan komponen utama dalam minyak atsiri dari beberapa jenis bunga dan tumbuhan. Terpenoid merupakan gabungan dari dua atau beberapa unit isoprena. Pada Gambar 5 berikut merupakan unit isoprena yg terdiri dari kepala dan ekor :



Gambar 5. Unit Isoprena (Julianto, 2019)

Senyawa terpenoid memiliki karakteristik yaitu tidak berwarna, memiliki bau, mudah menguap, larut dalam pelarut organik dan tidak larut dalam air. Terpenoid memiliki struktur alil siklik yang merupakan senyawa yang tidak jenuh dengan satu atau lebih ikatan rangkap (Julianto, 2019). Beberapa contoh senyawa terpenoid yang dilaporkan memiliki aktivitas sebagai antibakteri yaitu senyawa Asam akrostalidik [18], Asam akrostalik [19], Asam agatik [20], Botriospaerins A [21], Botriospaerins B [22] diisolasi dari jamur *Botryosphaeria* sp. yang berasal dari tumbuhan *Maytenus hookeri* (Qiao *et al.* , 2010). Senyawa Asporizin C [23] diisolasi dari jamur *Aspergillus orizae*. yang berkolonisasi dengan tumbuhan *Heterosiphonia japonica* (Yuan *et al.* , 2009). Uji fitokimia pada senyawa terpenoid menggunakan pereaksi lieberman-burchard ditandai dengan uji positif yang berwarna merah-ungu (Elita *et al.* , 2011). Senyawa terpenoid

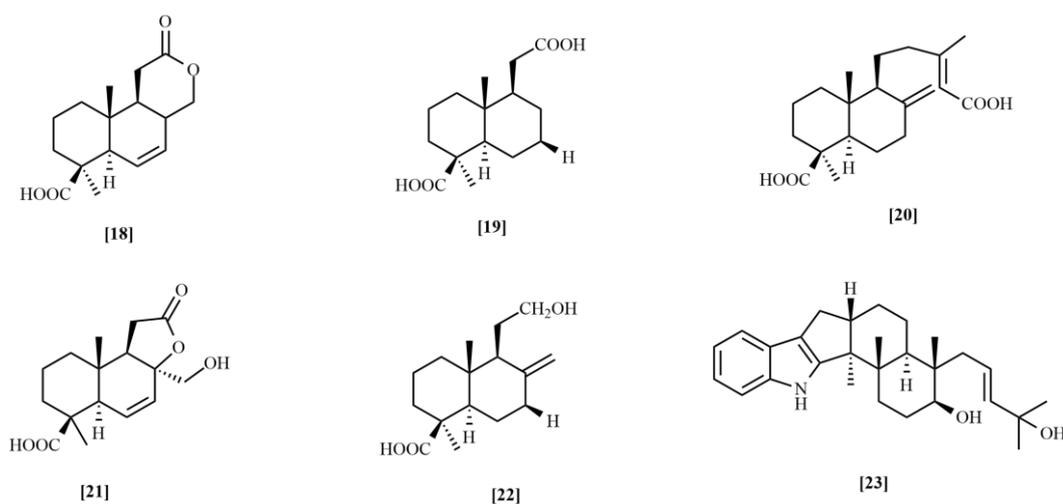
yang berasal jamur endofit dan berpotensi sebagai antibakteri dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Senyawa terpenoid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri

No	Senyawa Metabolit Sekunder	Jamur Endofit	Tumbuhan Inang
1	Asam akrostalidik [18]	<i>Botryosphaeria</i> sp. MHF	<i>Maytenus hookeri</i>
2	Asam akrostalik [19]	<i>Botryosphaeria</i> sp. MHF	<i>Maytenus hookeri</i>
3	Asam agatik [20]	<i>Botryosphaeria</i> sp. MHF	<i>Maytenus hookeri</i>
4	Botriospaerins A [21]	<i>Botryosphaeria</i> sp. MHF	<i>Maytenus hookeri</i>
5	Botriospaerins B [22]	<i>Botryosphaeria</i> sp. MHF	<i>Maytenus hookeri</i>
6	Asporizin C [23]	<i>Aspergillus orizae</i>	<i>Heterosiphonia japonica</i>

(Qiao *et al.* , 2010; Yuan *et al.* , 2009)

Struktur senyawa terpenoid yang diisolasi dari tumbuhan dan memiliki potensi sebagai antibakteri pada Tabel 4 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 6. Senyawa Terpenoid yang Berpotensi Sebagai Antibakteri

4. Senyawa Fenolik

Golongan senyawa fenolik ialah golongan senyawa yang umum terdapat pada jamur dan tumbuhan. Senyawa fenolik memiliki cincin aromatik yang mengandung satu atau lebih dua gugus hidroksi (OH). Senyawa ini tidak berwarna, mudah teroksidasi dengan udara dan basa kuat, mudah larut dalam pelarut polar (Julianto, 2019). Uji fitokimia senyawa fenolik menggunakan pereaksi FeCl_3 1%. Hasil positif ditandai dengan adanya warna biru-hitam (Elita *et al.* , 2011).

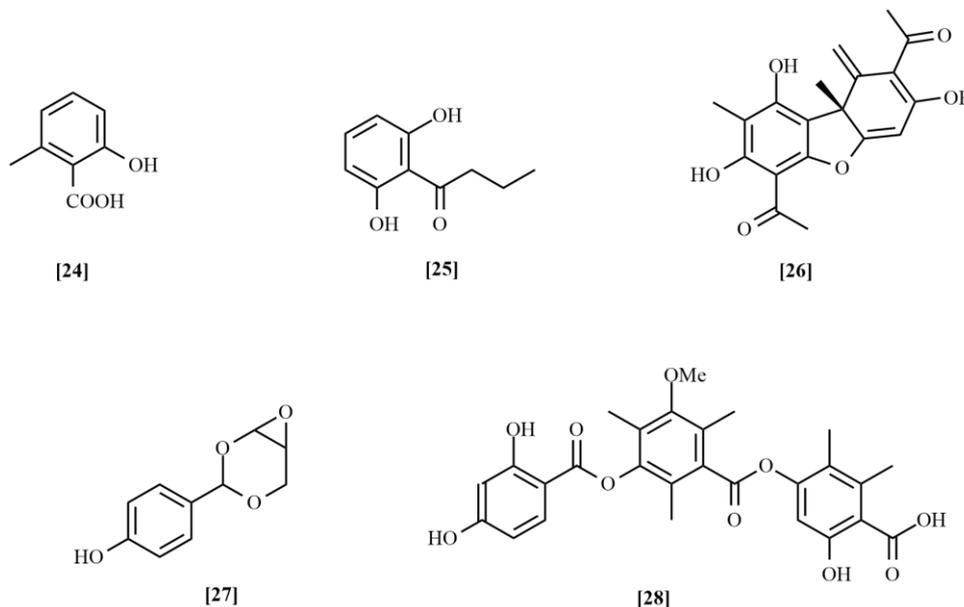
Beberapa senyawa fenolik yang memiliki aktivitas sebagai antibakteri yaitu senyawa 2-hidroksi-6-metil asam benzoat [24] diisolasi dari jamur *Phoma* sp. yang berasal dari tumbuhan *Taxus wallachiana* (Yang *et al.* , 1994). Senyawa 1-(2,6-dihidroksipenil) 1-butanon [25] diisolasi dari jamur *Nudulisporium* sp. yang berkolonisasi dengan tumbuhan *Juniperus cedre* (Dai *et al.* , 2006). Senyawa Asam usnik [26] diisolasi dari jamur *Phoma pinodella* yang berasal dari tumbuhan *Saurauia scaberrinae* (Hoffman *et al.* , 2008). Senyawa 4-(2,4,7-trioksa-bisiklo[4.1.0]heptan-3-il) fenol [27] diisolasi dari jamur *Pestalotiopsis mangiferae* yang berasosiasi dengan tumbuhan *Mangifera indica* Linn (Subban *et al.* , 2013). Senyawa lainnya yaitu senyawa Asam koletotrik [28] diisolasi dari jamur *Colletotrichum gloeosporioides* yang berasal dari tumbuhan *Artemisia mongolica* (Zou *et al.* , 2000). Senyawa fenolik yang diisolasi dari jamur endofit dari tumbuhan yang berpotensi sebagai antibakteri dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Senyawa Fenolik yang Berpotensi Sebagai Antibakteri

No	Senyawa Metabolit Sekunder	Jamur Endofit	Tumbuhan Inang
1	2-hidroksi-6-metil asam benzoat [24]	<i>Phoma</i> sp.	<i>Taxus wallachiana</i>
2	1-(2,6-dihidroksipenil) 1-butanon [25]	<i>Nudulisporium</i> sp.	<i>Juniperus cedre</i>
3	Asam usnik [26]	<i>Phoma pinodella</i>	<i>Saurauia scaberrinae</i>
4	4-(2,4,7-trioksa-bisiklo[4.1.0]heptan-3-il) fenol [27]	<i>Pestalotiopsis mangiferae</i>	<i>Mangifera indica</i> Linn.
5	Asam koletotrik [28]	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	<i>Artemisia mongolica</i>

(Dai *et al.* , 2006; Hoffman *et al.* , 2008; Subban *et al.* , 2013; Yang *et al.* , 1994; Zou *et al.* , 2000)

Struktur senyawa fenolik yang diisolasi dari jamur endofit pada tumbuhan serta berpotensi sebagai antibakteri pada Tabel 4 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 7. Senyawa Fenolik yang Berpotensi Sebagai Antibakteri

D. Uji Aktivitas Antibakteri

Untuk uji aktivitas antibakteri menggunakan metode difusi cakram dan bakteri uji yang digunakan yaitu *E. coli* dan *S. aureus*.

1. Metode Uji

Metode difusi cakram adalah metode yang paling sering digunakan dimana cara kerja difusi cakram yaitu antibakteri fraksi yang akan diuji diserapkan pada kertas cakram dan ditempelkan pada media agar yang telah dihomogenkan dengan bakteri kemudian diinkubasi sampai terlihat zona hambat didaerah sekitar cakram. Penentuan antibakteri berdasarkan zona hambatnya yaitu 20 mm atau lebih berarti sangat kuat, 10-20 mm berarti kuat, 5-10 mm berarti sedang dan 5 mm atau kurang berarti lemah (Nopiyanti *et al.* , 2016; Willia, 2016).

2. Bakteri Uji

Bakteri uji yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bakteri gram negatif *Escherichia coli* dan bakteri gram positif *Staphylococcus aureus*.

a. *Escherichia coli*

1) Taksonomi

Berikut merupakan taksonomi bakteri *E. coli* :

Kerajaan	: Prokaryotae
Filum	: Proteobacteria
Kelas	: Zymobacteria
Ordo	: Enterobacteriales
Famili	: Enterobacteriaceae
Genus	: <i>Escherichia</i>

Spesies : *Eschericia coli*

(Fatiqin *et al.* , 2019)

2) Sifat dan Morfologi

Bakteri *E. coli* merupakan salah satu bakteri Gram negatif yang memiliki bentuk batang yang berukuran $2 \mu\text{m}$, memiliki lebar dan diameter masing-masing $0,4-0,7 \mu\text{m}$ dan $0,7 \mu\text{m}$. *E. coli* dapat membentuk koloni yang bulat dan memiliki tepi yang halus dan tidak dapat membentuk spora (Fatiqin *et al.* , 2019). Pada Gambar 8 menunjukkan pewarnaan bakteri Gram negatif (*E. coli*) menghasilkan warna merah muda.



Gambar 8. Pewarnaan Gram *E. coli* (Ariyanti, 2016)

3) Patogenitas

Bakteri *E. coli* menjadi patogen ketika jumlah bakteri meningkat dalam saluran pencernaan ataupun saat diluar usus. Hal ini menyebabkan bakteri tersebut akan bergabung dengan eneteropatogenik dalam sel epitel dan menghasilkan senyawa enteroksin yang mampu menyebabkan diare (Fatiqin *et al.* , 2019).

b. *Staphylococcus aureus*

1) Taksonomi

Berikut merupakan taksonomi *S. aureus* :

Filum	: Firmicutes
Kelas	: Bacilli
Ordo	: Bacillales
Famili	: Staphylococcaceae
Genus	: <i>Staphylococcus</i>
Spesies	: <i>Staphylococcus aureus</i>

(Szafraniec *et al.* , 2020)

2) Sifat dan Morfologi

Bakteri *S. aureus* merupakan bakteri Gram positif, mempunyai bentuk bulat dengan diameter 0,5-1,0 μm , memiliki dinding sel tebal, warna koloni kuning dan putih dan mampu menghasilkan enzim koagulase (Maleki *et al.* , 2015). *S. aureus* dapat tumbuh pada PH mulai dari 4,2 hingga 9,3 serta pada suhu 6,5-46 °C. Bakteri *S. aureus* dapat tumbuh dalam waktu 1 hari dengan diameter mencapai hingga 4 mm (Dewi, 2013). Pada Gambar 9 menunjukkan hasil pewarnaan Gram bakteri *S. aureus* menghasilkan warna ungu.



Gambar 9. Pewarnaan Gram *S. aureus* (Hayati *et al.*, 2019)

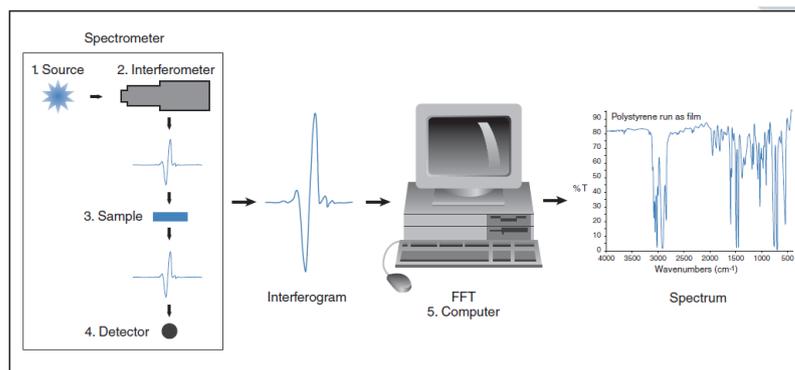
3) Patogenitas

Bakteri *S. aureus* merupakan salah satu bakteri patogen yang banyak menginfeksi manusia dan hewan (El-Jakee & Nagwa, 2008). *S. aureus* merupakan bakteri yang dapat menyebabkan penyakit impetigo, endokarditis, *toxic shock syndrome*, dermatitis dan infeksi saluran pernafasan (Hata *et al.* , 2008; Wikananda *et al.* , 2019).

E. Instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

FTIR adalah instrumen yang digunakan untuk menentukan gugus fungsi yang berdasarkan pada adsorpsi inframerah (Chaber *et al.* , 2017). FTIR dapat mendeteksi struktur suatu senyawa berdasarkan identifikasi gugus fungsi yang menyusun senyawa tersebut. Sampel yang digunakan dapat berupa cair, padat maupun gas. Metode yang digunakan yaitu metode spektroskopi adsorpsi berdasarkan perbedaan penyerapan radiasi infra merah oleh molekul suatu materi (Sulistiyani, 2017).

Apabila suatu molekul menyerap radiasi inframerah, maka energi yang diserap akan menyebabkan vibrasi pada atom-atom tersebut. Panjang gelombang atau absorpsi dari suatu ikatan bergantung pada tipe ikatan dan macam getaran dari ikatan tersebut. Tipe ikatan yang berlainan (C-H, C-C, O-H dan sebagainya) dapat menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang tertentu. Banyaknya energi yang diabsorpsi oleh suatu ikatan bergantung pada momen ikatan. Semakin besar momen ikatan maka semakin besar energi yang diserap. Ikatan non polar relatif (seperti ikatan C-C dan C-H dalam molekul organik) menunjukkan absorpsi yang lemah. Pada ikatan polar (seperti C=O) menghasilkan absorpsi yang kuat (Fessenden & Fessenden, 1992). Skema kerja FTIR ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Skema Kerja FTIR (Thermo Fisher Scientific Inc., 2013)

Pada Tabel 7 menunjukkan bilangan gelombang dari beberapa gugus fungsi yang ditemukan pada spektrum FTIR.

Tabel 7. Data Bilangan Gelombang (cm^{-1}) Beberapa Gugus Fungsi

No	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
1	C – C (aril)	1450-1600
2	C = C	1600-1700
3	C \equiv C	2100-2250
4	C-H (alkena atau gugus alkil)	2800-3000
5	C - H (= CH -)	3000-3300
6	C-H (\equiv CH)	~ 3300
7	OH atau NH	3000-3700
8	C-O atau C-N	900-1300
9	C-X	500-1430
10	C-O (eter)	1050-1260
11	C-O (ester)	1110-1300
12	C=O	1640-1820
13	Aldehyd	1720-1740
14	Keton	1705-1750
15	Asam Karboksilat	1700-1725
16	Ester	1735-1750

(Fessenden & Fessenden, 1992)

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Jamur endofit pada jaringan bunga sambiloto telah berhasil diisolasi dengan kode isolat BS. Berdasarkan bentuk spora dan hifa secara mikroskopis isolat jamur BS mirip dengan *Chrysosporium spp.*
2. Ekstrak etil asetat jamur endofit isolat BS pada bunga sambiloto positif mengandung senyawa terpenoid.
3. Ekstrak etil asetat jamur endofit isolat BS pada bunga sambiloto berpotensi sebagai antibakteri terhadap *E. coli* dan *S. aureus*.

B. Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait isolasi metabolit sekunder dan uji aktivitas senyawa bioaktif lainnya dari isolat BS.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmalasari, I., Purwati, E., & Dewi, R. (2013). Isolasi dan identifikasi jamur endofit tanaman manggis (*Garcinia mangostana* L). *Biosfera*, 30(2), 82–89.
- Amaya, E., Reyes, D., Vilchez, S., Paniagua, M., Möllby, R., Nord, C. E., & Weintraub, A. (2011). Antibiotic resistance patterns of intestinal *Escherichia coli* isolates from Nicaraguan children. *Journal of Medical Microbiology*, 60(2), 216–222. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.020842-0>
- Ariyanti, W. (2016). Pertumbuhan bakteri *E. coli* dan *Bacillus subtilis* pertumbuhan bakteri *E. coli* dan *Bacillus subtilis*.
- Badaring, D. R., Fiqriansyah, M. W., & Bahri, A. (2020). Identifikasi morfologi mikroba pada ruangan water closet jurusan biologi Univeritas Negeri Makassar. *Seminar Nasional Biologi FMIPA UNM*, 161–168.
- Bungihan, M., Tan, M., & Takayama, H. (2013). A new macrolide isolated from the endophytic fungus *Colletotrichum* sp. *Philippine Science Letters*, 6(1), 57–73. <http://philsciletters.org/pdf/2013n1.8p7.pdf>
- Boleng, D. T. (2015). *Bakteriologi Konsep-konsep Dasar* (1st ed.). Universitas Muhammadiyah Malang.
- Cai, R., Chen, S., Liu, Z., Tan, C., Huang, X., & She, Z. (2017). A new α -pyrone from the mangrove endophytic fungus *Phomopsis* sp. HNY29-2B. *Natural Product Research*, 31(2), 124–130. <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1214833>
- Carvalho, J. O. de, Broll, V., Helene, A., & Martinelli, S. (2020). Endophytic fungi : positive association with plants. In *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. INC. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818469-1.00026-2>
- Chaber, R., Łach, K., Depciuch, J., Szmuc, K., Michalak, E., Raciborska, A., Koziorowska, A., & Cebulski, J. (2017). Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy of paraffin and deparaffinized bone tissue samples as a diagnostic tool for Ewing sarcoma of bones. *Infrared Physics and Technology*, 85, 364–371. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2017.07.017>
- Chairunnisa, S., Wartini, N. M., & Suhendra, L. (2019). Pengaruh Suhu dan Waktu Maserasi terhadap Karakteristik Ekstrak Daun Bidara (*Ziziphus mauritiana* L.) sebagai Sumber Saponin. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 7(4), 551. <https://doi.org/10.24843/jrma.2019.v07.i04.p07>